

**ПРИОРИТЕТНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ОБРАЗОВАНИЕ»
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ**

**И.В. ГРОШЕВ
В.И. КОРОЛЬКОВ**

**СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
И ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Учебное пособие

**Москва
2008**

АННОТАЦИЯ

Учебное пособие “Системы технического зрения и обработки изображений” соответствует программе по подготовке магистров по специальности “Прикладная физика и физическая информатика”

В учебном пособии комплексно рассмотрены вопросы построения систем технического зрения и обработки изображений. Особое внимание уделяется изучению физических основ преобразования оптического изображения. Отражены вопросы структурного построения систем технического зрения, а также теоретические основы обработки и анализа изображений в этих системах. Освещены принципы построения оптических и оптоэлектронных систем, как для одноканального, так и многоканального анализа с использованием ЭВМ. Приведены алгоритмы обработки изображений и методы управления процессами обработки и анализа изображений при проведении физических экспериментов.

В конце учебного пособия даны два приложения, в которых изложены основы программирования в графической среде *LabVIEW*, а также рассмотрены особенности создания виртуальных проектов на платформе *NI Vision* и средства быстрого создания сценария получения и обработки изображений с помощью *Vision Assistant* и встроенных функций *IMAQ Vision*.

Для студентов, обучающихся в магистратуре по программе “Прикладная физика и физическая информатика”.

ЦЕЛЬ И КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

Цель курса – обеспечение базовой подготовки в области систем технического зрения и обработки изображения; изучение теоретических основ обработки и распознавания изображений, а также физических основ преобразования оптического изображения; исследование структур построения систем технического зрения с информационной точки зрения; изучение программных и аппаратных средств предварительной обработки изображений и способов считывания и распознавания графической и символьной информации; изучение голографических методов и средств технического зрения; оценка применения систем технического зрения при постановке физического эксперимента и анализа его результатов, возможность проведения компьютерного моделирования системы технического зрения и проектирование алгоритма управления процессами обработки и анализа изображений, полученных в результате физического эксперимента.

Содержание курса: Рассмотрение теоретических основ обработки, анализа и распознавания изображений. Изучение физических основ преобразования оптического изображения. Рассмотрение вопросов структурного построения систем технического зрения, а также вопросы обработки и анализа изображений в этих системах. Изучение принципов построения оптических и оптоэлектронных систем многоканального анализа с использованием ЭВМ. Описание алгоритмов обработки изображений. Методы управления процессами обработки и анализа изображений при проведении физических экспериментов. Голографические методы и средства технического зрения. Использование систем технического зрения в автоматизированных комплексах, робототехнике, системах обнаружения и распознавания. Система технического зрения *National Instruments*. Программное обеспечение *NI-IMAQ*. Основные функции обработки изображения. Морфологические функции *IMAQ Vision*. Анализ частиц и пространственная калибровка. Применение шаблонов для распознавания объектов. Функции работы с цветом изображений. Координатные системы.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебно-методическое пособие “Системы технического зрения и обработки изображений” написано при поддержке инновационной образовательной программы “Создание комплекса инновационных образовательных программ и формирование инновационной образовательной среды, позволяющих эффективно реализовывать государственные интересы РФ через систему экспорта образовательных услуг” для студентов, обучающихся в магистратуре по программе “Прикладная физика и физическая информатика”. Это пособие может также быть использовано студентами, обучающимися по программе “Радиофизика и электроника”.

При написании данного пособия авторы ставили своей задачей обеспечение базовой подготовки в области систем технического зрения и обработки изображения. Пособие разбито на семь глав, написанных [И.В. Грошевым](#). В первой главе даётся система понятий о математическом представлении изображения, способах его оценки с помощью системы энергетических и фотометрических параметров и характеристик. Рассмотрены методы формирования и анализа оптического изображения. Вторая глава посвящена рассмотрению физических основ преобразования оптического излучения в приёмниках излучения и в приёмниках изображения, а также приводится система параметров и характеристик, описывающих их. В этой главе также описываются методы и способы считывания изображения, применяемые в различных приёмниках изображения. В третьей главе рассматриваются принципы построения систем технического зрения, а также параметры и характеристики, описывающие эти системы. Приводится методика энергетического расчёта оптического звена системы технического зрения. Четвёртая глава знакомит с особенностями зрительного восприятия оптического излучения и описывает способы формирования изображения. В ней даётся представление о структуре спектра видеосигнала, проводится оценка апертурных и градационных искажений, а также описываются современные методы сжатия статических и динамических цифровых изображений. В пятой главе рассматриваются основные положения теории обработки чёрно-белых и цветных изображений и анализируются методы предварительной и последующей обработки бинарных и полутоновых изображений. В шестой главе описываются методы теории обнаружения и распознавания объектов на изображениях, даётся анализ критериев, по которым осуществляется это распознавание. Седьмая глава посвящена рассмотрению процессов управления обработкой и анализом изображений, представляя их в виде информационной модели.

В двух приложениях, написанных [В.И. Корольковым](#), приводятся основы программирования в графической среде *LabVIEW*. Рассматриваются особенности создания виртуальных проектов на платформе *NI Vision* и средства быстрого создания сценария получения и обработки изображений с помощью *Vision Assistant* и встроенных функций *IMAQ Vision*.

Методически пособие написано так, чтобы студент мог самостоятельно изучить отдельные разделы курса и в лаборатории самостоятельно моделировать виртуальные приборы для анализа изображений с помощью программной среды *LabVIEW* и её приложений.

Авторы надеются, что предлагаемое учебное пособие окажется полезным не только студентам, но и преподавателям, ведущим занятия по курсу “Системы технического зрения и обработки изображений” на других факультетах и специальностях РУДН. Это учебное пособие, по всей вероятности, не лишено разного рода недостатков, поэтому авторы с благодарностью примут все замечания и предложения по его улучшению, которые просят направлять на кафедру радиофизики РУДН.

Глава 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- **1.1. СИСТЕМА ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК.**
 - 1.1.1. Энергетические параметры и характеристики оптического излучения
 - 1.1.2. Энергетическая освещённость от точечного и протяжённого источника излучения
 - 1.1.3. Фотометрические параметры и характеристики видимого диапазона оптического излучения
- **1.2. ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ**
 -  Литературные источники
 -  Ссылки на Интернет-ресурсы

1.1. СИСТЕМА ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК

Основным источником информации в системах технического зрения ([СТЗ](#)) является окружающее нас пространство предметов и их свойство отражать или излучать потоки энергии в окружающий мир. Способность каждого предмета или его деталей различно отражать или излучать потоки излучения, относится к оптическим свойствам объекта, а отражённый, излучённый каждым элементом предмета [поток оптического излучения](#) является источником информации о предмете. Любой природный объект как источник информации характеризуется распределением энергии в пространстве, во времени и по спектру.

Для количественной оценки распределения энергии используются системы энергетических и световых величин. Интенсивность и спектральный состав элементарного потока отличается [яркостью](#) и [цветностью](#) каждой точки объекта наблюдения, а направление потока – пространственным расположением этой точки объекта. Одновременно приёмное устройство системы технического зрения видит ограниченную часть пространства, определяемую пространственным углом, называемым [углом зрения](#).

В общем случае объект передачи характеризуется следующими параметрами:

- яркость;
- цветность;
- глубинное расположение.

Каждая точка объекта располагается в трёхмерном пространстве, а при движении и изменении освещённости изменяет характер распределения яркости и цветности всех точек рассматриваемого объекта.

Математическая модель объектов передачи (наблюдения) является многомерной функцией пространственно-временного распределения яркости – L , цветового тона (доминирующей длины волны) – λ и насыщенности ([чистоты цвета](#)) – p , т.е.

$$L = f_L(x, y, z, t);$$

$$\lambda = f_\lambda(x, y, z, t); \quad (1.1)$$

$$p = f_p(x, y, z, t).$$

Эти уравнения определяют яркость – L , отражённую или излучённую, и цветность, описываемую значениями λ , и p как функцию пространственных координат – x , y и z каждой точки наблюдаемых объектов во времени.

1.1.1. Энергетические параметры и характеристики оптического излучения

Рассмотрим основные энергетические параметры и характеристики оптического излучения исходящего от [источника излучения](#) и падающего на чувствительную поверхность приёмника излучения на примере схемы их размещения, представленной на [рис. 1.1](#) [1, с. 511], для элементарных площадок dA_1 и dA_2 , на которых рассчитывается яркость – L изображения в элементарных [телесных углах](#) $d\omega_1$ и $d\omega_2$.

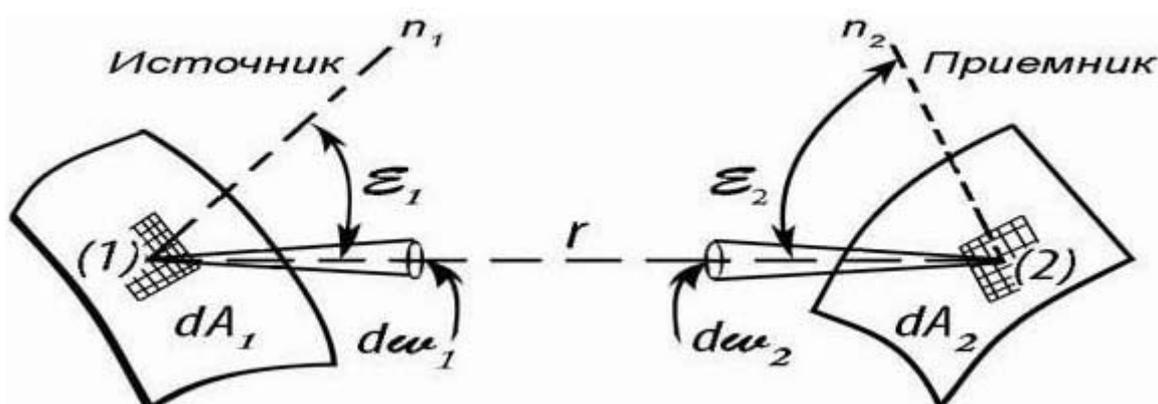


Рис. 1.1. Схема размещения источника и приёмника излучения

Первой величиной, позволяющей судить о количестве [энергии излучения](#) W , является [поток излучения](#) P_e , или, как его ещё называют, мощность излучения, определяемая как количество излучаемой, поглощаемой или переносимой в единицу времени энергии

$$P_e = \frac{dW}{dt}. \quad (1.2)$$

Индекс “ e ” в обозначении потока излучения P_e в дальнейшем будем использовать только в тех случаях, когда наряду с энергетическими характеристиками излучения будут применяться другие единицы (световые, эффективные и др.).

В настоящее время различают два вида потока излучения P интегральный и дифференциальный. Первый из них даёт значение потока излучения P в спектральном диапазоне $\Lambda = \lambda_1 - \lambda_2$ при

достаточно большой разнице между значениями λ_1 и λ_2 , а второй при малой разнице, т.е. сосредоточенный в малом диапазоне длин волн и называемый спектральным или монохроматическим потоком излучения dP или $P(\lambda)$. Значение потока излучения, приходящееся на единичный интервал длин волн внутри диапазона $d\lambda$, называется спектральной плотностью потока излучения, т.е. это предел отношения потока излучения, соответствующего узкому участку спектра, к ширине этого участка

$$P_\lambda = \frac{dP}{d\lambda}. (1.3)$$

Второй величиной, характеризующей излучение, является энергетическая сила света, которая представляет собой отношение потока излучения, испускаемого точечным источником или бесконечно малым элементом протяжённой поверхности в бесконечно малом телесном угле, содержащем указанное направление, к величине этого телесного угла. Следовательно, в соответствии с рис. 1.1 значение I можно будет вычислить по формуле

$$I = \frac{dP}{d\omega}. (1.4)$$

Иногда эту величину называют угловой плотностью потока излучения в данном направлении. Из определения энергетической силы света следует, что полный поток излучения в телесном угле ω_0 можно определить из выражения

$$P_{\omega_0} = \int_{\omega_0} I d\omega. (1.5)$$

Спектральная, монохроматическая энергетическая сила света dI или $I(\lambda)$ описывает значения энергетической силы излучения, отнесённой к спектральному диапазону, заключённому в спектральном интервале $\Delta = \lambda_1 - \lambda_2$, в этом случае спектральная плотность энергетической силы излучения источника описывается выражением

$$I_\lambda = \frac{dI}{d\lambda}. (1.6)$$

Третьей величиной, является поверхностная плотность потока излучения, определяемая как значение потока излучения, приходящегося на единицу площади. В этой величине различают два понятия – энергетическую освещённость и энергетическую светимость, какой-либо поверхности.

Энергетическая освещённость – E в точке поверхности представляет собой отношение потока излучения, падающего на бесконечно малый элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента поверхности. Следовательно, в соответствии с рис. 1.1 значение E можно вычислить по формуле

$$E = \frac{dP}{dA_2}. (1.7)$$

Энергетическая светимость – R в точке поверхности есть отношение потока излучения, испускаемого бесконечно малым элементом поверхности, который содержит данную точку, к площади этого элемента поверхности. Следовательно, в соответствии с рис. 1.1 значение R вычисляется по формуле

$$R = \frac{dP}{dA_1}. (1.8)$$

Вычисление значений спектральных плотностей энергетической освещённости и энергетической светимости осуществляется аналогично вычислению значений спектральной энергетической силы света, т.е. они соответственно равны

$$E_\lambda = \frac{dE}{d\lambda} \text{ и } R_\lambda = \frac{dR}{d\lambda}. (1.9)$$

Четвертая величина, энергетическая яркость – L. Эта величина, определяемая в точке поверхности и в данном направлении, есть отношение энергетической силы света, создаваемой в данном направлении бесконечно малым элементом поверхности, содержащим указанную точку, к площади ортогональной проекции этого элемента поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению, т.е. значение L для разных поверхностей dA_1 и dA_2 рассчитывается по выражениям

$$L = \frac{d^2 P}{dA_1 \cos \varepsilon_1 d\omega_1} \text{ или } L = \frac{d^2 P}{dA_2 \cos \varepsilon_2 d\omega_2}. (1.10)$$

В связи с тем, что поток излучения является функцией двух переменных $P = f(\omega, A)$, при небольших и независимых изменениях значений ω и A на $d\omega$ и dA, суммарное изменение потока излучения P может быть вычислено как полный дифференциал 2-го порядка

$$d^2 P = d(dP) = \left(\frac{\partial^2 P}{\partial \omega^2} \right) d\omega^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 P}{\partial \omega \partial A} \right) d\omega dA + \left(\frac{\partial^2 P}{\partial A^2} \right) dA^2, (1.11)$$

где $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial \omega^2} \right)$, $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial \omega \partial A} \right)$ и $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial A^2} \right)$ – частные производные второго порядка от функции $P = f(\omega, A)$.

Спектральная плотность энергетической яркости – L_λ рассчитывается по формуле

$$L_\lambda = \frac{dL}{d\lambda}. (1.12)$$

На практике различают три частных случая определения энергетической яркости L_λ :

- в произвольной точке на поверхности источника излучения;
- в произвольной точке на поверхности приёмника излучения;
- в произвольной точке на пути распространения потока излучения.



Расчёт значений энергетической яркости для этих трёх случаев следует вести соответственно по одной из следующих формул:

(1.13)

$$L = \frac{dI}{dA \cos \varepsilon_1}, \quad L = \frac{dE}{d\omega_2} \quad \text{и} \quad L = \frac{dP}{dG} = \frac{d^2 P}{d\omega dA \cos \varepsilon}.$$

Причём значение [телесного угла](#) для источника и приёмника излучения вычисляется по выражениям

$$d\omega_1 = \frac{dA_2 \cos \varepsilon_2}{r^2} \quad \text{и} \quad d\omega_2 = \frac{dA_1 \cos \varepsilon_1}{r^2}, \quad (1.14)$$

где r – расстояние между площадками dA_1 и dA_2 .

Поверхности тел называют диффузно излучающими, если энергетическая яркость во всех направлениях одинакова. Для диффузно излучающих тел справедлив закон, установленный [И.Г. Ламбертом](#). Согласно этому закону, энергетическая сила света диффузно излучающей поверхности в данном направлении для всех длин волн пропорциональна косинусу угла α между направлением излучения и нормалью к излучающей поверхности, т.е.

$$I = LA \cos \alpha. \quad (1.15)$$

В том случае, если значения энергетической силы света и энергетической яркости отложить от центра излучающего тела в виде векторов, то поверхность, проведённая по концам этих векторов, называется фотометрической, а тело, заключённое внутри этой поверхности, – фотометрическим.

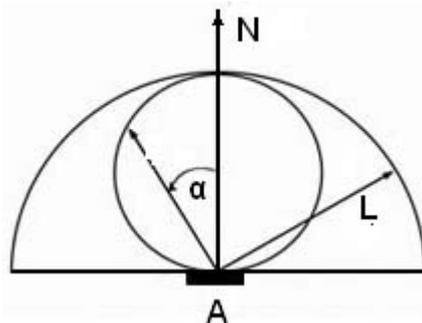


Рис. 1.2. Зависимость яркости и силы света для поверхности А, подчиняющейся закону Ламберта

Как видно из [рис. 1.2 \[2, с. 246\]](#) для тел, подчиняющихся закону [Ламберта](#), [фотометрическое тело энергетической яркости](#) излучающей поверхности А представляет собой полусферу, а фотометрическое тело энергетической силы света – сферу, касательную к поверхности А. Строго говоря, закон Ламберта справедлив только для особого класса источников излучения – это [абсолютно чёрное тело](#), т.е. идеально диффузно рассеивающая поверхность.

На практике закон Ламберта может применяться с достаточно хорошим приближением во многих случаях. Примерами такого использования являются поверхности Солнца и Земли, порошкообразные люминофоры, все тела с матовой диффузной окраской и т.д. [2, с. 246, 247].

При анализе оптического изображения встречается такое понятие, как коэффициент яркости объекта. Этот коэффициент яркости можно рассматривать как предельный случай [апертурного коэффициента отражения](#), т.е. когда телесный угол конуса выбирается предельно малым и близким к нулю. В этих условиях коэффициент яркости представляет собой частное от деления энергетической яркости объекта на энергетическую яркость идеального рассеивателя, т.е. рассеивателя, коэффициент отражения которого равен единице и он рассеивает падающую на него энергию излучения равномерно по всем направлениям.

Под апертурным коэффициентом отражения предмета следует понимать отношение потока излучения, отраженного в направлении, заключённом внутри определенного конуса с вершиной в данной точке объекта, к потоку излучения, отражённому в пределах того же конуса с идеальным рассеивателем.

Рассмотрим понятие [спектральной плотности](#) или функции спектрального распределения для любой величины, описанной выше. Под понятием спектральной плотности некоторой энергетической или фотометрической величины на какой-либо длине волны подразумевают отношение количества этой величины для длин волн, сосредоточенных в бесконечно малом спектральном интервале вокруг данного значения, к ширине этого интервала. Изменение спектральной плотности с изменением длины волны носит название функции спектрального распределения величины. Функция относительного спектрального распределения какой-либо величины есть изменение спектральной плотности этой величины относительно максимального её значения, приравненного к единице либо к какой-нибудь произвольной единице. Другими словами, эта функция определяет только относительные изменения значений величины для различных длин волн.

1.1.2. Энергетическая освещённость от точечного и протяжённого источника излучения

На изображениях объектов передачи (наблюдения) имеются отдельные детали с разными геометрическими параметрами отражённого потока излучения от них. Поэтому целесообразно рассмотреть реакцию приёмной части системы технического зрения как на мелкие, точечные детали изображения, так и на более крупные протяжённые детали.

[Точечный источник](#) – это такой источник излучения, размеры которого настолько малы по сравнению с расстоянием до приёмной части системы технического зрения, что ими можно пренебречь в вычислениях, он характеризуется энергетической силой света I [рис. 1.3](#) [2, с. 248].

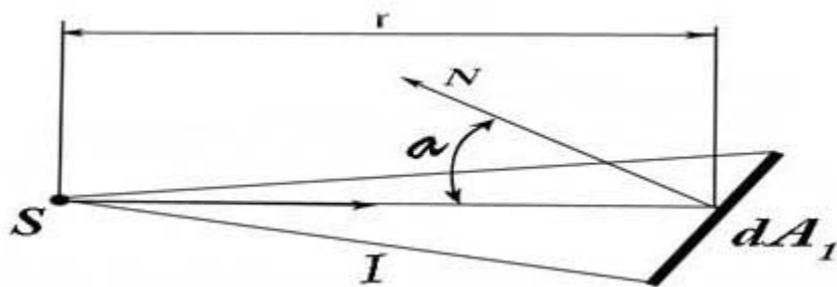


Рис. 1.3. Освещённость площадки dA_1 точечным источником S

Поток излучения в элементарном телесном угле $d\omega$ от точечного источника описывается выражением

$$dP = I d\omega = I \frac{(dA_1 \cos \alpha)}{r^2} \quad (1.16)$$

Откуда следует

$$E = \frac{dP}{dA_1} = \frac{I \cos \alpha}{r^2}.$$

Из анализа формул (1.16) можно сделать следующие выводы:

- освещённость поверхности dA_1 точечным источником прямо пропорциональна силе света источника I в заданном направлении и обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника до освещаемого им элемента поверхности (закон квадратов расстояний, или как его ещё называют, закон обратных квадратов);
- освещённость пропорциональна косинусу угла падения лучей на освещаемую поверхность (закон наклона).

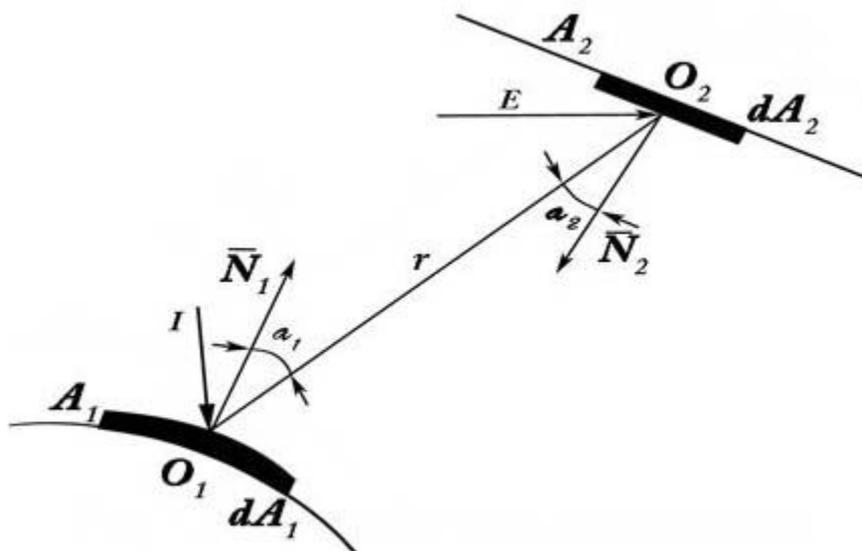


Рис. 1.4. Освещённость поверхности приёмника излучения A_2 участком поверхности источника излучения A_1

[Протяжённый источник](#) представляет собой источник излучения, размеры которого соизмеримы с расстоянием до приёмной части системы технического зрения. В этом случае такой источник характеризуется энергетической яркостью L .

Энергетическая освещённость поверхности приёмника излучения A_2 в точке O_2 [рис. 1.4](#), создаваемая элементарной площадкой dA_1 источника излучения, линейные размеры которой малы по сравнению с расстоянием r между источником излучения и освещаемой им поверхностью, может быть вычислена по закону обратных квадратов

$$dE = \frac{(I \cos \alpha_2)}{r^2} \quad \text{при условии, что} \quad I = L \cos \alpha_1 dA_1,$$

получаем

$$dE = \frac{(L \cos \alpha_1 \cos \alpha_2)}{r^2} dA_1. \quad (1.17)$$

Элементарный телесный угол $d\omega_2$, под которым из точки O_2 виден излучающий элемент dA_1 , равен

$$d\omega_2 = \frac{(dA_1 \cos \alpha_1)}{L^2}, \quad \text{откуда} \quad dE = L \cos \alpha_2 d\omega_2. \quad (1.18)$$

Интегрируя полученное выражение по телесному углу ω_2 , можем найти энергетическую освещённость поверхности A_2 в точке O_2 , создаваемую всей поверхностью A_1 по выражению

$$E = \int_{\omega_2} L \cos \alpha_2 d\omega_2. \quad (1.19)$$

Для случая, когда излучение от источника удовлетворяет закону *Ламберта* $L = \text{const}$, выражение [\(1.19\)](#) примет вид

$$E = L \int_{\omega_2} \cos \alpha_2 d\omega_2. \quad (1.20)$$

Полученная формула является основной для расчёта энергетической освещённости от больших протяжённых объектов изображения.

Вспользуемся геометрической интерпретацией интеграла в выражении [\(1.20\)](#). Для этого опишем вокруг элемента освещаемой поверхности dA_2 полусферу радиусом $R = 1$ ([рис. 1.5](#) [[2, с. 250](#)]). В этом случае образовавшиеся телесные углы $d\omega_2$ и ω_2 вырежут на поверхности полусферы соответственно площади $d\sigma$ и σ , численно равные значениям соответствующих телесных углов, поскольку $R = 1$.

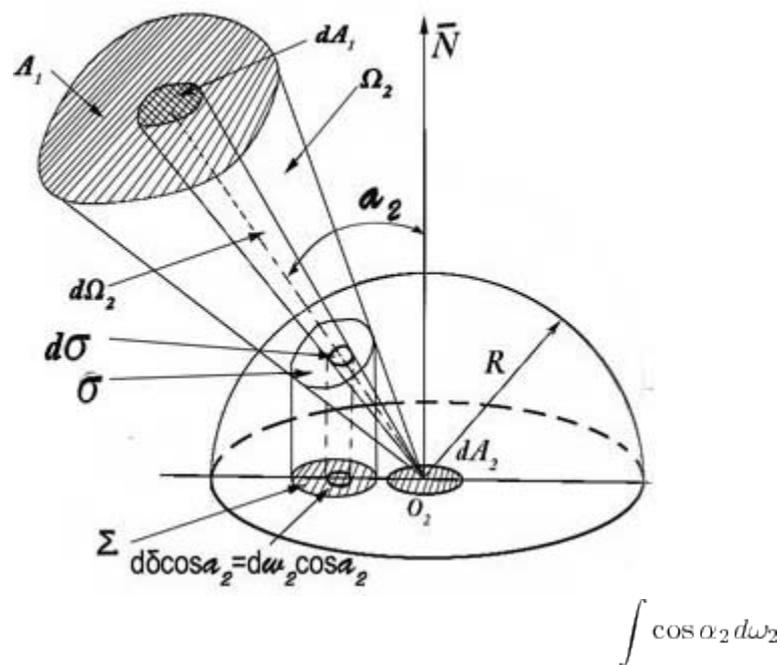


Рис. 1.5. Геометрическая интерпретация интеграла $\int \cos \alpha_2 d\omega_2$

Элемент поверхности $d\sigma$ наклонен относительно плоскости основания полусферы под тем же углом α_2 , который составляет падающий луч с нормалью к элементу поверхности dA_2 . Таким образом, произведение $\cos \alpha_2 d\sigma = \cos \alpha_2 d\omega_2$ численно равно площади проекции элемента поверхности полусферы на плоскость основания полусферы. Отсюда следует, что интеграл

$$\int_{\omega_2} \cos \alpha_2 d\omega_2$$

численно равен площади проекции на плоскость основания той части поверхности полусферы с $R = 1$, которая вырезается телесным углом ω_2 [2, с. 250].

1.1.3. Фотометрические параметры и характеристики видимого диапазона оптического излучения

Следует рассматривать два понятия фотометрических величин – это [энергетическая фотометрия \(радиометрия\)](#), применяемая ко всему спектральному диапазону оптического излучения, и просто [фотометрия](#), используемая только для видимой части оптического излучения. Это связано с понятием свет, т.е. с энергией излучения, способной вызывать зрительное ощущение у оператора, человека-наблюдателя. В этом случае при анализе оптического изображения появляется функция дневной световой эффективности $V(\lambda)$ [стандартного фотометрического наблюдателя](#) для дневного зрения в соответствии со стандартом международного комитета по освещенности (МКО) 1931 года ([рис. 1.6](#)).

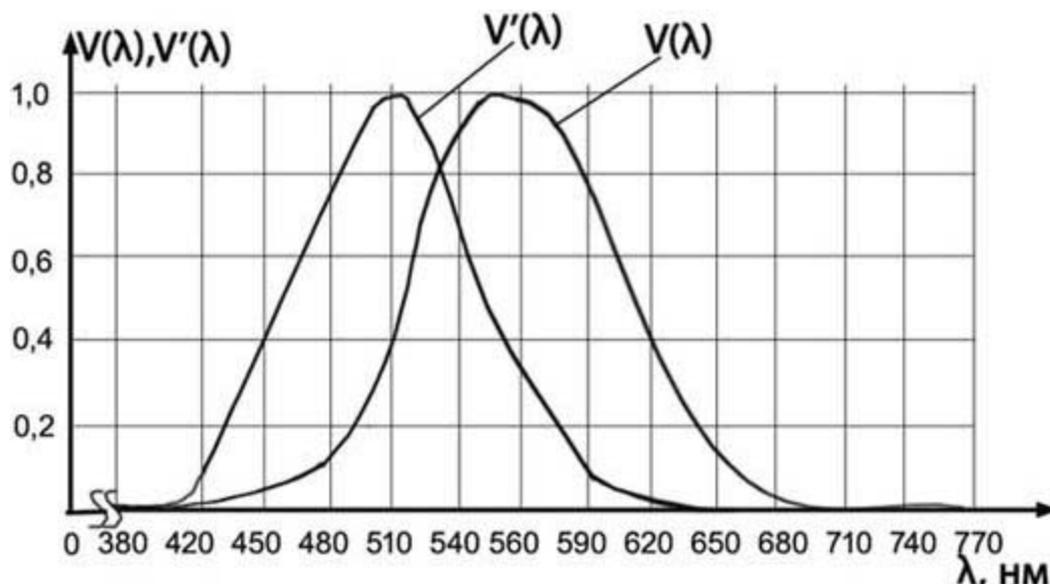


Рис. 1.6. Функции относительной дневной и ночной световой эффективности

Функция относительной дневной световой эффективности (она имеет еще и другое название – кривая видности человеческого глаза) представляет собой отношение потока излучения длины волны λ_m к потоку излучения длины волны λ , когда эти два потока создают одинаковое зрительное ощущение при определённых фотометрических условиях дневного освещения. Значение λ_m выбирается таким образом, чтобы максимальное значение отношения указанных потоков было равно единице. Для определения функции относительной дневной световой эффективности $V(\lambda)$ (табл. 1.1.) используют параметры и характеристики зрения стандартного фотометрического наблюдателя, свойства которого определены в МКО-31 [1, с. 512].

Таблица 1.1

Относительные спектральные световые эффективности излучения для дневного и ночного стандартного фотометрического наблюдателя МКО

λ , нм	Дневное зрение $V(\lambda)$	Ночное зрение $V'(\lambda)$	λ , нм	Дневное зрение $V(\lambda)$	Ночное зрение $V'(\lambda)$
380	0,0000	0,000589	580	0,870	0,1212
390	0,0001	0,002209	590	0,757	0,0655
400	0,0004	0,00929	600	0,631	0,03315
410	0,0012	0,03484	610	0,503	0,01593
420	0,0040	0,0966	620	0,381	0,00737
430	0,0116	0,1998	630	0,265	0,003335
440	0,023	0,3281	640	0,175	0,001497
450	0,038	0,455	650	0,107	0,000677
460	0,060	0,567	660	0,061	0,0003129
470	0,091	0,676	670	0,032	0,0001480

480	0,139	0,793	680	0,017	0,0000715
490	0,208	0,904	690	0,0082	0,00003533
500	0,323	0,982	700	0,0041	0,00001780
510	0,503	0,997	710	0,0021	0,00000914
520	0,710	0,935	720	0,00105	0,00000478
530	0,862	0,811	730	0,00052	0,000002546
540	0,954	0,650	740	0,00025	0,000001379
550	0,995	0,481	750	0,00012	0,000000760
555	1,0	0,4049	760	0,00006	0,000000425
560	0,995	0,3288	770	0,00003	0,000000241
570	0,952	0,2076	780	0,000015	0,000000139

Кроме функции относительной дневной световой эффективности $V(\lambda)$ следует различать и функцию ночной световой эффективности $V'(\lambda)$ стандартного фотометрического наблюдателя для ночного зрения ([рис. 1.6](#)). Точные значения этих функций приведены в [табл. 1.1](#).

По сути, эти две кривые видности являются характеристиками спектральной чувствительности человеческого глаза для дневного и ночного, т.е. сумеречного зрения, а следовательно, четыре основных параметра энергетической фотометрии, рассмотренные в [разделе 1.1.2](#), следует уточнить с учётом значений этих функций.

Первой фотометрической величиной является [световой поток](#), который определяет величину потока излучения, действующего на приёмник излучения, [спектральная чувствительность](#) которого выражается стандартной функцией относительной световой эффективности $V(\lambda)$.

В этом случае световой поток можно определить по выражению

$$F = KP_e = K_m \int_{\lambda} P_{e\lambda} V(\lambda) d\lambda, \quad (1.21)$$

где P_e – поток излучения (Вт); K – [световая эффективность](#) (лм/Вт).

Единицей измерения светового потока является люмен, значение которого определяется как величина светового потока, испускаемая точечным источником или бесконечно малым элементом поверхности протяжённого источника, создающим одинаковую по всем направлениям силу света, равную 1 кд внутри телесного угла, равного 1 ср.

Световая эффективность энергии излучения есть отношение светового потока F к соответствующему потоку излучения, причём следует различать следующие обозначения этой эффективности:

- K – обозначает световую эффективность любого потока излучения, которое может состоять из монохроматических излучений любых длин волн;
- $K(\lambda)$ – световая эффективность для монохроматического потока излучения с длиной волны λ . Функцию световой эффективности $K(\lambda)$ можно определить из выражения $K(\lambda) = K_m V(\lambda)$;
- K_m – принято обозначать максимальную световую эффективность монохроматического потока излучения, которая достигается при длине волны $\lambda = \lambda_m$, соответствующей максимальному значению функции $V(\lambda) = 1$. В этом случае её значение равно $K_m \sim 683$ лм/Вт. Это означает, что 1 Вт монохроматического потока излучения с длиной волны $\lambda_m = 555$ нм воспринимается глазом человека как световой поток $F = 683$ лм.

Второй фотометрической величиной является сила света, определяемая как отношение светового потока, испускаемого точечным источником или бесконечно малым элементом протяжённой поверхности внутрь бесконечно малого конуса, содержащего данное направление, к телесному углу, определяющему этот конус,

$$I = \frac{dF}{d\omega_1}. \quad (1.22)$$

Единицей измерения силы света является кандела, определяемая как сила света, испускаемого при температуре затвердевания платины элементом поверхности dA (см^2) [эталона чёрного тела](#) в направлении нормали к этому элементу.

Третья фотометрическая величина определяется так же, как и в энергетической фотометрии, через [освещённость](#) в точке поверхности приёмника излучения и [светимость](#) в точке поверхности источника излучения. Соответственно освещённость в точке поверхности приёмника есть отношение светового потока, падающего на бесконечно малый элемент его поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента, а светимость в точке поверхности есть отношение светового потока, испускаемого бесконечно малым элементом поверхности, содержащим рассматриваемую точку, к площади этого элемента. Соответственно выражения, по которым следует вычислять эти значения, имеют следующий вид

$$E = \frac{dF}{dA_2} \text{ и } M = \frac{dF}{dA_1}. \quad (1.23)$$

Четвёртой фотометрической величиной является яркость в точке поверхности в данном направлении, определяемая как отношение силы света, создаваемой бесконечно малым элементом поверхности источника излучения, содержащим рассматриваемую точку, к ортогональной проекции площади этого элемента на плоскость, перпендикулярную данному направлению, т.е. вычисляемую по выражению

$$L = \frac{d^2 F}{dA_1 \cos \varepsilon_1 d\omega_1} = \frac{dI}{dA_1 \cos \varepsilon_1} = \frac{d^2 E}{dA_2 \cos \varepsilon_2 d\omega_2} = \frac{dE_n}{d\omega_2}, \quad (1.24)$$

где dE_n – освещённость на элементарной площадке, являющейся проекцией на плоскость, перпендикулярную направлению от источника к приёмнику излучения.

При анализе оптических изображений используется понятие [коэффициент яркости](#) объекта. Под этим понятием понимается отношение его яркости к яркости образцового, эталонного отражающего рассеивателя, т. е. рассеивателя, коэффициент отражения которого равен 1, рассеивающий падающую на него световую энергию равномерно по всем направлениям. Это

фотометрическое понятие представляет собой аналог радиометрического понятия – энергетический коэффициент яркости.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Чем отличаются параметры оптического излучения от характеристики этого излучения?
2. Что такое доминирующая длина волны и в чём её отличие от чистоты цвета?
3. Какими параметрами описываются диффузно излучающие поверхности и какова их зависимость от угла между направлением излучения и нормалью к излучающей поверхности?
4. Что такое фотометрическое тело энергетической силы света и чем оно отличается от фотометрического тела энергетической яркости?
5. Каково отличие энергетических параметров и характеристик от фотометрических параметров и характеристик?
6. Какие источники излучения называются точечными, а какие протяжёнными и чем отличаются их параметры и характеристики?
7. Что называют относительной спектральной световой эффективностью излучения для дневного и ночного стандартного фотометрического наблюдателя?
8. Что такое оптическое изображение, как оно формируется и чем оно отличается от электронного изображения в системах технического зрения?
9. Что такое пространственная дискретизация и чем она отличается от временной дискретизации?
10. В чём заключаются два фундаментальных принципа построения телевизионных систем?
11. На какие виды по принципу движения сканирующего элемента можно подразделить развёртку изображения?
12. Чем отличаются детерминированные от не детерминированных развёрток изображения?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
2. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 600 с.
3. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия -Телеком, 2004. с. – 640 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. http://www.nsk.su/~vvef/Gener_View_Djvu/Example/R_content_prett.txt.htm
2. <http://vestnik.sci.pfu.edu.ru/archiv-cs/articles-cs/2004-3-1/pdf/miroshkin-2004.pdf>
3. <http://dsp-book.narod.ru/dspimage/chapter2.pdf>
4. <http://www.impb.ru/pdf/MonoGSAM.pdf>
5. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5

Глава 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1.2. ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

При формировании и анализе [оптического изображения](#) главной задачей в системах технического зрения является нахождение таких способов преобразования изображения наблюдаемых объектов, чтобы его можно было передавать методами электросвязи. При этом необходимо добиваться того, чтобы созданное [электронное изображение](#) как можно более точно соответствовало параметрам и характеристикам анализируемых объектов передачи (наблюдения).

Одним из основных свойств электрического канала связи является возможность передавать в каждый момент времени только одно значение сигнала. Следовательно, электрический сигнал является функцией только одной независимой переменной – времени, т.е.

$$u = f_u(t). (1.25)$$

Из уравнений (1.1) и (1.25) видно, что задача формирования электронного изображения в системах технического зрения заключается в таком подборе параметров и характеристик входного звена системы, чтобы в выходном электронном изображении с заданной степенью точности обеспечивались параметры и характеристики анализируемых объектов наблюдения.

Преобразование многомерных функций (1.1) непосредственно в одномерный электрический сигнал невозможно. Поэтому следует пойти на ряд упрощений в формировании электронного изображения, в частности упрощая и их математические описания. Так, используя опыт построения телевизионных систем, для передачи черно-белого неподвижного изображения математическое описание можно упростить до следующего вида

$$L = f_L(x, y), (1.26)$$

что даёт распределение значений яркости в плоскости изображения, т.е. изменение яркости в координатной системе x, y .

Однако даже такое упрощение описывается двумерным распределением яркости (1.26) и не может быть непосредственно преобразовано в одномерный сигнал. При анализе же динамических изображений задача усложняется ещё больше, так из двухмерной функции (1.26) мы получаем функцию трёх переменных

$$L = f_L(x, y, t). (1.27)$$

В телевидении, для решения задачи преобразования трёхмерного сигнала в одномерный сигнал, используют два фундаментальных принципа – это пространственная дискретизация изображения и [развёртка](#) этого изображения.

[Пространственная дискретизация](#) изображения заключается в разбиении всего анализируемого изображения на конечное число отдельных элементов. Причём количество элементов разбиения определяет качество формируемого электронного изображения. Значение яркости в пределах каждого отдельного элемента изображения следует считать постоянной величиной. Поэтому оптическое изображение представляется как совокупность большого числа элементов конечного размера с различной яркостью.

Одновременная передача информации от всех элементов изображения также невозможна, поскольку это потребует такого количества линий связи между передающей и приёмной частью системы технического зрения, сколько элементов в изображении объектов наблюдения, что исключает возможность практического осуществления.

Проблему каналов связи решает второй основной принцип, на котором базируется телевидение, это последовательная во времени передача по каналу связи информации о яркости элементов разбиения изображения. Этот принцип называется развёрткой (сканированием), т.е. процесс последовательной, поочерёдной передачи значений яркости каждого элемента изображения.

Следовательно, преобразованию изображения в электрический сигнал предшествует два этапа:

- разбиение исходного изображения на отдельные элементы изображения;
- передача значения яркости каждого элемента изображения в соответствии с законом развёртки изображения (сканирования), т.е. осуществляя во времени поэлементный анализ всего оптического изображения.

Развёртка изображения может быть реализована как:

- детерминированная – траектория движения развёртывающего элемента строго определена и наперёд задана законом развёртки;
- недетерминированная – траектория движения развёртывающего элемента автоматически устанавливается в зависимости от содержания изображения и алгоритма его обработки.

При детерминированной [развёртке](#) в зависимости от закона движения развёртывающего элемента по поверхности изображения возможны различные виды развёрток, подробно рассмотренные в литературе [2, с. 34–43]. Так, по принципу движения считывающего, сканирующего элемента все виды развёрток условно можно разделить на:

- колебательно-вращательные;
- вращательно-вращательные;
- колебательное перемещение в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Детерминированные развёртки изображения нашли своё широкое распространение в телевизионных, локационных, компьютерных и др. системах передачи информации.

Недетерминированные развёртки в настоящее время применяются в системах технического зрения и телевизионной автоматике. Это позволяет достаточно просто согласовать законы движения развёртывающих элементов с геометрическими или оптическими характеристиками различных объектов исследования или наблюдения. Такие системы нашли широкое применение при

исследовании биологических микрообъектов, петрографии, исследовании образцов металлоизделий, искусственных алмазов и др. [3, с. 19].

Недетерминированные развёртки строятся по принципу разделения их работы на два режима: поиска и слежения. В режиме поиска развёртывающийся элемент движется по заданной траектории, а при попадании на изображение объекта он переходит в режим слежения, во время которого производится считывание информации и обработка изображения. Существует несколько режимов слежения в зависимости от решаемой задачи. Например, может использоваться следящая развёртка по контуру объекта, по площади либо по другим заданным параметрам. В первом случае развёртывающийся элемент подчеркивает только контур исследуемого объекта, а во втором – развёртка обеспечивает получение упорядоченной информации о каждом объекте в отдельности.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Чем отличаются параметры оптического излучения от характеристики этого излучения?
2. Что такое доминирующая длина волны и в чём её отличие от чистоты цвета?
3. Какими параметрами описываются диффузно излучающие поверхности и какова их зависимость от угла между направлением излучения и нормалью к излучающей поверхности?
4. Что такое фотометрическое тело энергетической силы света и чем оно отличается от фотометрического тела энергетической яркости?
5. Каково отличие энергетических параметров и характеристик от фотометрических параметров и характеристик?
6. Какие источники излучения называются точечными, а какие протяжёнными и чем отличаются их параметры и характеристики?
7. Что называют относительной спектральной световой эффективностью излучения для дневного и ночного стандартного фотометрического наблюдателя?
8. Что такое оптическое изображение, как оно формируется и чем оно отличается от электронного изображения в системах технического зрения?
9. Что такое пространственная дискретизация и чем она отличается от временной дискретизации?
10. В чём заключаются два фундаментальных принципа построения телевизионных систем?
11. На какие виды по принципу движения сканирующего элемента можно подразделить развёртку изображения?
12. Чем отличаются детерминированные от не детерминированных развёрток изображения?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике. / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
2. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов. Учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 600 с.
3. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия -Телеком, 2004. с. – 640 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

- I. http://aco.ifmo.ru/student/disciplines/comp_modeling_progr.html
- II. <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/1.htm>
- III. http://www.mai.ru/~apg/Volume2/Number2/kdv22/kdv_22.htm

Глава 2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

- [2.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ](#)
 - [2.1.1. Основные параметры и характеристики приёмников оптического излучения](#)
 - [2.1.2. Классификация приёмников оптического изображения](#)
 - [2.1.3. Способы считывания информации с приёмников оптического изображения](#)
- [2.2. ПРИЁМНИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ](#)
- [2.3. ПРИНЦИП НАКОПЛЕНИЯ ЗАРЯДА В ПРИЁМНИКАХ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ](#)
- [2.4. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ПРИЁМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЗС И ПЗИ СТРУКТУР](#)
 - [2.4.1. Принципы организации и переноса зарядовых пакетов](#)
 - [2.4.2. Способы организации считывания информации](#)
- [2.5. УСИЛИТЕЛИ ЯРКОСТИ](#)
 -  [Литературные источники](#)
 -  [Ссылки на Интернет-ресурсы](#)

2.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Преобразование оптического излучения в информационный поток, пригодный для регистрации, осуществляется в [приёмниках оптического излучения](#). В настоящее время наибольшее распространение получили такие приёмники излучения, в которых используются фотонные, тепловые, волновые и другие виды взаимодействия оптического излучения с веществом. В результате такого взаимодействия вырабатывается электрический сигнал, формирующий [электронное изображение](#) как аналог оптического.

Специфической особенностью большинства систем технического зрения является получение оптимальной информации об изображении в [реальном масштабе времени](#) в форме, обеспечивающей наиболее простой способ её обработки. Под реальным масштабом времени принято понимать время нервной и мышечной реакции человеческого глаза. Оно составляет 0,1... 0,2 с и хорошо согласуется с временем накопления световой информации сетчаткой глаза. Для технических систем это время может быть любым и определяется:

- инерционными свойствами приёмника оптического излучения;
- действиями исполнительных устройств;
- временем, отведённым на выработку принятия соответствующего решения при работе в автоматическом режиме.

В этом случае оптимальность получения информации в системах технического зрения определяется постановкой решаемой ими задачи и накладывает на параметры и характеристики приёмника оптического излучения (интегральная чувствительность, спектральная характеристика чувствительности, динамический диапазон чувствительности, пространственное и временное разрешение и др.) жесткие требования, в основном определяющие как выбор типа приёмника излучения, так и условий его эксплуатации в системе технического зрения.

Для решения подобного рода задач на практике часто, в качестве прототипа, используют различные модели зрительного восприятия изображения человеческим глазом.

2.1.1. Основные параметры и характеристики приёмников оптического излучения

Свойства приёмника оптического излучения наиболее полно могут быть описаны системой параметров и характеристик, выражающих зависимости величины сигнала, вырабатываемые приёмником, от различных факторов.

В настоящее время при построении прикладных телевизионных систем, систем технического зрения и др. наибольшее значение имеют следующие характеристики приёмников излучения:

- амплитудная (энергетическая, световая) – зависимость величины сигнала от величины потока излучения, падающего на чувствительный слой приёмника;
- спектральная – зависимость величины сигнала от длины волны падающего потока излучения на чувствительный слой приёмника;
- частотная – определяющая инерционные свойства приёмника в зависимости от частоты модуляции потока излучения;
- шумовая – представляющая собой зависимость спектральной плотности шума приёмника от частоты.

Однако кроме системы характеристик, описывающих приёмники оптического излучения, имеется и система параметров. Эта система параметров даёт возможность заменять характеристики числовыми значениями, выражающими свойства приёмников для определенных наиболее типичных условий эксплуатации. В настоящее время для сравнительного анализа приёмников оптического излучения используется следующая система параметров:

- дифференциальная крутизна преобразования, т.е. чувствительность, определяющая величину сигнала, вырабатываемого приёмником излучения при облучении его малым синусоидально-модулированным потоком излучения. Значение чувствительности приёмника легко определить из его амплитудной характеристики;
- в качестве параметров, описывающих спектральную характеристику приёмника, можно использовать такие, как:
 - спектральный диапазон чувствительности, определяющий коротковолновую λ_{\min} и длинноволновую λ_{\max} границу диапазона спектральной чувствительности приёмника,

- как наименьшую и наибольшую длину волны монохроматического излучения, при которых чувствительность приёмника равна 0,1 от её максимального значения;
- пороговая чувствительность – это абсолютное значение чувствительности приёмника на фиксированных длинах волн, при которых отношение сигнал/шум равно единице;
 - интегральная чувствительность – реакция приёмника излучения на поток от *абсолютно чёрного тела* или другого эталонного источника излучения;
 - коэффициент использования излучения или эффективная спектральная ширина полосы пропускания – представляет собой отношение эффективной спектральной полосы пропускания селективного приёмников излучения к эффективной спектральной полосе пропускания неселективного приёмника излучения;
 - постоянная времени – представляющая собой в первом приближении частотную характеристику;
 - среднеквадратическое значение шума, или спектральная плотность шума, – это шумовая характеристика на одной фиксированной частоте.

В общем случае приёмник излучения можно рассматривать как четырехполюсник, имеющий крутизну преобразования S . Свойство приёмника излучения вырабатывать электрический сигнал определённой величины под действием падающего на него потока излучения определяется не только одним значением крутизны преобразования. Поэтому для полного описания этого процесса необходимо знать амплитудную, статическую характеристику приёмника излучения.

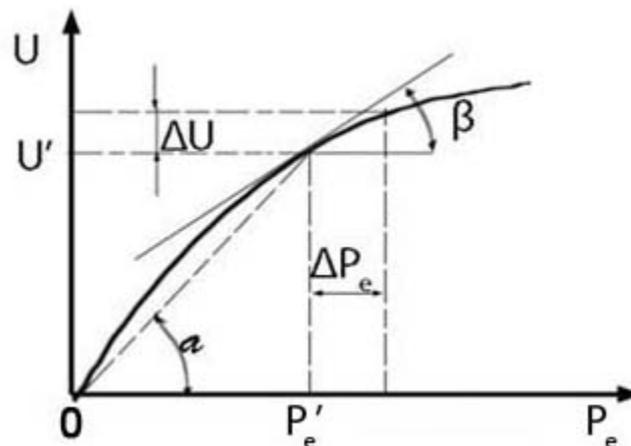


Рис. 2.1. Энергетическая (световая) характеристика приёмника излучения

Из [рис. 2.1](#) видно, что процесс преобразования в приёмнике излучения трудно выразить одним значением крутизны, поскольку зависимость значений сигнала U от величины падающего потока излучения P_e нелинейна. Для полного описания нужно знать всю эту зависимость, которую можно назвать амплитудной, статической характеристикой приёмника излучения. Однако получение её в реальных условиях связано с существенными экспериментальными трудностями, поэтому обычно для описания амплитудной характеристики пользуются понятием крутизны преобразования, т.е. чувствительности.

На практике различают три вида значения крутизны:

- крутизна для немодулированного сигнала или её ещё называют статической крутизной (чувствительностью) приёмника излучения

$$S = \frac{U}{P_e} = \operatorname{tg} \alpha; \quad (2.1)$$

- крутизна для модулированного сигнала, или дифференциальная крутизна (чувствительность), определяемая наклоном касательной

$$S = \lim_{\Delta P_e \rightarrow 0} \frac{\Delta U}{\Delta P_e} = \operatorname{tg} \beta; \quad (2.2)$$

- средняя крутизна $S_{\text{ср}}$, выраженная отношением амплитуды первой гармоники сигнала приёмника излучения к амплитуде синусоидально-модулированного потока излучения.

Средняя крутизна преобразования $S_{\text{ср}}$ постоянна и сигнал синусоидален на выходе приёмника излучения в тех случаях, когда поток излучения не выходит за пределы линейного участка амплитудной характеристики. При дальнейшем увеличении величины потока излучения имеет место нелинейность, причём предельные значения сигнала приобретают форму прямоугольных импульсов и амплитуда их первой гармоники практически не изменяется, т.е. значения средней крутизны в этом случае стремятся к нулю.

На практике наибольшее распространение получило понятие крутизны для модулированного сигнала, т.е. *дифференциальной крутизны*. При использовании этого понятия, под амплитудной (энергетической или световой) характеристикой приёмника излучения подразумевают зависимость дифференциальной крутизны, выраженной в относительных величинах, от уровня постоянной засветки, создаваемой немодулированным потоком излучения. Такая характеристика называется фоновой характеристикой чувствительности приёмника, внешний вид которой представлен на [рис. 2.2](#) [1, с. 276–277].

Метрологическая практика аттестации приёмников оптического излучения показала, что их параметры в основном измеряются при интегральном облучении входного зрачка потоком от абсолютно чёрного тела или другого эталонного источника излучения. Поэтому соответствующие значения крутизны (чувствительности) определяют меру реакции приёмника на сложный поток, называемый интегральным.

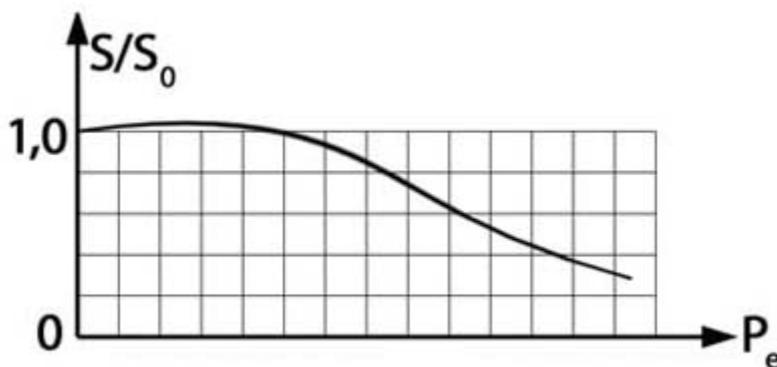


Рис. 2.2. Зависимость дифференциальной крутизны приёмника излучения от уровня постоянной засветки

В качестве эталонных источников излучения в фотометрии используются следующие ([рис. 2.3](#)):

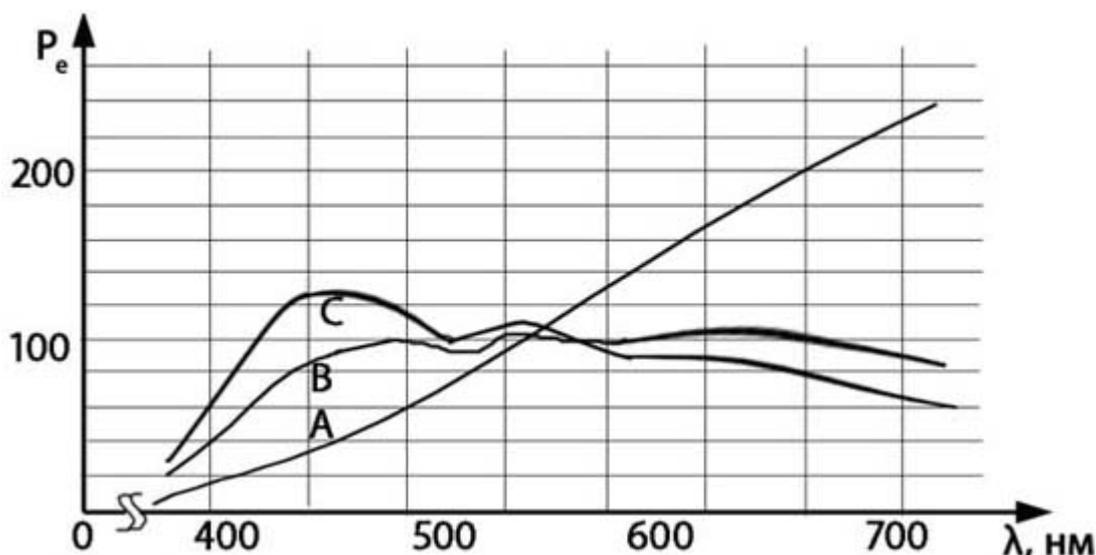


Рис. 2.3. Относительные спектральные распределения энергии стандартных источников излучения – А, В и С

- **типа А** – представляет собой излучение полного излучателя при абсолютной температуре 2856 К, определяемой по Международной практической температурной шкале 1968 г.;
- **типа В** – предназначен для воспроизведения прямого солнечного излучения с коррелированной цветовой температурой, примерно равной 4870 К;
- **типа С** – предназначен для воспроизведения фазы дневного света с коррелированной цветовой температурой, примерно равной 6770 К.

В энергетической фотометрии в качестве эталонного источника используется абсолютно чёрное тело с температурами равными – 100°С, 300°С, 500 К и 1273 К, для аттестации приёмников излучения, чувствительных в инфракрасной области спектра [2, с. 137–139].

В большинстве случаев сведения об интегральной чувствительности выбранного приёмника оптического излучения оказываются недостаточными и возникает потребность в дополнительной информации о спектральной чувствительности (крутизне) приёмника, определяющей его реакцию на монохроматические потоки. Такая информация в первую очередь необходима потому, что одна и та же величина потока излучения может вызывать различную величину реакции для различных типов приёмников излучения. Этот эффект воздействия излучения на приёмники связан с их селективной чувствительностью, т.е. избирательностью по спектру. Поэтому в системах технического зрения часто используют, наряду с энергетическими характеристиками излучения, так называемые эффективные характеристики, учитывающие не только абсолютную величину излучения, но и его спектральный состав.

Полный поток, излучаемый источником излучения во всем спектральном диапазоне, достигающий чувствительной поверхности приёмника, определяется выражением

$$P_e = \int_0^{\infty} P_{e\lambda} d\lambda, (2.3)$$

где $P_{e\lambda}$ – спектральная плотность потока монохроматического излучения.

Так, в том случае, если $P_{e\max}$ – максимальное значение спектральной плотности потока, то

$$\varphi(\lambda) = \frac{P_{e\lambda}}{P_{e\max}}, (2.4)$$

представляет собой спектральное распределение плотности потока монохроматических излучений по спектру в относительных единицах, т. е. относительное спектральное распределение.

Пусть $S(\lambda)$ спектральная чувствительность приёмника излучения, т.е. его дифференциальная крутизна, определяемая выражением

$$S(\lambda) = \frac{dU}{dP_e} = \frac{dU}{P_{e\lambda}d\lambda}, (2.5)$$

тогда распределение спектральной дифференциальной крутизны приёмника по спектру в относительных единицах, т. е. относительное спектральное распределение чувствительности (крутизны) можно вычислить по формуле

$$s(\lambda) = \frac{S(\lambda)}{S_{\max}}, (2.6)$$

где S_{\max} – максимальное значение спектральной чувствительности приёмника излучения.

В этом случае имеют место также следующие очевидные соотношения:

$$dU = S(\lambda) P_{e\lambda} d\lambda = P_{e\max} S_{\max} \varphi(\lambda) s(\lambda), (2.7)$$

$$U = \int_0^{\infty} S(\lambda) P_e d\lambda = S_{\max} P_{e\max} \int_0^{\infty} s(\lambda) \varphi(\lambda) d\lambda. (2.8)$$

Таким образом, воздействие сложного потока излучения P_e на приёмник, имеющий спектральное распределение чувствительности $S(\lambda)$, вызывает появление сигнала U ([выражение 2.8](#)) на его зажимах.

2.1.2. Классификация приёмников оптического изображения

Рассматривая принципы работы приёмников оптического излучения, можно сделать заключение, что всё их многообразие можно подразделить на два класса – одноэлементные и многоэлементные, т.е. приёмники, вся чувствительная поверхность которых формирует один элемент изображения либо достаточно большое количество таких элементов, создавая тем самым [электронное изображение](#). При этом первые из них, как правило, применяются в системах технического зрения с оптико-механической [развёрткой изображения](#), а вторые с электронной. В

дальнейшем одноэлементные приёмники будем называть – приёмник излучения, а многоэлементные – [приёмник изображения](#) либо [телевизионный приёмник изображения](#) (ТПИ), поскольку в них используется электронный способ считывания информации с каждого элемента изображения, применяемый в телевизионных системах.

Основными характеристиками приёмников излучения и ТПИ, как рассматривалось выше, являются энергетическая (световая) характеристика и характеристика спектральной чувствительности. Поэтому все приёмники излучения и ТПИ по типу используемого в них фотоэффекта можно подразделить на классы, использующие:

- **внешний фотоэффект** – под действием внешнего потока оптического излучения осуществляет эмиссию электронов в вакуум из материала чувствительного слоя приёмника излучения или ТПИ;
- **внутренний фотоэффект** – под действием внешнего потока оптического излучения происходит изменение электрических свойств материала чувствительного слоя приёмника излучения или ТПИ, образуя на обратной его стороне [потенциальный рельеф](#);
- **тепловой эффект** – под действием внешнего потока оптического излучения происходит изменение температуры материала чувствительного слоя приёмника излучения или ТПИ, приводящее к изменению свойств этого материала.

С другой стороны, при проведении классификации, процесс получения электронного изображения следует рассматривать также с позиции способов получения информации о каждом элементе изображения.

2.1.3. Способы считывания информации с приёмников оптического изображения

Способы считывания информации (сканирования) с приёмников излучения или ТПИ в общем случае можно подразделить на две большие группы: оптико-механические и электронные, как показано на [рис. 2.4](#).

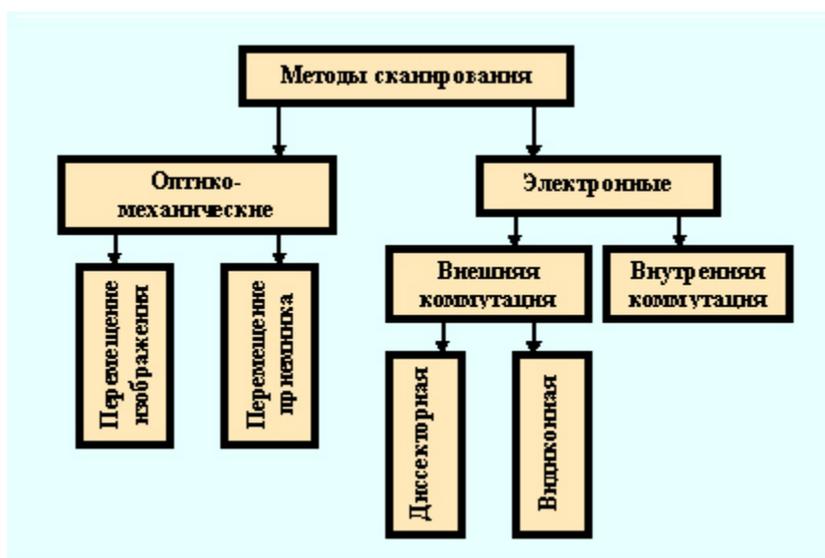


Рис. 2.4. Классификация приёмников излучения и ТПИ по методам сканирования

В оптико-механических устройствах процесс сканирования осуществляется за счёт изменения направления оптической оси. При этом общее поле оптического изображения последовательно анализируется мгновенным полем зрения оптической системы.

Сканирование может производиться за счёт движения всей оптической системы или её элементов – зеркал, призм, клиньев, линз и диафрагм и др. К устройствам этого типа относится и широко известный диск [Нипкова](#), применяемый ранее в системах механического телевидения. Такой метод сканирования называется сканирование с перемещением изображения, т.е. поэлементно на приёмник излучения, стоящий неподвижно, оптической системой подается изображение наблюдаемого объекта передачи.



Второй способ оптико-механического сканирования – сканирование с перемещением приёмника, осуществляется за счёт перемещения приёмника излучения по оптическому изображению. Этот способ сканирования применяется в тех случаях, когда системы технического зрения находятся на подвижных платформах и считывание информации осуществляется за счёт перемещения системы технического зрения над объектом наблюдения.

Основным преимуществом механических способов сканирования является постоянство элемента преобразования для всех элементов изображения. Однако на современном этапе с появлением методов обработки изображений с помощью микротехники это преимущество, по существу, утрачено. Недостатками же этих методов являются: громоздкость оборудования, сложность в настройке и низкая её надёжность, принципиальные ограничения по скорости сканирования и чувствительности преобразования, что весьма ограничило их применение в системах технического зрения. Однако эти системы пока незаменимы для инфракрасной области спектра оптического диапазона – ИК, где создание многоэлементных приёмников с электронной коммутацией часто затруднительно [[3, с. 63](#)].

Электронная коммутация может быть также двух типов – внешней и внутренней. При внешней коммутации в качестве коммутирующего элемента чаще всего выступает электронный луч. Такой способ сканирования используется в диссекторах, видиконах и других типах телевизионных передающих трубок [[4, с. 113–126](#)]. Однако, как видно из классификационной схемы, представленной на рис. 2.4, электронные методы сканирования также подразделяются на две группы – диссекторную и видиконную. Отличия в этих двух групп заключаются в том, что первыми являются ТПИ мгновенного действия, а вторыми – с накоплением энергии.

Внутренняя коммутация подразумевает наличие механизма переноса зарядов (зарядовых пакетов) непосредственно в ТПИ. Широкое распространение внутренняя коммутация получила благодаря развитию приборов с зарядовой связью (ПЗС) [[4, с. 126–134](#)].

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Что такое источник и приёмник оптического излучения и в чём их отличие?
2. Реальный масштаб времени: что это такое и чем он определяется?
3. Чем отличается система параметров и характеристик приёмников излучения от системы параметров и характеристик оптического излучения?
4. Каково отличие приёмников излучения от приёмников изображения и телевизионных приёмников изображения?

5. По каким параметрам и характеристикам оцениваются приёмники излучения, изображения и при каких условиях?
6. Что такое эталонные источники излучения в фотометрии и чем они отличаются от эталонных источников в энергетической фотометрии?
7. Чувствительность, спектральная чувствительность, спектральное распределение чувствительности, пороговая чувствительность: что это такое и в чём в них отличие?
8. Какие типы фотоэффектов вы знаете и какие из них получили наибольшее распространение в системах технического зрения?
9. Каково отличие в методах сканирования изображения, какие из них более перспективны в системах технического зрения?
10. Диск Нипкова: что это такое и для каких целей он был изобретён?
11. Чем отличается оптико-механическое сканирование от электронного и каковы их преимущества использования в системах технического зрения?
12. Какие преимущества имеют приёмники изображения диссекторного типа в образовании электронного изображения?
13. Что такое принцип накопления и в чём его преимущество по сравнению с другими приёмниками изображения?
14. Потенциальный рельеф: что это такое и где он образуется в телевизионных приёмниках изображения видиконного типа?
15. Каково отличие приборов с зарядовой связью от приборов с зарядовой инжекцией?
16. В чём заключается принцип организации потенциальных ям формирования зарядовых пакетов и их переноса?
17. МОП-структура: что это такое и какие физические процессы в ней происходят?
18. Что такое трёхфазовый регистр, как он работает и каково его преимущество по сравнению с двухфазовым?
19. Каковы способы организации переноса в матричных ПЗС-структурах, в чём их преимущества и недостатки?
20. Усилители яркости: как они устроены и для каких целей их используют?
21. Как устроены электронно-оптические преобразователь и в чём его преимущество по сравнению с другими преобразователями электромагнитного излучения оптического излучения?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 600 с.
2. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
3. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.
4. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. – 640 с..

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. http://www.ssga.ru/AllMetodMaterial/metod_mat_for_ioot/metodichki/tymkul_01/gl_01_06.html
2. <http://b2blogger.com/pressroom/release/238.html>
3. http://www.sick-automation.ru/catalog/sensors/complex/sensor_video.html

Глава 2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.2. ПРИЁМНИКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ

Диссекторная коммутация нашла своё применение в ТПИ, называемых диссекторами. Структурная схема диссектора приведена на [рис. 2.5](#) [4, с. 113].

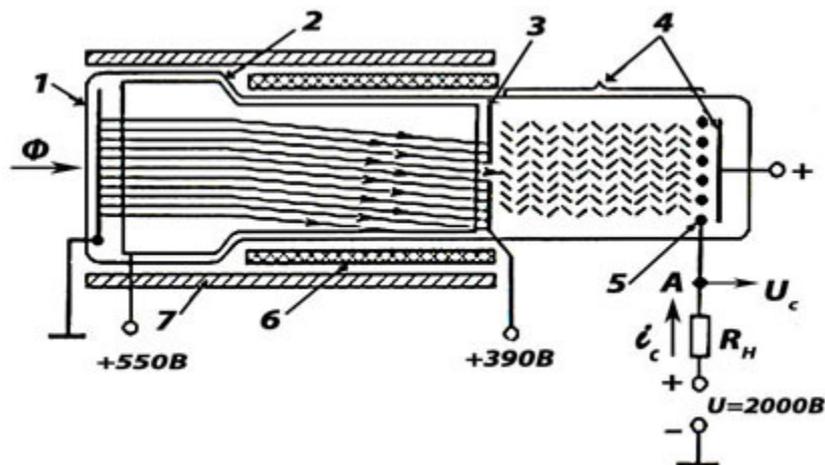


Рис. 2.5. Схема устройства диссектора:

- 1 – полупрозрачный фотокатод; 2 – ускоряющий электрод; 3 – диафрагма с отверстием;
4 – диоды вторичного электронного умножителя; 5 – коллектор; 6 – отклоняющая система;
7 – фокусирующая катушка

Диссектор – это ТПИ мгновенного действия. Снаружи диссектора располагаются: отклоняющая система 6, осуществляющая строчную и кадровую развёртку элементов изображения и фокусирующая катушка 7, создающая вдоль трубки однородное магнитное поле для фокусировки электронных потоков от элементов изображения на диафрагме 3.

В диссекторе различают три секции:

- преобразование оптического изображения в электронное;
- перенос и отклонение электронного изображения;
- вторично-электронное умножение.

Электронное изображение в диссекторах создается путём выбивания электронов из полупрозрачного чувствительного слоя под действием внешнего потока излучения. Выбитые потоки электронов ускоряются и фокусируются в плоскости диафрагмы 3 с помощью ускоряющего напряжения, приложенного к электроду 2. В плоскости диафрагмы под действием отклоняющего поля электронное изображение перемещается относительно отверстия, вырезывающего элементы изображения в соответствии с законом развёртки.

При таком способе сканирования электронный поток от различных участков фотокатода поочередно проходит через вырезающее отверстие на первый динод электронного умножителя. Коэффициент усиления вторично-электронного умножителя достигает до 10^7 , что позволяет получить на резисторе нагрузки R_n значительный ток сигнала от каждого элемента изображения до 100 мкА.

В системах мгновенного действия фотоэлектронная эмиссия с каждого элемента изображения используется в интервале времени, равном времени коммутации одного элемента, и, следовательно, мгновенные значения тока сигнала изображения пропорциональны значениям освещённости каждого элемента изображения в течение времени коммутации этого элемента. Световая энергия, воздействующая на элемент изображения в промежутках между коммутациями, в образовании сигнала не участвует, что существенно снижает эффективность использования светового потока.

Ток сигнала в нагрузке R_n пропорционален освещённости участков фотокатода. Соответственно большей освещённости фотокатода соответствует меньший потенциал в точке А, показанной на [рис. 2.5](#). Таким образом, уровень сигнала, соответствующий максимальной освещённости фотокатода, оказывается ниже, чем уровень, соответствующий минимальной освещённости. Поэтому полярность сигнала, вырабатываемая диссектором, отрицательна.

Динамический диапазон световой (энергетической) характеристики у диссекторов достигает пяти порядков. Диссекторы имеют линейную световую характеристику при освещённости фотокатода от десятых долей люкса до нескольких тысяч люкс, что обеспечивает хорошее воспроизведение градаций яркости. Они передают без искажения информацию о средней яркости изображения, имеют высокую [разрешающую способность](#), достигающую более 100 лин/мм.

Система сканирования у диссекторов автономна и позволяет организовать управление с произвольным доступом, т.е. осуществить любой вид развёртки. Для корреляционного анализа, свёртывания двух изображений, можно также использовать модуляцию времени сканирования с помощью другого изображения.

Современные диссекторы обладают высокой механической прочностью, виброустойчивостью, устойчивостью к большим перепадам температур, воздействию повышенной влажности. Из-за отсутствия [инерционности](#) диссектор, после подачи питающего напряжения, мгновенно готов к работе, так как в нём нет инерционного термокатаода.

К недостаткам диссектора следует отнести его невысокую чувствительность в широкополосном режиме работы, что, по сути, является недостатком всех систем мгновенного действия [[4, с. 113, 114](#)].

2.3. ПРИНЦИП НАКОПЛЕНИЯ ЗАРЯДА В ПРИЁМНИКАХ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Повысить эффективность систем мгновенного действия можно путем использования принципа накопления заряда. Этот принцип заключается в том, что световая энергия, облучающая элемент изображения в межкоммутационный период, не пропадает, а накапливается на этом элементе изображения. Принцип накопления заряда может быть пояснен с помощью эквивалентной схемы представленной на [рис. 2.6](#) [[4, с. 115](#)].

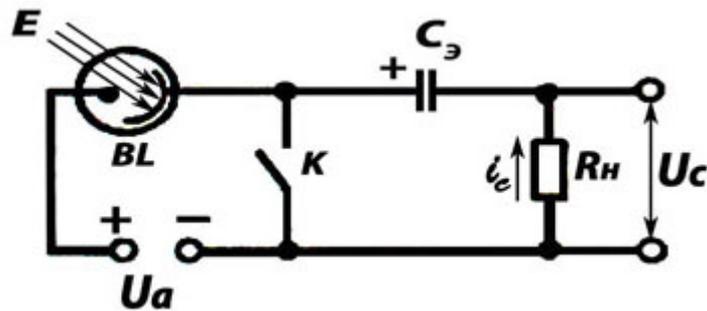


Рис. 2.6. Эквивалентная схема элемента изображения, поясняющая принцип накопления световой энергии

Как видно из этой схемы, при облучении фотоэлемента BL световым потоком F , вследствие фотоэмиссии, конденсатор C_3 накапливает заряд за время между двумя замыканиями ключа K . Время замыкания ключа K определяется законом развёртки и равно времени между двумя последовательными считываниями заряда на конденсаторе – C_3 , т.е. считывания накопленной информации, и оно определяется временем одного кадра изображения T_k .

Напряжение информационного сигнала U_c на сопротивлении нагрузки R_n образуется при разряде конденсатора C_3 за время коммутации t_3 , т.е. времени считывания, в течение которого ключ K замкнут и конденсатор C_3 разряжается через резистор R_n . Следовательно, ток разряда i_c накопительного конденсатора C_3 будет во столько раз больше тока в ТПИ с мгновенным действием, во сколько время считывания t_3 больше времени между двумя считываниями, т.е. времени кадра изображения T_k .

В реальных условиях эксплуатации ТПИ эффект накопления зарядов полностью реализовать не удастся, однако принцип накопления положен в основу работы всех приёмников изображения, использующих внутренний фотоэффект.

Видиконная коммутация используется практически во всех ТПИ с внутренним фотоэффектом. В них электронный пучок, испускаемый катодом, выступает в качестве проводника, т.е. электронного луча, последовательно опрашивающего (считывающего) распределение зарядов потенциального рельефа, на элементарных конденсаторах C_3 , возникших на мишени ТПИ под воздействием внешнего потока излучения. В качестве ТПИ, использующего данный способ считывания информационных зарядов и дающего название этому виду коммутации – видиконная, является видикон. Схема построения видикона, использующего коммутацию электронным лучом (пучком), представлена на [рис. 2.7.](#)

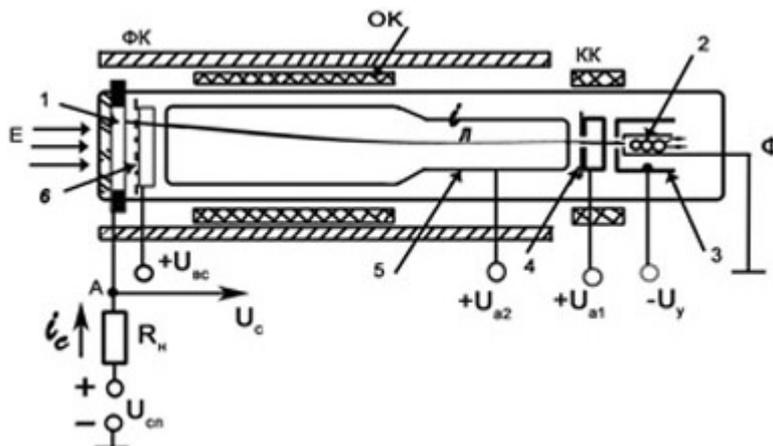


Рис. 2.7. Схема устройства видикона:

- 1 – мишень (чувствительный слой видикона); 2 – катод; 3 – управляющий электрод; 4 – первый анод; 5 – второй анод; 6 – мелкоструктурная выравнивающая сетка

Принцип работы видикона состоит в следующем. На сигнальную пластину подается положительный потенциал – напряжение смещения. Мишень представляет собой высокоомную фотопроводящую структуру. Потенциал задней поверхности мишени устанавливается электронным лучом и близок, в отсутствие освещения мишени, потенциалу катода. Таким образом, мишень представляет собой набор элементарных конденсаторов $C_э$, заряженных до напряжения смещения с утечками, образованными сопротивлением материала чувствительного слоя. Причём на мишени видикона столько элементарных конденсаторов $C_э$, сколько элементов изображения можно получить на данном ТПИ.

Под действием потока излучения от объекта наблюдения электронно-дырочные пары в материале чувствительного слоя разряжают эти элементарные конденсаторы $C_э$, и потенциалы на задней поверхности мишени растут в большей или меньшей степени в зависимости от интенсивности облучения, приближаясь к напряжению смещения. В результате этого за один кадр на задней стороне мишени отобразится распределение потенциалов, называемых потенциальным рельефом. При этом участкам, на которые попадает больше фотонов, будет соответствовать “более положительное” значение потенциала.

Электронный луч в видиконе представляет собой проводник, который при сканировании задней поверхности мишени последовательно, т.е. поэлементно, замыкает вторые электроды элементарных конденсаторов $C_э$, осуществляя их перезарядку, причём в точках с “более положительным” потенциалом требуется больше электронов для установления потенциала катода. Ток перезарядки, снимаемый с сигнальной пластины, на которую замкнуты все первые электроды элементарных конденсаторов $C_э$, формирует на сопротивлении нагрузки R_n информационный видеосигнал о распределении яркости на наблюдаемом изображении [3, с. 65, 66].

Спектральная характеристика чувствительности видикона определяется свойствами используемой фотомишени. Имеются видиконы, чувствительные к инфракрасному, видимому, ультрафиолетовому и рентгеновскому излучениям. На [рис. 2.8](#) [4, с. 120] приведены спектральные характеристики чувствительности некоторых широко используемых в прикладном телевидении типов видиконов.

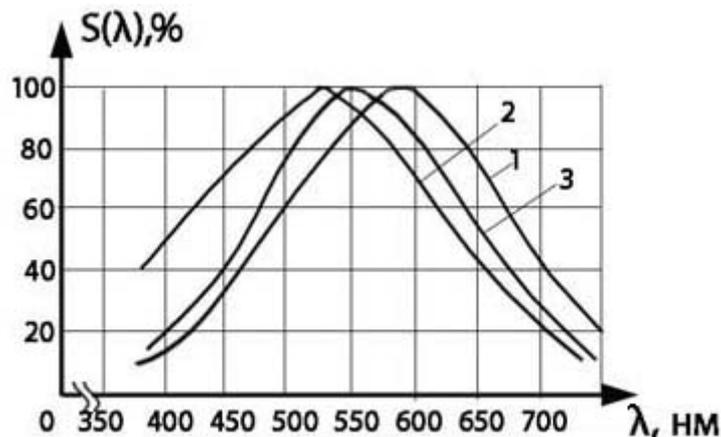


Рис. 2.8. Спектральные характеристики видиконов:
1 – ЛИ-421; 2 – ЛИ-418; 3 – ЛИ-426

Фотомишень видикона с омическим контактом Sb_2S_3 обладает большой инерционностью, что ограничивает её использование. Поэтому для устранения этого недостатка в телевидении используется мишень из материала PbO , имеющая p-i-n структуру. Видиконы с такой мишенью получили название глетикон или плюмбикон. Они нашли широкое распространение при построении профессиональных цветных телевизионных камер, используемых в студийных условиях на телецентрах.

Расширить диапазон спектральной характеристики чувствительности до $1,1 \text{ мкм}$ и уменьшить инерционность до $8 \dots 10 \%$, при значительной линейности световой (энергетической) характеристики, удалось при использовании в видиконе кремниевой диодно-мозаичной мишени. Такая телевизионная передающая трубка с шагом диодной мозаики $15 \dots 20 \text{ мкм}$ получила название кремникон.

Второй характеристикой, определяющей параметры видикона, является световая (энергетическая) характеристика. У видиконов эта характеристика зависит от напряжения на сигнальной пластине $U_{\text{сн}}$, в связи с чем световые характеристики видикона обычно приводят для различных значений $U_{\text{сн}}$.

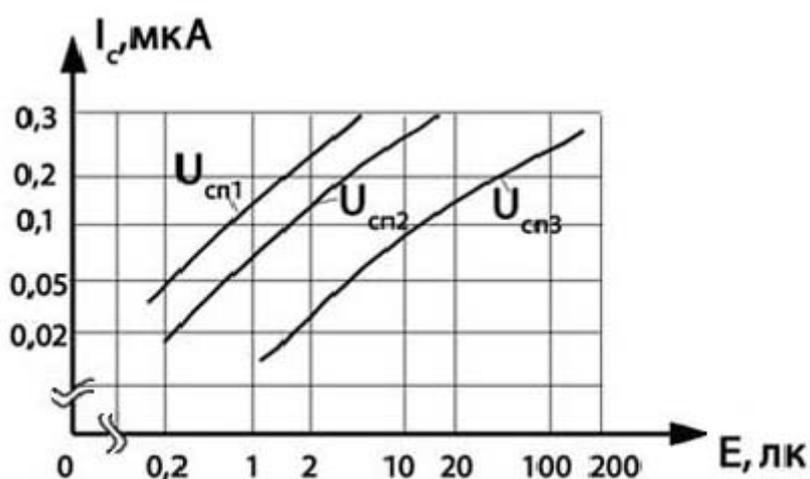


Рис. 2.9. Световая (энергетическая) характеристика видикона ЛИ-415 для различных значений $U_{\text{сн}}$ ($U_{\text{сн}1} > U_{\text{сн}2} > U_{\text{сн}3}$)

Анализ световых характеристик, представленных на [рис. 2.9](#) [4, с. 120], для трёх значений напряжения на сигнальной пластине: максимального ($U_{\text{сн}1}$), среднего ($U_{\text{сн}2}$) и минимального ($U_{\text{сн}3}$), показывает, что эти зависимости для видикона ЛИ-415 нелинейны, причём степень нелинейности различна для разных значений напряжения. Поэтому при использовании в системах технического зрения ТПИ типа видикон следует особое внимание уделять их параметрам и характеристикам, поскольку степень нелинейности у них изменяется в достаточно широких пределах. Так для видикона ЛИ-415 эти пределы составляют $0,6 \dots 0,8$.

Все мишени ТПИ, построенные по типу видикона, имеют коэффициент усиления меньше единицы, а следовательно, регистрируемые значения токов i_c имеют малые значения. В связи с этим при оптимизации параметров входного звена к первому каскаду предварительного усилителя предъявляются повышенные требования по шуму, поскольку эти параметры в основном будут определять пороговую чувствительность.

Инерционность видикона является главным его недостатком, который проявляется при передаче движущихся объектов в виде тянущегося за ним следа, размазывания контуров, потери чёткости и снижения контраста. Обычно инерционность оценивается отношением (в процентах) остаточного сигнала спустя кадр после прекращения экспозиции к сигналу во время экспозиции. На практике различают две составляющие инерционности – фотоэлектрическую и коммутационную.

Фотоэлектрическая инерционность обусловлена физическими процессами в фотомишени. Она зависит от материала, применяемого фотопроводника, количества примеси в нём, технологии изготовления и уровня освещённости, в то время как **коммутационная инерционность** обусловлена недостаточными значениями тока электронного пучка, в результате чего потенциальный рельеф фотомишени не успевает выравняться за один цикл развёртки, т.е. за один кадр. Уменьшить коммутационную составляющую можно путём уменьшения ёмкости C_3 элементарного конденсатора, так как увеличение тока луча приводит к ухудшению разрешающей способности видикона вследствие увеличения диаметра сечения считывающего луча [4, с. 122].

К достоинствам видикона следует отнести высокую чувствительность, способность к передаче информации о постоянной составляющей, отсутствие искажений сигнала изображения, связанных с эффектом перераспределения электронов.

Промышленностью выпускается около тридцати модификаций ТПИ типа видикон с размерами диаметра колб – 13,6; 26,7; 30,4; 38,4 мм. Благодаря простоте электронной коммутации, малым габаритам и высоким эксплуатационно-техническим параметрам видиконы нашли широкое применение в прикладных телевизионных системах различного назначения, а также они используются в телевизионном вещании в аппаратуре для передачи кинофильмов, где возможно обеспечить высокую освещённость, что позволяет преодолеть основной недостаток видикона – инерционность.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Что такое источник и приёмник оптического излучения и в чём их отличие?
2. Реальный масштаб времени: что это такое и чем он определяется?
3. Чем отличается система параметров и характеристик приёмников излучения от системы параметров и характеристик оптического излучения?
4. Каково отличие приёмников излучения от приёмников изображения и телевизионных приёмников изображения?
5. По каким параметрам и характеристикам оцениваются приёмники излучения, изображения и при каких условиях?
6. Что такое эталонные источники излучения в фотометрии и чем они отличаются от эталонных источников в энергетической фотометрии?
7. Чувствительность, спектральная чувствительность, спектральное распределение чувствительности, пороговая чувствительность: что это такое и в чём в них отличие?
8. Какие типы фотоэффектов вы знаете и какие из них получили наибольшее распространение в системах технического зрения?
9. Каково отличие в методах сканирования изображения, какие из них более перспективны в системах технического зрения?
10. Диск Нипкова: что это такое и для каких целей он был изобретён?
11. Чем отличается оптико-механическое сканирование от электронного и каковы их преимущества использования в системах технического зрения?
12. Какие преимущества имеют приёмники изображения диссекторного типа в образовании электронного изображения?
13. Что такое принцип накопления и в чём его преимущество по сравнению с другими приёмниками изображения?

14. Потенциальный рельеф: что это такое и где он образуется в телевизионных приёмниках изображения видиконного типа?
15. Каково отличие приборов с зарядовой связью от приборов с зарядовой инжекцией?
16. В чём заключается принцип организации потенциальных ям формирования зарядовых пакетов и их переноса?
17. МОП-структура: что это такое и какие физические процессы в ней происходят?
18. Что такое трёхфазовый регистр, как он работает и каково его преимущество по сравнению с двухфазовым?
19. Каковы способы организации переноса в матричных ПЗС-структурах, в чём их преимущества и недостатки?
20. Усилители яркости: как они устроены и для каких целей их используют?
21. Как устроены электронно-оптические преобразователи и в чём его преимущество по сравнению с другими преобразователями электромагнитного излучения оптического излучения?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 600 с.
2. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
3. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.
4. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. – 640 с.
5. Батраков А.С., Плисов С.Л. Формирователи видеосигнала на ПЗС //Зарубежная радиоэлектроника. – 1986. – № 1. – С.42–67
6. Цифровое преобразование изображений: Учеб. Пособие для вузов / Р.Е. Быков, Р. Фрайер, К.В. Иванов, А.А. Манцветов; Под ред. профессора Р.Е. Быкова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 228 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. <http://www.fos.ru/fisika/12182.html>
2. <http://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/109/535.htm>

Глава 2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.4. ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ПРИЁМНИКИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПЗС И ПЗИ СТРУКТУР

Внутренняя коммутация осуществляется в твёрдотельных приёмниках изображения, которые, благодаря точности координатной привязки, малым габаритным размерам и хорошей совместимости с технологией обработки информации широко используются в системах технического зрения. Отличительной особенностью внутренней коммутации является направленный перенос зарядов в полупроводнике вдоль его поверхности под воздействием тактовых импульсов. В связи с этим приборы с внутренней коммутацией получили название приборы с переносом заряда или приборы с зарядовой связью (ПЗС). По способу организации переноса и считывания зарядовых пакетов эти приборы подразделяются на ПЗС и приборы с зарядовой инжекцией (ПЗИ), а по пространственной организации светочувствительного массива – на одномерные (линейные) и двумерные (матричные) приборы [3, с. 68].

2.4.1. Принципы организации и переноса зарядовых пакетов

В основе построения ТПИ с зарядовой связью лежит свойство МОП-структур (металл – окисел – полупроводник), способных формировать и хранить зарядовые пакеты неосновных носителей.

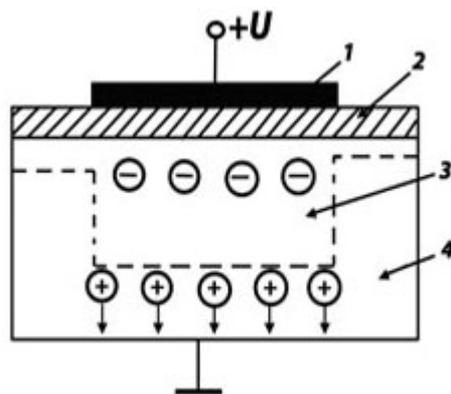


Рис. 2.10. МОП-структура:
1 – металл; 2 – окисел; 3 и 4 полупроводник

Принцип организации локализованных потенциальных ям на поверхности полупроводника можно пояснить с помощью [рис. 2.10.](#)

Так, если на электрод, соединённый с металлом, называемый затвором, подать положительный потенциал, то под действием электрического поля основные носители, отталкиваясь от границы Si-SiO₂, у поверхности образуют обеднённую область с глубиной порядка 0,1...1 мкм при напряжении $U = 10\text{В}$.

Неосновные носители, в данном случае электроны, под действием созданного поля будут перемещаться к границе раздела и локализоваться в узком слое порядка 0,01 мкм. В стационарном состоянии эти электроны экранируют внешнее электрическое поле, что приводит к уменьшению ширины обеднённой области и поверхностного потенциала до значения потенциала инверсии полупроводника.

В приборах ПЗС используется нестационарное состояние, при котором можно практически пренебречь термогенерацией. Поэтому полученные таким образом потенциальные ямы могут использоваться как хранилище зарядовых пакетов для неосновных носителей. Причём глубина этих ям будет определяться величиной приложенного напряжения к затвору.

Время жизни потенциальной ямы ограничено паразитным процессом, термогенерацией неосновных носителей, так как в кремнии под воздействием температуры всегда генерируются пары “электрон-дырка”, которые электрическим полем разделяются на основные и неосновные носители.

Накопленные в потенциальных ямах термогенерированные носители являются паразитными. Поэтому время, необходимое для информационного заполнения потенциальной ямы вследствие термогенерации, называется временем релаксации. Следовательно, промежуток времени, существенно меньший по сравнению со временем релаксации, может быть использован для хранения в потенциальных ямах зарядовых пакетов, несущих информацию о значениях полезного сигнала.

Информационные зарядовые пакеты могут быть организованы двумя путями – электрическим путем или с помощью световой генерации. При световой генерации фотоэлектрические процессы, возникающие в кремнии, приведут к накоплению неосновных носителей в потенциальных ямах. В этом случае накопленный заряд пропорционален величине освещённости и времени накопления, т.е. времени между двумя последовательными считываниями информационного пакета.

Организация считывания информационного пакета в ПЗС–структурах осуществляется путем направленной его передачи из одной потенциальной ямы в другую, используя принцип перетекания из мелкой потенциальной ямы в более глубокую яму. Поэтому для организации такого перемещения потенциальные ямы располагают на полупроводнике на достаточно близком расстоянии порядка 0,1...1,5 мкм, чтобы их обедненные области перекрывались и потенциальные ямы соединялись, как показано на [рис. 2.11.](#)

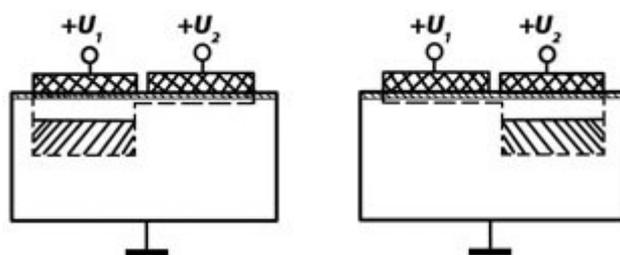


Рис. 2.11. Перенос зарядового пакета в МОП-структуре

Применение такой двухэлектродной схемы расположения потенциальных ям не позволяет осуществить направленное движение зарядового пакета, поскольку в последующие моменты времени, при равенстве потенциалов на электродах, он растечётся по двум потенциальным ямам равномерно. Поэтому для осуществления перемещения зарядового пакета необходимо иметь

защитный барьер. В качестве такого барьера можно использовать дополнительную потенциальную яму, запирающую растекание заряда. Для этого следует использовать трёхэлектродную конструкцию ПЗС, как показано на [рис. 2.12](#).

В трёхэлектродной конструкции, другими словами трёхфазовой структуре построения ПЗС, каждый электрод прибора подключён к одной из трёх тактовых шин с фазами Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 , т.е. получается, что один элемент сдвигового регистра состоит из трёх ячеек элементарных **МОП**-конденсаторов.

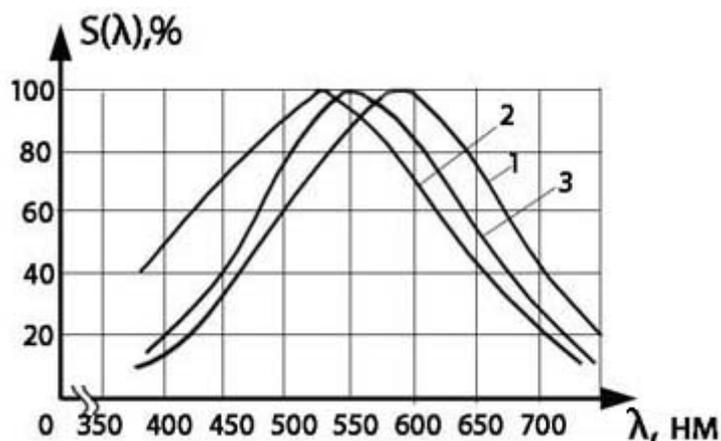


Рис. 2.12. Перемещение зарядовых пакетов в трёхфазном сдвиговом регистре:
а – трёхфазный регистр; б – идеальная тактовая диаграмма

В течение первого такта работы (момент t_1) на электроды фазы Φ_1 подано положительное напряжение U_2 . Под этими электродами образуются потенциальные ямы, в которых могут накапливаться и храниться заряды, образованные неосновными носителями. Это может происходить как в результате воздействия светового излучения – тогда заряды будут носителями полезной информации, так и вследствие паразитного процесса термогенерации. При этом термогенерированные заряды составляют паразитную добавку к информационному заряду и являются источником темнового тока сигнала изображения. Время хранения зарядов t_{xp} равно времени действия напряжения U_2 , а режим работы ячейки под электродами фазы Φ_1 в это время называется режимом хранения. В момент t_2 (второй такт) на электроды фазы Φ_2 подается напряжение U_3 , значение которого превышает в 1,5...2 раза напряжение U_2 . Это напряжение называется напряжением записи. Оно вызывает появление под электродами фазы более глубоких потенциальных ям, в которые и перетекают электроны из-под электродов фазы Φ_1 . Режим, при котором электроны перетекают из одних потенциальных ям в другие, называется режимом записи. В момент t_3 (третий такт) напряжение на электродах фазы уменьшится до значения U_2 , соответствующего режиму хранения, а напряжение на электродах фазы Φ_2 уменьшится от значения U_2 до U_1 , что предотвращает возврат зарядового пакета под электроды фазы Φ_1 . Из [рис. 2.12а](#) видно, что перенос зарядовых пакетов произойдет слева направо, так как под электродами фазы Φ_1 потенциал остается низким, равным U_1 . Такой направленный перенос зарядовых пакетов является одним из достоинств трёхтактных регистров.

Последовательность смены потенциалов тактовых управляющих импульсов в форме управляющих напряжений, показанная на диаграмме [рис. 2.12б](#), идеальна. Однако для повышения эффективности переноса зарядов тактовые импульсы, подаваемые на электроды, должны перекрываться и иметь пологий фронт, что задерживает уменьшение глубины потенциальной ямы. Поэтому на практике для управления лучше использовать импульсы трапецеидальной формы. В этом случае остатки заряда успевают перетечь в соседнюю потенциальную яму, и в результате повысится эффективность переноса заряда [[4, с. 129, 130](#)].

2.4.2. Способы организации считывания информации

Приёмники оптического излучения, построенные на основе ПЗС-структур, по способу организации считывания делятся на два класса линейные и матричные. У линейных ПЗС-структур фоточувствительные элементы расположены вдоль одной линии и формируют одну строку изображения объекта наблюдения. Для получения остальных строк изображения следует воспользоваться оптико-механическим способом сканирования, т.е. развёртки, используя либо перемещение наблюдаемого изображения над ПЗС в направлении, перпендикулярном линейке чувствительного слоя, либо путём перемещения самой однострочной ПЗС над этим изображением в этом же направлении.

Такие однострочные ПЗС нашли своё применение в контроле над технологическими процессами производства, при спектральном анализе и анализе оптической плотности макро- и микрообъектов, а также в ряде других областей, где требуется применение систем технического зрения.

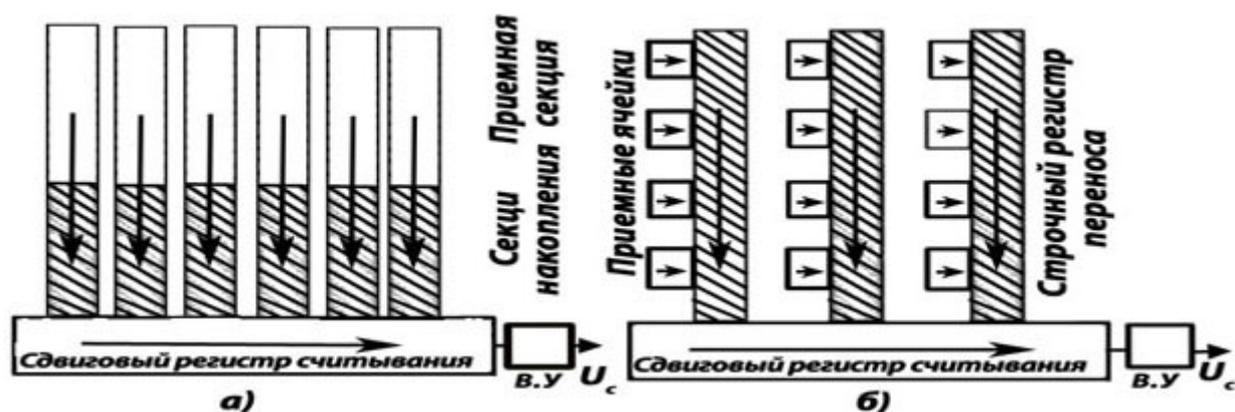


Рис. 2.13. Схема организации переноса в матрице ПЗС:
а – кадровый перенос; б – строчный (строчно-кадровый) перенос

Вторым типом построения твердотельных приёмников изображения, построенных на основе ПЗС, являются матричные структуры. Они представляют собой двухкоординатный массив светочувствительных элементов, осуществляющих электронное сканирование как по строке, так и кадру наблюдаемого изображения. В матричных ПЗС-структурах наибольшее распространение получили два типа организации переноса – это организации с кадровым и строчным (строчно-кадровым) переносом, как показано на [рис. 2.13.](#)

В ПЗС с кадровым переносом МОП-ячейки расположены в виде матрицы с вертикальными столбцами и горизонтальными строками. На одной половине матрицы располагается секция приёма оптического изображения, в которой образуются зарядовые пакеты под действием

внешнего излучения, а на второй половине – секция накопления, защищённая от внешнего потока излучения.

Зарядовые пакеты по истечении времени экспозиции сдвигаются в секцию накопления и далее через выходной регистр строка за строкой передаются на выходной усилитель, образуя информационный видеосигнал. Во время поэлементного считывания всех зарядовых пакетов из секции накопления в приёмной секции осуществляется процесс накопления новых информационных зарядовых пакетов следующего кадра изображения.

При строчном (строчно-кадровом) переносе между фоточувствительными ячейками находятся экранированные строчные регистры переноса. После завершения экспозиции зарядовые пакеты быстро передаются в строчные регистры, а далее осуществляется их перенос к сдвиговому регистру и на выходной усилитель.

Каждый из вариантов организации переноса имеет свои преимущества и недостатки. В кадровом переносе информационный сигнал формируется от всего изображения, направленного в секцию накопления, т.е. используется весь поток света – около 100 %. При строчном переносе строчные регистры занимают много места – до 50 % площади, на которую направлен внешний поток излучения, что соответственно уменьшает качественные параметры формируемого информационного сигнала о наблюдаемом объекте.

Одним из основных достоинств кадрового считывания является устранение эффекта смазывания изображения, так как зарядовые информационные пакеты считываются из защищённой от внешнего излучения секции хранения и дополнительной засветки при развёртке изображения не происходит.

Принцип кадрового переноса удобен для освещения матрицы со стороны подложки, что позволяет удвоить квантовую эффективность прибора и получить более равномерную характеристику спектральной чувствительности.

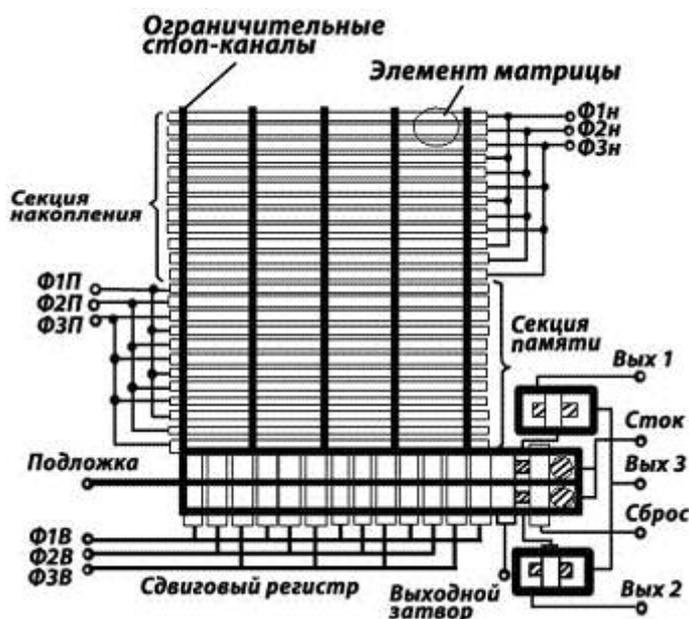


Рис. 2.14. Схема матрицы ПЗС с кадровым считыванием

На [рис. 2.14](#) [4, с. 132] приведена схема серийно выпускаемой отечественной промышленностью матрицы ПЗС с числом элементов 288x232, работающей с кадровым переносом накопленной информации и трёхтактным регистром управления. Матрица содержит фоточувствительную

секцию накопления, состоящую из 144x232 элементов, секцию памяти, состоящую из 144x233 элементов, сдвиговый регистр на 235 элементов и выходное устройство, состоящее из двух транзисторов.

В состав выходного устройства входит также вспомогательный регистр, с помощью которого компенсируются помехи от тактовых импульсов. Для усиления сигнала изображения в матрице используется дифференциальное устройство, в котором происходит компенсация тактовых импульсов, поступающих на его входы в противофазе [4, с. 132].

Световая (энергетическая) и спектральная характеристики в ПЗС-матрицах, прежде всего, определяется эффективностью квантового выхода, т. е. степенью открытости фоточувствительного слоя. Применение поликремневых электродов позволило решить технологическую задачу малых промежутков между электродами в ПЗС-структурах и существенно улучшить перенос зарядовых пакетов. Но поликремневые электроды имеют и недостаток, заключающийся в поглощении входного потока излучения от 40 до 90%, особенно в синей области спектра 0,3 ... 0,45 мкм. В многослойных структурах ПЗС создаются интерференционные эффекты, что делает характеристику спектральной чувствительности изрезанной, как показано на рис. 2.15 [4, с. 134].

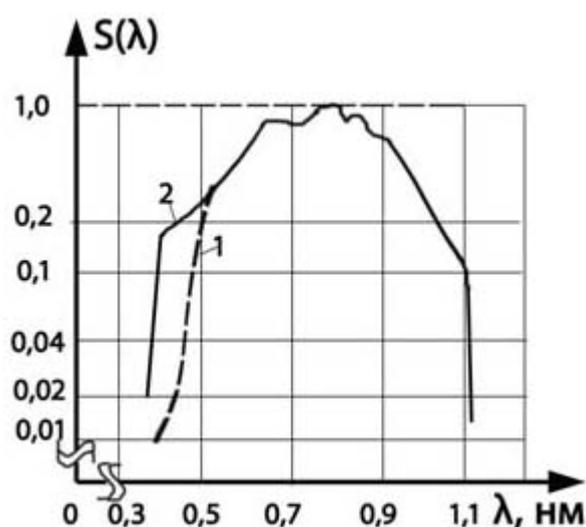


Рис. 2.15. Спектральная характеристика матрицы ПЗС

Кроме того, характеристика спектральной чувствительности имеет подъем в длинноволновой области спектра и спад в области длин волн 0,4...0,5 мкм (кривая 1), который обусловлен сильным поглощением на этом участке спектра нанесенными на полупроводниковую подложку поликремневыми электродами.

Для повышения чувствительности, в синей области спектра, в поликремневых электродах сделаны окна. Площадь этих окон составляет примерно 15...20 % от площади фоточувствительной поверхности элемента. Это поднимает чувствительность матрицы на длине волны $\lambda = 0,4$ мкм до 20 % (кривая 2), что позволило использовать матрицу в цветном телевидении.

Световая характеристика ПЗС в рабочем диапазоне освещенности линейна (рис. 2.16). Точка 1 соответствует выходному сигналу в отсутствие освещения и определяет темновой ток, обусловленный в большой степени термогенерацией неосновных носителей. Точка 2

характеризует режим насыщения элемента матрицы, т.е. полное заполнение потенциальной ямы неосновными носителями.

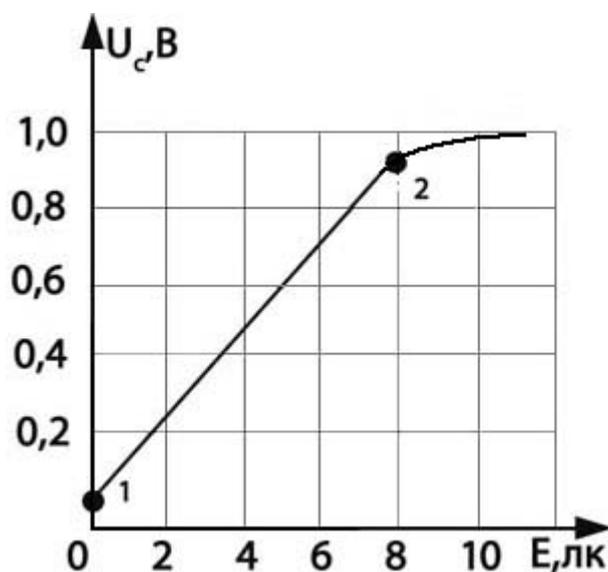


Рис. 2.16. Световая характеристика матрицы ПЗС

Глубина потенциальной ямы определяется конструктивными параметрами матрицы и потенциалом накопления, значение которого ограничено напряжением пробоя элементарного МОП-конденсатора.

Повышение эффективности квантового выхода достигается топологическими приёмами: путём открытия поверхности за счёт формы электродов, применением фотодиодов в качестве фоточувствительных элементов, а также созданием структур типа виртуальная фаза, где открыто более 50 % поверхности [5, с. 42–67].

Существенное повышение чувствительности во всем спектральном диапазоне спектральной чувствительности 0,4...1,1 мкм достигается путём освещения ПЗС со стороны подложки. Для этого подложка профильным травлением доводится до толщины, меньшей диффузионной длины носителей 8...10 мкм. В этом случае значения эффективности квантового выхода составляют 0,8 при $\lambda = 0,5$ мкм и 0,3 при $\lambda = 0,35$ мкм. Повысить значение эффективности квантового выхода можно также с помощью “многоэтажных” структур, когда фоточувствительный слой наносится на диодную матрицу, а также с помощью матрицы микролинз, собирающих свет со всей площади прибора на фоточувствительные области [3, с. 76].

Приборы с зарядовой инжекцией. Схематически структура ПЗИ изображена на [рис. 2.17](#) [3, с. 77].

Каждый её фоточувствительный элемент состоит из двух МОП-конденсаторов, между которыми имеется зарядовая связь. Фоточувствительные элементы в ПЗИ объединены в матрицу с координатным управлением по осям x и y таким образом, что один из конденсаторов подсоединён к горизонтальной (строчной) шине, а другой – к вертикальной (столбцовой). Сдвиговой регистр,

управляющий горизонтальными шинами, работает с частотой опроса строк, а регистр, управляющий столбцами, – с частотой опроса элементов. Помимо этого имеются ключи, подсоединяющие столбцы к источнику опорного потенциала.

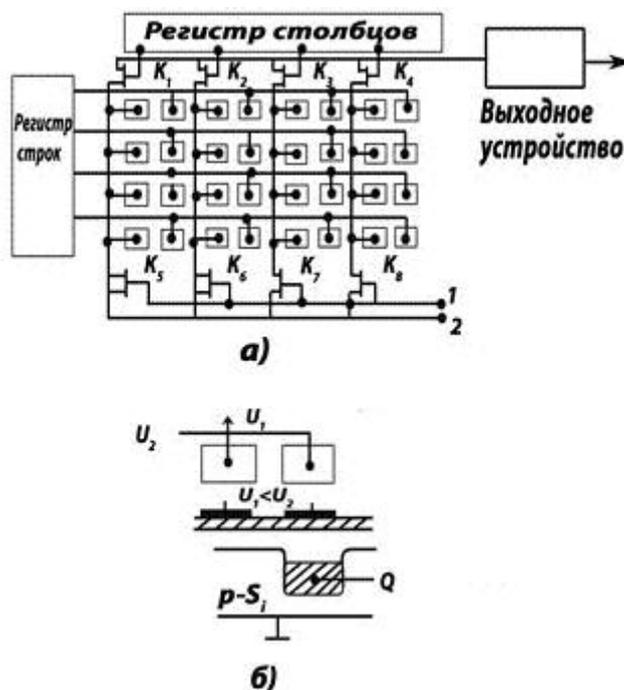


Рис. 2.17. Схема матрицы ПЗИ:
а – схема коммутации; б – структура ячейки

Во время накопления на ёмкости строчных шин подаётся обедняющее напряжение и в них собираются фотогенерированные носители. Столбцовые шины, заряженные от опорного источника и отключённые от него, находятся в плавающем состоянии. С помощью вертикального регистра снимают смещение со строки, выбранной для считывания. При этом заряды из всех ячеек строки переходят в столбцовые ёмкости, потенциалы которых изменяются в соответствии с величиной перешедших зарядовых пакетов. Эти потенциалы считывают поэлементно, подключая с помощью горизонтального регистра столбцы к шине считывания и выходному устройству. Чтобы подготовить прибор к следующему такту работы, со столбцов снимают потенциал с помощью ключей опорного источника, а заряды при этом инжектируются в подложку. При режиме неразрушающего считывания заряды вновь возвращаются в ячейки строчных шин. Применение **ПЗИ** не требует высокой эффективности переноса, так как число переносов ограничено. ПЗИ отличается высокими перегрузочными свойствами – каждый элемент со всех сторон окружён стоп-канальной областью. Возможность неразрушающего считывания при N считываниях позволяет в $N^{0.5}$ раз улучшить значение отношения сигнал/шум.

Основные недостатки ПЗИ – большая ёмкость столбцов, что затрудняет считывание зарядов, и ярко выраженный геометрический шум, связанный с отличием ёмкостей столбцов. Для уменьшения ёмкости столбцов применяют распараллеливание массива элементов матрицы на ряд отдельных подмассивов. Шумы считывания для ПЗИ примерно в 20 раз больше, чем для ПЗС. Этот недостаток пока ограничивает широкое распространение ПЗИ [4, с. 77, 78].

2.5. УСИЛИТЕЛИ ЯРКОСТИ

К особым устройствам преобразования оптического излучения следует отнести преобразователи спектра излучения, например, рентгеновского, ультрафиолетового или инфракрасного излучения, а также преобразователи для усиления яркости слабосветящихся объектов. В качестве таких устройств в системах технического зрения используется докоммутиационное усиление на кремниевой мишени. Мишенью в таких устройствах выступает либо мишень, аналогичная применяемой в кремнионе, либо ПЗС-структура, подложка которой протравлена до толщины 10...15 мкм.

На [рис. 2.18](#) [3, с. 81] представлена структура устройства, использующего секцию переноса докоммутиационного усиления на кремниевой мишени, получившего название супервидикон или суперкремнион [4, с. 81, 82].

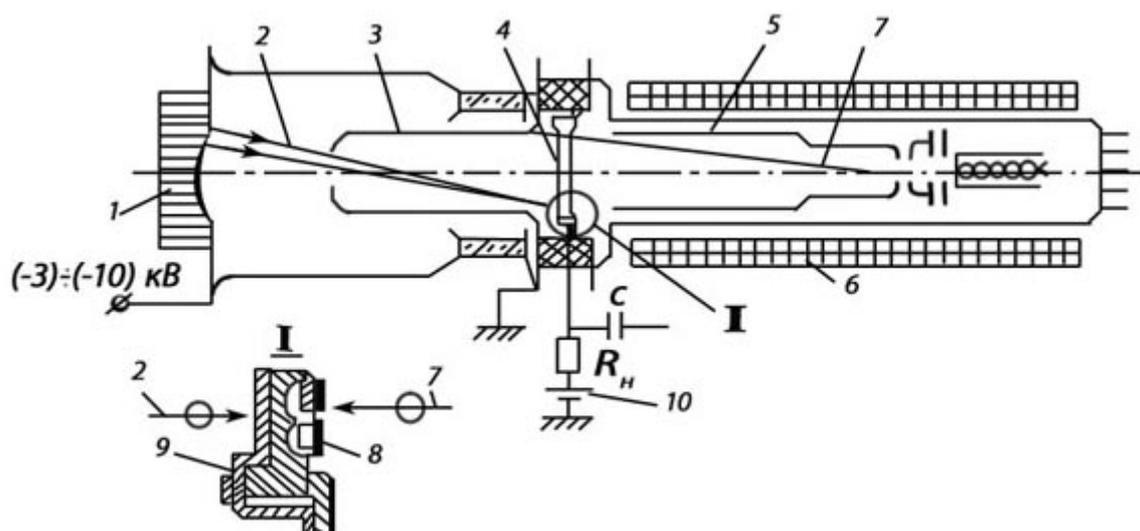


Рис. 2.18. Схема устройства супервидикона:

- 1 – фотокатод; 2 – фотоэлектроны; 3 – ускоряющий фокусирующий электрод; 4 – кремниевая диодно-мозаичная мишень;
- 5 – система фокусирующего считывающего луча; 6 – магнитная система отклонения и фокусировки; 7 – электроны считывающего луча;
- 8 – p^+ -области мозаики с контактными площадками к ним; 9 – подложка монокристаллического кремния n -типа; 10 – источник смещения сигнальной пластины

Спектральная характеристика чувствительности и квантовый выход у супервидикона определяются параметрами фотокатода 1. Квантовый выход такого фотокатода примерно равен 10 %, а реальное усиление составляет около 200.

Аналогичным образом строится и супер-ПЗС матрица, в которой секция переноса соединяется с ПЗС-структурой. Так, если электроны с фотокатода направить на кремниевую мишень, придав им энергию около 10 кэВ, то в мишени будет получено усиление, примерно равное 2000.

Усилителем яркости также называют электронно-оптический преобразователь (ЭОП). Конструкция ЭОП аналогична конструкции камеры переноса суперкремниона. Отличие заключено только в том, что место кремниевой мишени занимает экран, люминесцирующий под воздействием ускоренных электронов. В ЭОП фотоны, попадающие на фотокатод, освобождают фотоэлектроны с квантовым выходом примерно равным 10...20 %. Эти фотоэлектроны после фокусировки и ускорения до $(1...1,5) \cdot 10^4$ эВ бомбардируют люминофор, испускающий фотоны в

характерной для него спектральной области. Общая эффективность преобразования у ЭОП составляет 1...4 %, что при энергии в (1...1,5) 10^4 эВ обеспечивает усиление около 200.

Применение стекловолокна в построении ЭОП позволяет обеспечить электростатическую фокусировку, что даёт возможность осуществлять непосредственную без промежуточной оптики стыковку с приборами, имеющими стекловолокно на входе, или стыковку между собой нескольких секций ЭОП для увеличения коэффициента усиления.

Появление канальных умножителей и микроканальных пластин, построенных на их основе, позволило создать новое поколение ЭОП. Микроканальные пластины состоят из канальных умножителей с коэффициентом заполнения площади более чем 60 %. В усилителях яркости, построенных на микроканальных пластинах, получен коэффициент усиления, достигающий 10^5 ... 10^6 .

Микроканальные пластины также используют для получения изображений в дальней ультрафиолетовой области спектра, где их квантовая эффективность составляет 5...15 % для длин волн $\lambda = 30$...150 нм, а также в рентгеновском диапазоне, где эффективность составляет около 1 % при 60...100 кэВ и доходит до 5...10 % на длинах волн $\lambda = 0,2$...5 нм.

Помимо хорошего пространственного разрешения усилители яркости на микроканальных пластинах позволяют осуществлять за счёт стробирования входного промежутка и временную селекцию с точностью порядка 3...5 нс [[4, с. 82, 83](#)].

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Что такое источник и приёмник оптического излучения и в чём их отличие?
2. Реальный масштаб времени: что это такое и чем он определяется?
3. Чем отличается система параметров и характеристик приёмников излучения от системы параметров и характеристик оптического излучения?
4. Каково отличие приёмников излучения от приёмников изображения и телевизионных приёмников изображения?
5. По каким параметрам и характеристикам оцениваются приёмники излучения, изображения и при каких условиях?
6. Что такое эталонные источники излучения в фотометрии и чем они отличаются от эталонных источников в энергетической фотометрии?
7. Чувствительность, спектральная чувствительность, спектральное распределение чувствительности, пороговая чувствительность: что это такое и в чём в них отличие?
8. Какие типы фотоэффектов вы знаете и какие из них получили наибольшее распространение в системах технического зрения?
9. Каково отличие в методах сканирования изображения, какие из них более перспективны в системах технического зрения?
10. Диск Нипкова: что это такое и для каких целей он был изобретён?
11. Чем отличается оптико-механическое сканирование от электронного и каковы их преимущества использования в системах технического зрения?
12. Какие преимущества имеют приёмники изображения диссекторного типа в образовании электронного изображения?
13. Что такое принцип накопления и в чём его преимущество по сравнению с другими приёмниками изображения?
14. Потенциальный рельеф: что это такое и где он образуется в телевизионных приёмниках изображения видиконного типа?
15. Каково отличие приборов с зарядовой связью от приборов с зарядовой инжекцией?

16. В чём заключается принцип организации потенциальных ям формирования зарядовых пакетов и их переноса?
17. МОП-структура: что это такое и какие физические процессы в ней происходят?
18. Что такое трёхфазовый регистр, как он работает и каково его преимущество по сравнению с двухфазовым?
19. Каковы способы организации переноса в матричных ПЗС-структурах, в чём их преимущества и недостатки?
20. Усилители яркости: как они устроены и для каких целей их используют?
21. Как устроены электронно-оптические преобразователи и в чём его преимущество по сравнению с другими преобразователями электромагнитного излучения оптического излучения?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мирошников М.М. Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 600 с.
2. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
3. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.
4. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. – 640 с.
5. Батраков А.С., Плисов С.Л. Формирователи видеосигнала на ПЗС //Зарубежная радиоэлектроника. – 1986. – № 1. – С.42–67
6. Цифровое преобразование изображений: Учеб. Пособие для вузов / Р.Е. Быков, Р. Фрайер, К.В. Иванов, А.А. Манцветов; Под ред. профессора Р.Е. Быкова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 228 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. http://www.ssga.ru/eossib/oep_yak/g79.htm
2. <http://aco.ifmo.ru/science/03-bmv.html>
3. <http://vova1001.narod.ru/00003935.htm>
4. <http://www.ess.ru/publications/articles/nikulin2/nikulin.htm>

Глава 3. СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

- 3.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
-
- 3.2. МНОГОЗОНАЛЬНЫЕ СКАНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ
-
- 3.3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ
 - 3.3.1. Энергетический расчёт оптической системы
 - 3.3.2. Методика расчёта основных параметров системы технического зрения
 -  Литературные источники
 -  Ссылки на Интернет-ресурсы

3.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Оценка возможности решать задачи восприятия изображений должна осуществляться на основе анализа не только параметров и характеристик оптического изображения $E(\lambda)$, но и всех элементов системы технического зрения, в том числе параметров и характеристик приёмника изображения, поскольку последний в ряде случаев определяет предельные возможности всей системы в целом. На [рис. 3.1](#) представлена обобщённая схема системы технического зрения.

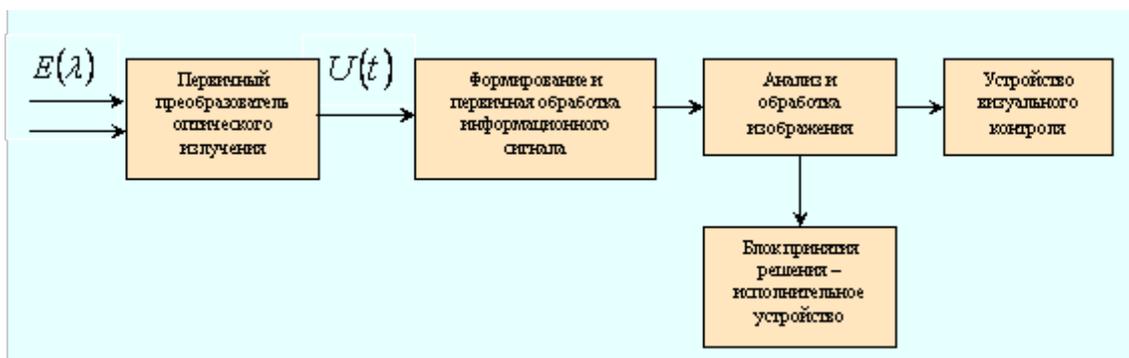


Рис. 3.1. Схема функционирования СТЗ

Система технического зрения представляет собой устройство, включающее в свой состав как оптические, так и электронные звенья. Из общей теории информационных измерительных систем видно, что системы технического зрения можно строить на основе реализации задач,

предназначенных для их решения. Поэтому, прежде чем приступить к рассмотрению структуры построения, следует провести классификацию система технического зрения по ряду характеризующих их признаков:



- по виду входного информационного сигнала;
- по измеряемой **СТЗ** физической величине;
- по степени участия оператора в обслуживании СТЗ;
- по способам сканирования изображения;
- по способам формирования, анализа и обработки изображения и др.

Так, рассматривая классификацию СТЗ по виду входного информационного сигнала, можно сказать, что она также зависит от ряда параметров самого оптического изображения $E(\lambda)$, таких как:

- линейные координаты объектов на плоскости изображения;
- координаты трёхмерного Евклидова пространства;
- временные характеристики;
- спектральный диапазон оптического излучения;
- диапазон плотностей мощности потока оптического излучения и т.д.

На практике всё это многообразие классификаций СТЗ, можно свести к четырём функциональным задачам, выполняемым этими системами, – обнаружения, распознавания, слежения и измерения значений физических величин.

Рассматривая общие принципы работы СТЗ, можно отметить, что вне зависимости от решаемых ими задач изображение от объекта наблюдения через оптический блок передаётся на первичный преобразователь оптического излучения, в качестве которого выступает приёмник изображения. Электрический сигнал, сформированный этим приёмником изображения с помощью системы сканирования, усиливается, причём в процессе усиления осуществляется его первичная обработка – противозумовая коррекция. В дальнейшем этот информационный сигнал либо используется в аналоговом виде в СТЗ, либо преобразуется в цифровой сигнал в соответствии с теоремой отсчетов [Котельникова](#).

Следует иметь в виду, что при преобразовании сигнала из аналогового в цифровой безвозвратно исчезает часть информации об объекте наблюдения вследствие [временной дискретизации](#) и [квантования](#) сигнала по уровню ([рис. 3.2](#)). Кроме того, надо помнить, что амплитудные значения цифрового сигнала для одного и того же элемента будут отличаться от исходного аналогового вследствие ошибок квантования.

Сформированный информационный сигнал в аналоговой или цифровой форме подаётся на устройство анализа и обработки изображения, в котором осуществляется выполнение задачи, стоящей перед данной системой технического зрения

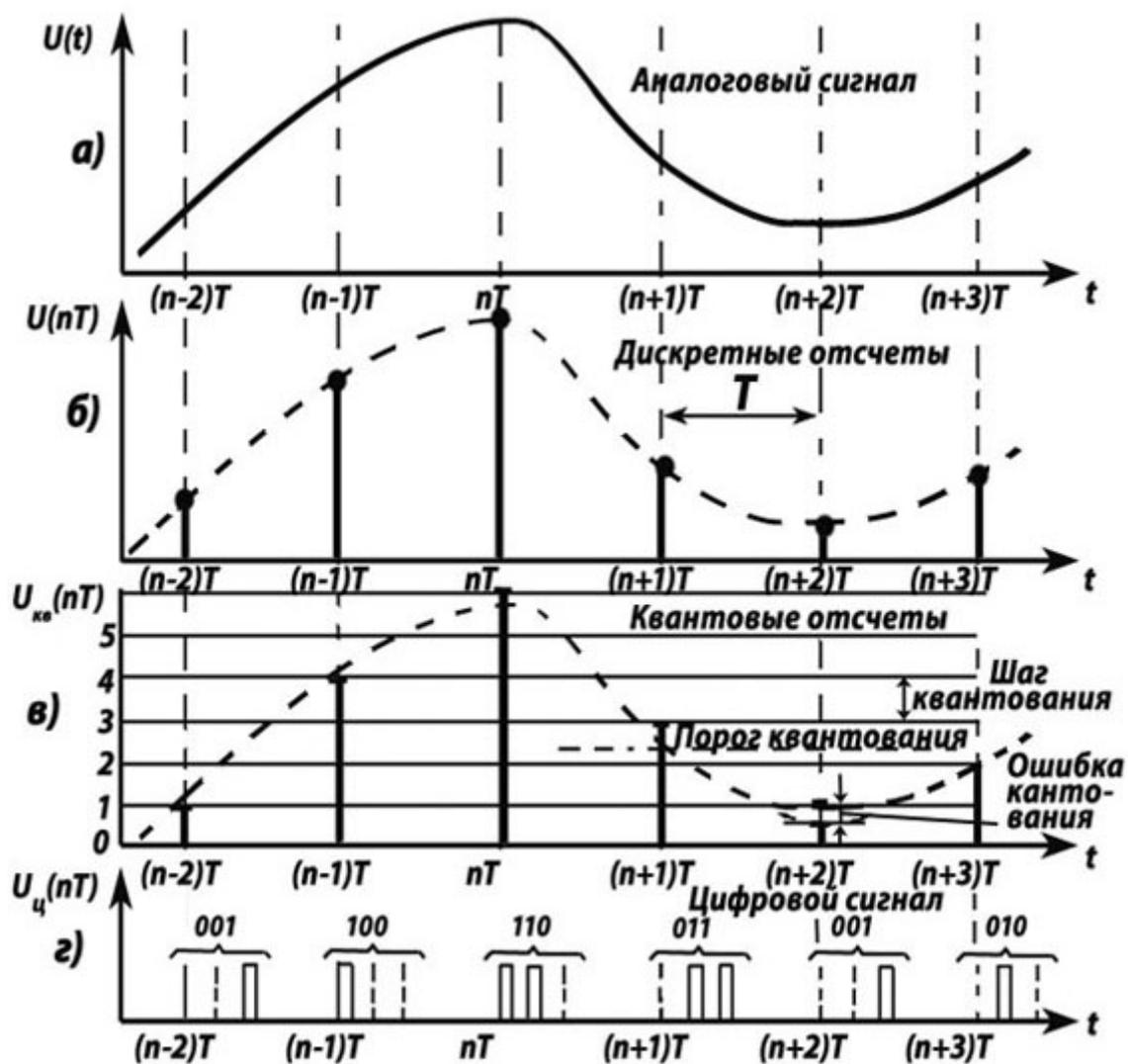


Рис. 3.2. Преобразование аналогового информационного сигнала в цифровую форму [1, с. 78]

Процесс анализа и обработки изображения чаще всего осуществляется под контролем оператора. Поэтому неотъемлемой частью СТЗ является устройство визуального контроля – синтезирующее устройство. Оператор, во время работы СТЗ, может влиять на процессы анализа и обработки изображения или на основе полученной им информации давать команды для организации управляющих сигналов, приводящих в действие исполнительные механизмы, осуществляющие целенаправленное воздействие.

В настоящее время процессы обработки и анализа информационного сигнала в основном осуществляются в цифровой форме на электронно-вычислительных комплексах, т.е. в компьютерах. Поэтому на практике часто путают два понятия компьютерная графика и обработка изображения.

В первом случае, в компьютерной графике, стремятся достичь изображения трёхмерных сцен посредством программных средств компьютера, в то время как при обработке изображений пытаются реконструировать трёхмерную сцену из исходного изображения. Так, в компьютерной графике мы начинаем со сведений о форме и признаках объекта и продолжаем работу до тех пор,

пока не получим двухмерное изображение. В этом смысле обработка изображений выполняет операцию, обратную операции компьютерной графики.

Поэтому, для того чтобы владеть знаниями об обработке изображения или о компьютерной графике, мы, по существу, должны исходить из одних и тех же положений, т.е. нам необходимо знать взаимодействие освещения сцены и объектов наблюдения и как трёхмерная сцена проектируется на плоскость изображения.

Все принципы функционирования **СТЗ**, с точки зрения их построения, можно разделить на два поколения.

Первое поколение – системы технического зрения, оснащённые телевизионной передающей камерой либо веб-камерой и персональным компьютером. Такие системы работают по бинарному принципу, т. е. представляют все точки оптического изображения как светлые и тёмные. Это представление налагает жесткие требования на условия освещения объектов наблюдения, поскольку изображение должно быть контрастным.

Второе поколение – системы технического зрения, способные анализировать уровни освещённости, т. е. правильно определять границы деталей и некоторые существенные особенности объектов наблюдения. При этом объём информации, поступающей на обработку, существенно возрастает, что приводит к увеличению времени обработки.

В настоящее время в системах технического зрения широкое распространение нашли телевизионные передающие камеры чёрно-белого изображения. Однако следует заметить, что применение цветных телевизионных камер приводит к повышению информативности изображения и в ряде случаев упрощает обработку и анализ наблюдаемых изображений, а также уменьшает время, отведённое на эти операции.

Для уменьшения времени, отводимого на обработку изображений, этот процесс делится на два этапа, на предварительную – первичную и вторичную обработку. При этом в большинстве случаев осуществляется фиксация и представление изображения в виде характерных точек, т.е. определение центра объекта наблюдения, нахождение его наиболее важных характерных особенностей: углов, расстояний от центра до края и т.д. Таким образом, на первом этапе осуществляется непосредственная обработка и представление информации в вид, удобный для дальнейших стандартных преобразований, которые в дальнейшем выполняют на компьютере.

Предварительная обработка учитывает специфику объекта, поэтому устройство первичной обработки, как правило, является специализированным, реализующим требуемые алгоритмы. Устройство вторичной обработки осуществляет уже распознавание изображения, т.е. по его характерным признакам определяет, к какому классу принадлежит наблюдаемый объект или исследуемое физическое явление.

Качество оптического изображения в СТЗ, прежде всего, определяется способом освещения наблюдаемой сцены, и делится на теневое и отраженное освещение [2, с. 23–33], как это представлено на [рис. 3.3](#) [3, с. 108].

Различные способы освещения объектов наблюдения используют стационарный либо стробирующий режим освещения. Стробирующий режим освещения в основном используется для анализа изображений с движущимися объектами наблюдения.

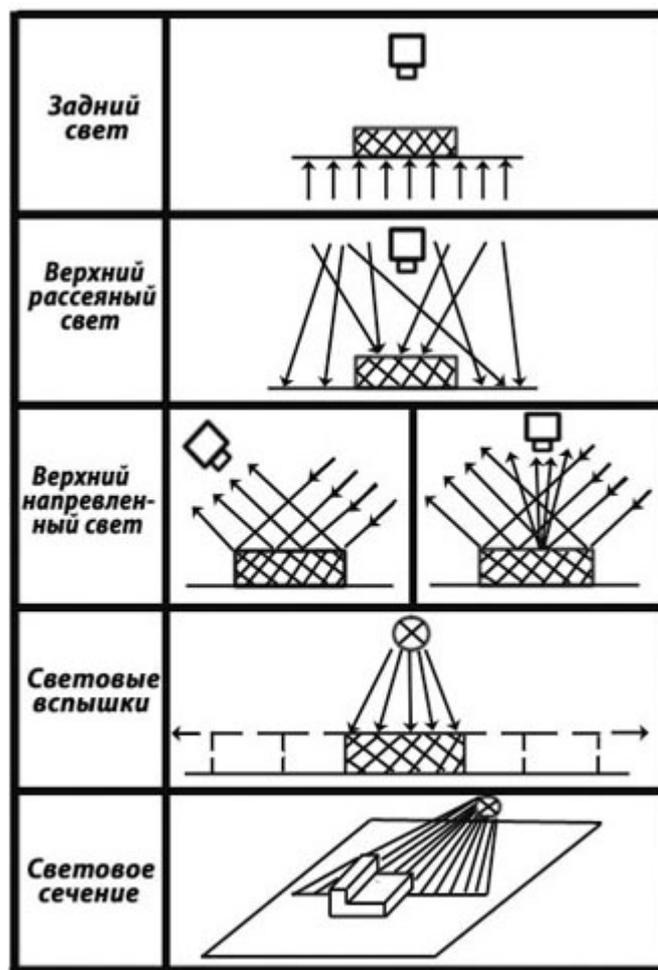


Рис. 3.3. Способы освещения объектов наблюдения

Освещение объектов наблюдения с помощью заднего свет позволяет получить лишь силуэт объекта, а следовательно, пригодно только для анализа бинарных изображений. Верхнее освещение может быть рассеянным или направленным. Источник рассеянного света обеспечивает однородное отражение и, таким образом, более подходит для решения задачи сегментации, т.е. разделения изображения на однородные области. Для задач проверки и измерения шероховатости поверхности деталей следует использовать направленное освещение. В этом случае яркое поле наблюдения соответствует прямо отраженному свету. Если же на поверхности имеются неоднородности (например царапины), то часть светового потока отражается в другую сторону, образуя тёмное поле наблюдения [3 с.108].

Как видно из материала, рассмотренного выше, проблема освещённости имеет большое значение при построении СТЗ. Поэтому эти проблемы можно разделить на две группы:

- **оптические проблемы** – связанные с выбором плотности мощности потока излучения, освещающего исследуемые объекты, и чувствительностью приёмника излучения, поскольку системы технического зрения работают с различными объектами наблюдения, среди которых могут быть как прозрачные, так и непрозрачные. С одной стороны, уровень освещённости должен быть достаточно высоким, а с другой – при сильной освещённости может возникнуть эффект насыщения в приёмнике оптического излучения. Очень важным моментом также является борьба с ложными отражениями (бликами) от поверхностей объектов наблюдения. Следует учитывать и форму объектов, поскольку искривленные

поверхности могут отражать свет как выпуклое или вогнутое зеркало, увеличивая погрешности оптической системы;

- **проблемы взаимодействия с внешней средой** – к ним относятся выбор фоновых поверхностей, исключение влияния вибрации оборудования, вызывающей флуктуацию уровней и направления освещения, а также проблема перемещения объектов, предполагающая использование быстрого сканирования и учёт обусловленных им погрешностей.

Однозначного решения проблем с освещённостью объектов наблюдения и исследования физических процессов не существует. Каждое частное решение требует оценки реальных условий функционирования системы технического зрения.

3.2. МНОГОЗОНАЛЬНЫЕ СКАНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Наряду с одноканальной схемой построения СТЗ на практике часто используют и многоканальную или, как её ещё называют, спектрзональную систему построения, анализирующую пространственно-временное распределение потока излучения от объекта наблюдения в двух или более спектральных зонах оптического диапазона. При таком варианте построения каждый канал СТЗ настроен на определенный спектральный диапазон наблюдения. Всю информацию, полученную от каждого спектрально независимого канала, поэлементно объединяют в соответствии с заданным алгоритмом в одно изображение, которое затем подаётся в устройство анализа и обработки изображения.

Как видно из структуры построения спектрзональных систем технического зрения, первичная обработка изображения осуществляется уже в оптическом блоке при выборе спектрального диапазона наблюдения в каждом отдельном канале. Это даёт возможность таким системам, за счёт изменения алгоритма объединения изображений, получать значительно больший объём информации об объектах наблюдения, чем в одноканальной или цветной системе СТЗ.

Некоторые авторы указывают, что основное отличие спектрзональных СТЗ от систем цветного телевидения заключается в более широком спектральном диапазоне их работы. Это не совсем верно, так как существуют спектрзональные системы, работающие в диапазоне волн видимого спектра излучения. Принципиальное же отличие этих систем от систем цветного телевидения, а также цветной системы СТЗ сводится к тому, что характеристики спектральной чувствительности каналов СТЗ для каждого спектрального диапазона выбираются исходя из решения конкретной задачи и они не связаны с характеристиками спектральной чувствительности человеческого зрения для синего, зеленого и красного цветов. Такой подход даёт возможность, даже при работе в пределах видимого диапазона спектра заметно повысить различимость достаточно большого класса объектов наблюдения [[4 с. 18–21](#)].

В настоящее время спектрзональные системы нашли широкое распространение при аэрокосмических исследованиях природных ресурсов Земли [[5 с. 100–174](#)].

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Какова структура построения системы технического зрения и чем она отличается от телевизионных систем?

2. Измерительные телевизионные системы, прикладные телевизионные системы, телевизионные автоматы и системы технического зрения: в чём отличие в их структурах построения?
3. Назовите отличия в построении аналогового, дискретного и цифрового видеосигнала.
4. Каково отличие в понятиях “компьютерная графика” и “обработка изображений”?
5. Чем отличаются системы технического зрения первого поколения от систем технического зрения второго поколения?
6. Объясните разницу в способах освещения объектов наблюдения и поясните, в каких случаях какой из видов освещения наиболее целесообразно использовать.
7. Что следует подразумевать под многозональными, спектрзональными и одноканальными системами технического зрения?
8. Что такое разрешающая способность оптической системы и разрешающая способность системы технического зрения?
9. Какие параметры описывает частотно-контрастная характеристика системы технического зрения и как она определяется?
10. Сквозная характеристика спектральной чувствительности: что это такое и какие параметры и характеристики она определяет в системах технического зрения?
11. Для какой цели проводится энергетический расчёт для трёх типов излучателей – точечного, площадного и протяжённого?
12. В чём заключается методика расчёта основных параметров системы технического зрения?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 640 с
2. Жаботинский Ю.Д., Сердцев А.А. Системы технического зрения для промышленных роботов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – № 12. – С. 23–33.
3. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.
4. Квиринг Г.Ю. Прикладное телевидение: Учеб. пособие. – М.: МИС, 1989. – 90 с.
5. Многозональные аэрокосмические съемки Земли. – М.: Наука, 1981. – 304 с.
6. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для вузов. – М.: Советское радио, 1980. – 392 с.
7. Якушенков Ю.Г. Оптические системы фотоэлектрических устройств. – М.: Машиностроение, 1966. – 160 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. http://www.rusnauka.com/NPM_2006/Tecnic/2_shutilov.doc.htm
2. <http://www.5ballov.ru/referats/preview/70634>



Глава 3. СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

3.3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

К основным системным параметрам и характеристикам относятся такие, по которым оценивается пригодность той или иной структуры построения СТЗ для решения поставленной перед ней задачей. Однако среди этого множества параметров и характеристик, по которым осуществляется их сравнительный анализ, можно выделить наиболее характерные, т.е. определяющие. К ним относятся:

- разрешающая способность системы;
- частотно-контрастная характеристика;
- энергетическая (световая) характеристика;
- пороговая чувствительность;
- динамический диапазон;
- сквозная характеристика спектральной чувствительности;
- спектральный диапазон чувствительности системы.

Разрешающая способность системы оценивается максимальным числом пар чёрно-белых линий на один миллиметр, воспроизводимых на изображении. Поэтому оценка качества системы технического зрения состоит в определении её способности разрешать на изображении штриховые миры с различными пространственными частотами при одинаковой освещённости входного зрачка системы. При оценке системы технического зрения по разрешающей способности следует помнить, что она зависит от многих причин, таких как: разрешающая способность объектива, разрешающая способность приёмника изображения, апертурных искажений, полоса частот усиления информационного сигнала до преобразования его в цифровую форму и др.

Наиболее информационной характеристикой, на основе которой можно сопоставлять возможности СТЗ с различными типами приёмников изображения и оценивать влияние различных звеньев передачи изображения, является частотно-контрастная характеристика (ЧКХ).

Частотно-контрастную характеристику системы можно определить двумя способами.

В первом – она определяется нахождением преобразования [Фурье](#) функции $R(x)$, характеризующей пространственное распределение чувствительности приёмника изображения:

$$\text{ЧКХ} = \frac{|R(f_n)|}{|R(0)|}, \quad \text{где} \quad R(f_n) = \int_{-\infty}^{\infty} R(x) e^{j2\pi f_n x} dx. \quad (3.1)$$

Во втором – ЧКХ определяется как реакция системы на входной сигнал с определённой пространственной частотой и синусоидальным распределением освещённости, нормализованной к реакции на сигнал с нулевой пространственной частотой.

Энергетическая (световая) характеристика СТЗ определяется аналогично энергетической характеристике приёмника изображения, описанной в [разделе 2.1.1](#), но только для всей системы, т. е. с учётом потерь в оптическом звене. Из энергетической характеристики определяются два важных параметра системы, это пороговая чувствительность и динамический диапазон работы системы по освещённости входного зрачка.

Сквозная характеристика спектральной чувствительности представляет собой характеристику, учитывающую все потери во всех элементах СТЗ по спектру. По этой характеристике определяется спектральный диапазон чувствительности в целом для всей системы.

Для более полной оценки СТЗ для решения поставленной задачи следует провести энергетический расчёт.

3.3.1. Энергетический расчёт оптической системы

Как отмечалось выше, важнейшие параметры СТЗ можно определить на основе анализа энергетических соотношений между величинами плотности мощности излучения, поступающего от объекта наблюдения на входной зрачок системы, и порогом чувствительности самой системы, т.е. минимальной величиной информационного сигнала достаточной для её регистрации. Этот порог зависит как от конструктивных параметров СТЗ, так и от внешних факторов, например от внешнего фонового, вредоносного излучения. Установив это соотношение, можно определить важнейшие параметры всего прибора в целом. Очень часто энергетический (светотехнический) расчёт оптической системы является первым этапом проектирования всей системы технического зрения.

Энергетические соотношения при расчёте оптической системы СТЗ во многом определяются свойствами:

- источника излучения, облучающего объект исследования;
- спектральными характеристиками отражения самого объекта;
- средой распространения энергии излучения от объекта до входного зрачка СТЗ;
- спектральными характеристиками пропускания оптической системой;
- параметрами и характеристиками приёмника изображения.

В начале проектирования СТЗ разработчику неизвестны параметры отдельных звеньев оптической и электронной части системы, поэтому предварительный энергетический расчёт имеет своей целью установить лишь значение величины потока излучения или облучённости входного зрачка системы. Эта величина является одним из важнейших факторов, определяющим параметры, как при выборе оптической системы, так и приёмника оптического изображения.

Для расчёта величины освещённости на входном зрачке оптической системы, а также значения величины потока, приходящего в плоскость чувствительного слоя приёмника изображения, целесообразно рассмотреть три случая пространственного распределения энергии излучателя:

1. [Точечный излучатель](#).

2. Площадной излучатель – излучатель, имеющий конечные размеры меньше поля зрения оптической системы.
3. Протяжённый излучатель – размеры такого излучателя перекрывают размеры всего поля зрения системы.

Первый случай. В нем излучатель является точечным и его основной фотометрической величиной является энергетическая сила излучения I_e .

Для малых значений телесных углов расчёт потока излучения ΔP_e или энергетической освещённости E_e на входном зрачке системы площадью $S_{вх}$ можно осуществить по формулам:

$$\Delta P_e = \tau_c I_e \Delta \omega_1 = \tau_c I_e \frac{S_{вх}}{l^2}, \quad (3.2)$$

$$E_e = \frac{\Delta P}{S_{вх}} = \tau_c \frac{I_e}{l^2}, \quad (3.3)$$

где τ_c – коэффициент пропускания среды распространения излучения; l – расстояние от источника излучения до входного зрачка системы.

Величина потока $\Delta P'_e$ на выходе оптической системы с учётом коэффициента пропускания оптической системы соответственно равна

$$\Delta P'_e = \tau_c \tau_o I_e \frac{S_{вх}}{l^2}. \quad (3.4)$$

Если излучатель является селективным, т.е. его спектральная характеристика энергетической светимости отличается от спектрального распределения излучения абсолютно чёрного тела, для спектрального диапазона $\lambda_{\min} \dots \lambda_{\max}$, зная спектральное распределение коэффициента пропускания среды $\tau_c = \tau_c(\lambda)$, общий вид которого представлен на [рис. 3.4](#), и спектральное распределение энергетической силы излучения $I_e = I_e(\lambda)$, можно легко определить значения ΔP_e и E_e для рабочего диапазона длин волн $\lambda_{\min} \dots \lambda_{\max}$. При этом следует отметить, что всё это справедливо для малых значений телесного угла $\Delta \omega \approx S_{вх}/l^2$, в пределах которого сила излучения источника постоянна.

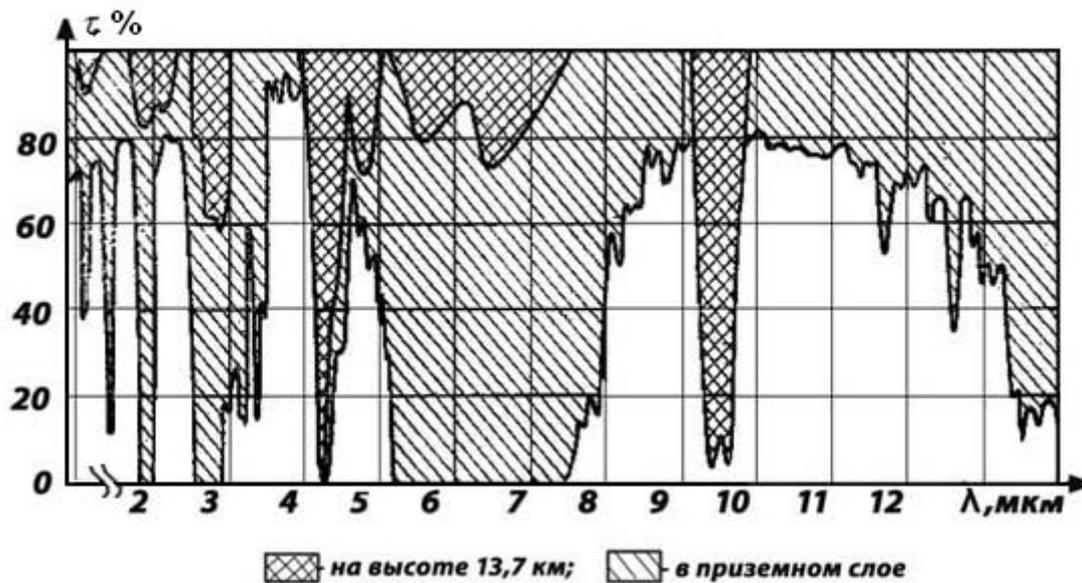


Рис. 3.4. Поглощение и пропускание излучения в атмосфере Земли [6 с. 64]

В том случае, когда I_e является функцией направления внутри телесного угла $\Delta\omega$, надо учитывать закон распределения силы излучения в пространстве. Так, для источников излучения, обладающих осевой симметрией, можно воспользоваться известным методом угловых коэффициентов [7, с. 29, 30]. **Второй случай.** Источник излучения имеет конечную площадь излучения меньшую поля зрения системы технического зрения, т.е. занимает только его часть. Фотометрической характеристикой такого источника является энергетическая яркость L_e .

В этом случае можно воспользоваться известной формулой для величины потока, приходящего на входной зрачок от элемента с видимой площадью Δs , расположенного на оси системы [6, с. 82]

$$\Delta P_e = \tau_c \int_{\psi} \int_{\alpha} L_{e\alpha} \sin \alpha \Delta s d\psi d\alpha, \quad (3.5)$$

где $L_{e\alpha}$ – энергетическая яркость элемента изображения площадью Δs в направлении α (рис. 3.5).

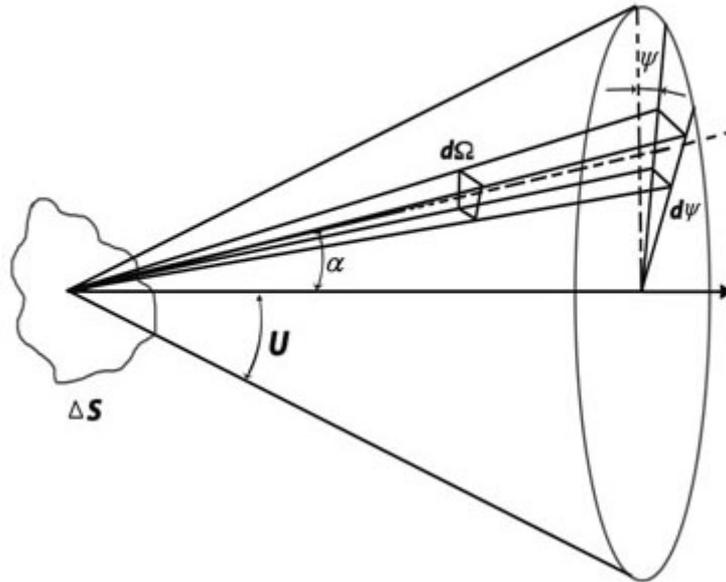


Рис. 3.5. Облучение входного зрачка СТЗ источником излучения конечного размера

Для круглого зрачка пределы интегрирования по α равны от 0 до α_A – апертурного угла системы, а по Ψ – они равны от 0 до 2π .

В том случае, когда излучатель косинусный, т. е. в первую очередь для чёрных и серых излучателей при значениях $L_e = L_e = \text{const}$ значение ΔP_e примет вид

$$\Delta P_e = \tau_c \pi L_e \Delta s \sin^2 \alpha_A, \quad (3.6)$$

а на выходе оптической системы, т.е. на чувствительном слое ТПИ, будет определена по формуле

$$\Delta P'_e = \tau_c \tau_c \pi L_e \Delta s \sin^2 \alpha_A. \quad (3.7)$$

Если учесть, что имеет место $l \gg D_{\text{вх}}$ и $\sin^2 \alpha_A \approx D_{\text{вх}}^2 / 4l^2$, то выражение 3.6 примет следующий вид:

$$\Delta P_e = \tau_c L_e \frac{\pi D_{\text{вх}}^2 \Delta s}{4l^2} = \tau_c L_e \frac{\Delta s S_{\text{вх}}}{l^2}, \quad (3.8)$$

а значение величины энергетической освещённости входного зрачка системы может быть определено по выражению

$$E_e = \tau_c L_e \frac{\Delta s}{l^2}. \quad (3.9)$$

Для небольших величин телесного угла, в пределах которого $L_e = \text{const}$, значение энергетической освещённости можно определить по выражению

$$E_e = \tau_c L_e \Delta\omega_2. \quad (3.10)$$

Анализ рассмотренных выше двух случаев показывает, что для элементов точечного и площадного излучателей на изображение объекта наблюдения влияние величины фокусного расстояния и относительного отверстия оптической системы СТЗ на значения ΔR_e и E_e не имеет.

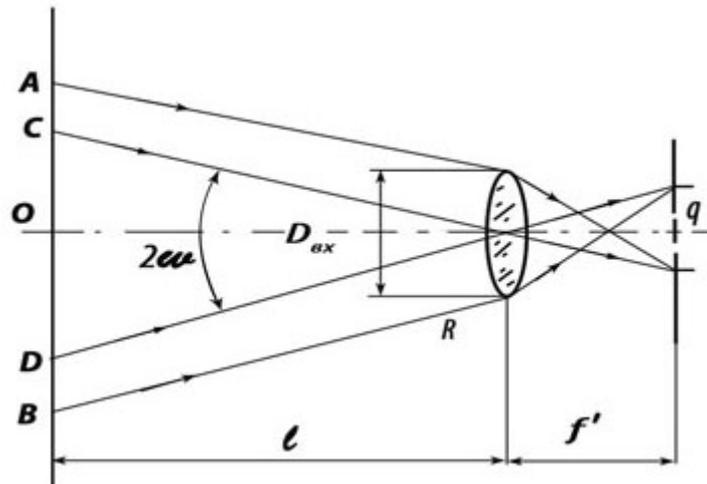


Рис. 3.6. Облучение входного зрачка СТЗ источником излучения

Третий случай. В этом случае размеры наблюдаемого объекта, т.е. излучателя, превышают размеры поля зрения СТЗ и мы имеем дело с протяжённым излучателем, при котором величина углового поля оптической системы находится в пространстве предметов 2ω (рис. 3.6 [6, с. 84]).

Основной фотометрической характеристикой в случае протяжённого излучателя является его энергетическая яркость L_e .

Пусть излучатель находится на расстоянии l от входного зрачка системы и условно изображён в виде плоскости. Диафрагма поля зрения площадью q расположена в фокальной плоскости объектива, главные плоскости которого расположены около входного зрачка.

Если в такой схеме облучения входного зрачка оптической системы СТЗ всегда имеет место большое расстояние l до излучателя и соблюдается условие, при котором

$$CO = l \operatorname{tg} \omega' AC = \frac{D_{\text{вх}}}{2 \cos \omega}, \quad (3.11)$$

то площадь Δs излучающего протяжённого источника в основном будет определяться размером CD, поскольку она является проекцией площади диафрагмы поля зрения на плоскость излучателя. В этом случае значение Δs можно определить исходя из простых геометрических соображений, т.е. $\Delta s = ql^2 / f'^2$, а следовательно, выражения (3.8) и (3.9) примут вид:

$$\Delta P_e = \tau_c L_e \frac{q S_{\text{вх}}}{f'^2}, \quad (3.12)$$

$$E_{\text{вх}} = \tau_c L_e \frac{q}{f'^2}. \quad (3.13)$$

Величина потока излучения, приходящего на приёмник изображения от протяжённого источника при круглой форме входного зрачка может быть вычислена по формуле

$$\Delta P'_e = \tau_c \tau_o L_e \frac{\pi}{4} q \left(\frac{D_{\text{вх}}}{f'} \right)^2, \quad (3.14)$$

показывающей, что в этом, третьем случае величина $\Delta P'_e$ уже зависит от относительного отверстия оптической системы СТЗ.

Полученные выше выражения дают возможность составить основное энергетическое уравнение для СТЗ, которое учитывает специфику её работы. Составление основного энергетического уравнения проводится в два этапа.

На первом этапе составляется выражение для облучённости входного зрачка $E_{\text{вх}}$ оптической системы, величина которой зависит:

- от свойств излучателя;
- среды распространения;
- дальности до наблюдаемого объекта;
- и других внешних факторов,

т. е. используются приведенные выше формулы.

На втором этапе определяется эквивалентная порогу чувствительности приёмника изображения облучённость чувствительного слоя ТПИ $E'_{\text{вх}}$, т.е. порог чувствительности приёмника приводится к входу СТЗ. Получив эти два выражения, можно подставить их в уравнение, определяющее требуемое соотношение между ними,

$$\frac{E_{\text{вх}}}{E'_{\text{вх}}} \geq \text{сиг./шум}, \quad (3.15)$$

где сиг./шум – заданное отношение сигнал/шум на входе СТЗ.

Анализ трёх случаев облучения входного зрачка СТЗ показывает, что два первых случая можно использовать для анализа изображения, поскольку точечный и площадной источник являются элементами оптического изображения, в то время как протяжённый источник освещает равномерно весь чувствительный слой приёмника изображения. Поэтому этот источник излучения следует использовать для спектрально-энергетической калибровки как приёмников изображения, так и всей системы технического зрения в целом, измеряя её основные параметры и характеристики воспроизведения изображения [6, с. 80–86].

3.3.2. Методика расчёта основных параметров системы технического зрения

На основе выражений и соотношений, полученных выше, можно провести энергетический расчёт любой СТЗ по методике, разделённой на следующие этапы:

1. Вычислить значения потока излучения $\Delta P_{\text{свх}}$ и энергетической освещённости $E_{\text{свх}}$ входного зрачка оптической системы СТЗ в рабочем диапазоне длин волн, с учётом селективности или неселективности составляющих входящих в исходные выражения.
2. Составить основное энергетическое уравнение, устанавливающее необходимое для правильной работы системы соотношение между полезным информационным сигналом, сигналами фонового излучения и порогом чувствительности приёмника изображения, т.е. соотношение, учитывающее параметры, определяющие назначение данного СТЗ и конкретные условия его эксплуатации.
3. Решить составленное основное энергетическое уравнение относительно основных параметров, входящих в него.
4. Подобрать элементы оптического звена или выбрать их из списка возможных и рассчитать оставшиеся параметры СТЗ для решения задачи, поставленной перед ней.
5. Провести окончательный (проверочный) энергетический расчёт всей системы в целом с учётом всех подобранных элементов оптико-электронного звена, а также параметров и характеристик, определяющих условия эксплуатации СТЗ.

Порядок проведения первых этапов расчёта может быть различным и при данной методике не сказывается на конечных результатах. Очень часто на первой стадии энергетического расчёта – во время разработки технического предложения или эскизного проекта ведётся упрощённый энергетический расчёт, когда основные величины, входящие в основное уравнение рассчитывают без учёта пространственно-частотных характеристик отдельных звеньев, т.е. на основе использования их условно обобщённых или интегральных характеристик. Это связано, прежде всего, с априорной неопределённостью большинства звеньев обобщённой схемы оптико-электронного звена СТЗ.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Какова структура построения системы технического зрения и чем она отличается от телевизионных систем?
2. Измерительные телевизионные системы, прикладные телевизионные системы, телевизионные автоматы и системы технического зрения: в чём отличие в их структурах построения?
3. Назовите отличия в построении аналогового, дискретного и цифрового видеосигнала.
4. Каково отличие в понятиях “компьютерная графика” и “обработка изображений”?
5. Чем отличаются системы технического зрения первого поколения от систем технического зрения второго поколения?
6. Объясните разницу в способах освещения объектов наблюдения и поясните, в каких случаях какой из видов освещения наиболее целесообразно использовать.
7. Что следует подразумевать под многозональными, спектрзональными и одноканальными системами технического зрения?

8. Что такое разрешающая способность оптической системы и разрешающая способность системы технического зрения?
9. Какие параметры описывает частотно-контрастная характеристика системы технического зрения и как она определяется?
10. Сквозная характеристика спектральной чувствительности: что это такое и какие параметры и характеристики она определяет в системах технического зрения?
11. Для какой цели проводится энергетический расчёт для трёх типов излучателей – точечного, площадного и протяжённого?
12. В чём заключается методика расчёта основных параметров системы технического зрения?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 640 с
2. Жаботинский Ю.Д., Сердцев А.А. Системы технического зрения для промышленных роботов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – № 12. – С. 23–33.
3. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.
4. Квириг Г.Ю. Прикладное телевидение: Учеб. пособие. – М.: МИС, 1989. – 90 с.
5. Многозональные аэрокосмические съемки Земли. – М.: Наука, 1981. – 304 с.
6. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для вузов. – М.: Советское радио, 1980. – 392 с.
7. Якушенков Ю.Г. Оптические системы фотоэлектрических устройств. – М.: Машиностроение, 1966. – 160 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. <http://psylib.org.ua/books/vekk101/txt07.htm>
2. http://ezhe.ru/data/vgik/zhv-cvet_kontrast_1.html

Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

- **4.1. ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**
 - 4.1.1. Особенности зрительного восприятия излучения
 - 4.1.2. Формирование видеосигнала
 - 4.1.3. Спектр видеосигнала
 - 4.1.4. Апертурные искажения при формировании изображений объектов наблюдения
- **4.2. МЕТОДЫ СЖАТИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**
 - 4.2.1. Алгоритм сжатия статических изображений
 - 4.2.2. Алгоритм сжатия динамических изображений
 -  Литературные источники
 -  Ссылки на Интернет-ресурсы

4.1. ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Как отмечалось выше, под формированием изображения понимается процесс получения информационного сигнала в аналоговом или в цифровом виде, в памяти ЭВМ и т.д. для дальнейшей его обработки.

Процесс преобразования информации в системах технического зрения включает в себя построение двумерного оптического изображения трёхмерных предметов, расположенных в исследуемом пространстве объектов наблюдения. При этом качество оптического изображения определяется рядом факторов и не имеет единой, обобщенной количественной оценки. Рассмотрим наиболее существенные для преобразования характеристики оптического изображения:

- энергетическая освещённость $E_{свк}$ в плоскости оптического изображения на объективе;
- относительное отверстие объектива, определяемое отношением диаметра его входного зрачка к фокусному расстоянию объектива;
- линейный масштаб изображения;
- линейные размеры объекта и изображения соответственно;
- чёткость оптического изображения характеризуется качеством воспроизведения мелких деталей и определяется разрешающей способностью объектива;
- абберации – искажения изображения, возникающие в оптической системе и приводящие к тому, что точка воспроизводится в виде некоторого кружка и две близко расположенные светлые точки на объекте наблюдения сливаются в одну на изображении. Минимальное расстояние между двумя светлыми точками, на котором они ещё воспроизводятся раздельно, называется разрешаемым расстоянием, а величина, обратная ему, – разрешающей способностью объектива, оцениваемой максимальным числом пар чёрно-белых линий на 1 мм, воспроизводимых на изображении;
- глубина резкости – глубина воспроизводимого пространства, для которого максимально допустимый диаметр кружка размытия, равный линейному размеру одного элемента разложения изображения;

- высота изображения на светочувствительном слое (мишени) приёмника изображения и число строк разложения этого изображения. Для каждого типа приёмника изображения высота изображения задана и остается постоянной, как и число строк. В этих условиях глубина резкости и относительное отверстие объектива однозначно связаны и определяются только квадратом линейного масштаба изображения на светочувствительной поверхности (мишени) приёмника изображения;
- геометрические (координатные) искажения, создаваемые объективом, обычно пренебрежимо малы, но могут оказаться заметными при некоторых нарушениях нормальных условий оптической проекции объекта наблюдения;
- искажения перспективы наблюдаются тогда, когда одно и то же ограниченное пространство рассматривается под разными углами зрения. Так, по мере удаления предметов от объектива уменьшается масштаб их изображения, удаленное пространство как бы сжимается. В этом пространстве две параллельные линии, уходящие от наблюдателя, сходятся в одну точку. Такая точка называется точкой схода, а сама трансформация пространства на изображении называется перспективой. Причем точка схода тем ближе, чем больше угол зрения системы.

В системах технического зрения все перечисленные выше искажения должны быть жестко регламентированы, поскольку необходима документальная их точность, в частности в измерительных системах. Количественное нормирование параметров оптических изображений, к которым относится и изображение на экране синтезирующего устройства, может быть сделано лишь с учётом параметров и характеристик зрения. Вместе с тем следует различать обработку изображений, предназначенных для зрительного восприятия, и обработку в устройствах автоматического анализа. В последнем случае на первый план выходят задачи выделения признаков, формирования данных о количественных характеристиках и др.

Обработку изображения, проводимую с целью улучшения его зрительного восприятия, иллюстрирует [рис. 4.1](#) [1, с. 49].

Главная задача обработки в этом случае состоит в повышении его качества, оцениваемого визуально.



Рис 4.1. Классификация технических средств обработки изображения

Обработка изображения, как это рекомендовано в [1, с. 50], часто включает следующие этапы предварительной подготовки, которая производится:

- в координатной или частотной области;
- с учётом или без учёта содержания изображения;
- с использованием линейных или нелинейных алгоритмов обработки;
- с использованием:
 - поэлементных операторов – действующих в пределах элемента изображения;
 - локальных операторов – действующих в пределах отдельных окон в плоскости изображения;
 - глобальных операторов – действующих в пределах всего изображения.

Обработка изображения завершается выделением тех признаков, которые несут наибольшую информационную нагрузку.

В процессе обработки изображения, по существу, проводится его семантический анализ. Весьма эффективны операции, осуществляемые с использованием памяти, при этом возможны:

- коррекция геометрических искажений;
- преобразование системы координат – ортогональной, полярной и др.;
- масштабирование изображения;
- видеоинтерполяция и др.

Предварительная обработка изображения как этап процедуры улучшения изображения является чрезвычайно ёмкой сферой, включающей большой набор элементарных алгоритмов. Обзор этих алгоритмов содержится ниже. Наиболее распространенными из них являются:

- нелинейные преобразования сигналов изображения с целью согласования амплитудных характеристик отдельных устройств, входящих в состав **СТЗ**;
- коррекция сигнала по полю изображения для выравнивания неоднородностей, вызванных дефектами освещения и чувствительности преобразования изображения;
- операция свертки в пространственной области с локальными операторами окон, операторами сглаживания, усреднения и др.;
- фильтрация в пространственно-частотной области;
- интерполяция в поле изображения;
- временное суммирование изображений;
- сегментация изображения и др.

Обработка изображений, предназначенных для автоматизированного анализа в системах технического зрения, отражает закономерности взаимодействия потока излучения от объекта с отдельными участками наблюдаемого оптического изображения с целью извлечения количественной информации об исследуемом объекте. В этом случае объём информации, подлежащей анализу, настолько велик, что визуальные методы изучения регистрируемой сцены не могут удовлетворить не только исследователей, но и самые минимальные потребности для решения практических задач. Поэтому для решения таких задач используют спектрозональные (многозональные) системы построения с пространственным совмещением регистрируемых изображений.

Преобразование изображений, предназначенных для автоматизированного анализа, как правило, включает процедуры записи их в память, обработку с задержкой во времени и определение

значимых их параметров, т.е. осуществление признакового описания. В процессе автоматической обработки изображения исследуемого объекта формируется список параметров, часто в матричной форме или в виде стилизованного изображения – полуавтоматический анализ. Список значимых параметров формируется в зависимости от конкретных прикладных задач, поэтому ниже будут приведены лишь некоторые примеры.

Анализ многочисленных источников информации позволяет выделить наиболее часто используемые процедуры обработки:

- операцию свертки в пространственной области;
- фильтрацию в пространственно-частотной области;
- шейдинг-коррекцию (выравнивание яркости по полю изображения);
- нелинейное амплитудное преобразование сигнала изображения;
- операцию сопоставления с порогом;
- бинаризацию изображения;
- ранговую фильтрацию;
- локальные процедуры усреднения;
- градиентные преобразования;
- интерполяцию изображений в пространственной области;
- инверсию изображения;
- анализ логических связей в изображении;
- суммирование и вычитание изображений;
- поиск экстремумов в изображении.



В отдельную группу можно выделить геометрические преобразования изображений: пространственный сдвиг, масштабные преобразования (увеличение или уменьшение размера изображения) и вращение, а к процедурам функциональных преобразований относятся: [Фурье-преобразование](#), косинусное и синусное преобразование и преобразование [Адамара](#) [1, с. 52].

4.1.1. Особенности зрительного восприятия излучения

Обработка изображения при использовании зрительного восприятия основана на том, что анализ зрительной информации о внешнем мире – форме вещей, их пространственном расположении, цвете, движении и т.д. – осуществляется с помощью зрительной системы. Следовательно, основные параметры и характеристики человеческого глаза будут определять параметры и характеристики системы технического зрения при формировании электронного аналога оптического изображения исследуемого объекта наблюдения, поскольку, создавая ту или иную систему воспроизведения изображений, необходимо обеспечить на её выходе максимально близкое приближение изображения к образу, непосредственно воспринимаемому зрением.

Для этого рассмотрим усредненные характеристики глаза для большого числа наблюдателей с нормальным зрением. Способность человека видеть мелкие детали определяется разрешающей способностью зрительной системы (остротой зрения). Различают два вида остроты зрения: в плоскости, нормальной к оптической оси глаза, и по глубине деталей. Остроту зрения по глубине деталей принято называть остротой глубинного или стереоскопического зрения.

Разрешающая способность глаза человека характеризуется наименьшим угловым расстоянием между двумя светящимися точками, при котором наблюдатель видит эти точки раздельно. Минимально разрешаемое расстояние колеблется в значительных пределах при изменении яркости наблюдаемых точек и их контраста относительно фона. При этом для стандартного наблюдателя разрешающая способность глаза определяется минимальным угловым расстоянием в одну минуту при достаточно большом контрасте и неограниченном времени наблюдения.

Поле зрения глаза человека достаточно велико и составляет $120 \dots 130^\circ$. Основная зрительная информация, поступающая в глаз, сосредоточена в пространственном угле ясного зрения. Приняв размеры поля ясного зрения в вертикальном направлении в 12° и в горизонтальном в 16° , при разрешении в одну минуту, получим число регистрируемых элементарных участков в поле ясного зрения, равным $N_{\text{я}} = 0,7 \cdot 10^6$ [2, с. 31]. Поэтому число элементов разложения изображения также должно соответствовать числу элементарных участков поля ясного зрения $N_{\text{я}}$.

Если принять конфигурацию элемента разложения изображения в виде квадрата или окружности, то число элементов разложения изображения для обеспечения одинаковой чёткости по вертикали и горизонтали определится как

$$N = kz^2, (4.1)$$

где z – число строк по вертикали, k – формат кадра.

Под понятием формат кадра – k понимается отношение ширины b кадра наблюдаемого изображения к его высоте h . Причем это отношение для стандартного наблюдателя принято равным $4/3$. Из геометрических соображений оптимальное расстояние до изображения определяется как $l_{\text{опт}} \approx 5h$. В этом случае число элементов разложения N для распознавания $N_{\text{я}}$ элементов изображения должно быть $N \geq 2N_{\text{я}}$, из-за того что между элементами изображения должны воспроизводиться и промежутки не менее одного элемента разложения. Отсюда требуемое число строк разложения изображения при данных условиях наблюдения определяется как

$$z = 2\sqrt{N_{\text{я}}/k} = 1449. (4.2)$$

Для вещательных систем телевидения в соответствии с [ГОСТ 7845-92](#) в нашей стране используется число строк разложения, равное 625, что и определяет номинальную чёткость изображения.



Рис. 4.2. Реакция глаза на импульс светового раздражения



Как известно, зрительное восприятие изображения дискретно во времени. Одиночный световой импульс длительностью t_0 может быть обнаружен только при условии, что время действия его на глаз конечно, т. е. $t_0 \geq t_{кр}$ ([рис. 4.2](#))

Причем время $t_{кр}$ зависит от освещенности E_0 сетчатки глаза, т.е. от мощности потока информационного излучения. Иными словами, установлено, что $E_0 t_{кр} = const.$ При переменном значении $E_0(t)$ суммарное воздействие светового сигнала должно достигнуть вполне определенного значения для его обнаружения, т.е.

$$\int_0^{t_{кр}} E_0(t) dt = const. (4.3)$$

Время накопления имеет граничное значение $t_{кр}$, называемое критической длительностью. Различные исследования в этой области дают расхождения в значениях $t_{кр}$, и в зависимости от яркости E_0 наблюдаемого объекта меняются в пределах от сотых долей секунды – при больших яркостях – до десятых долей секунды – при малых яркостях, что объясняется различными условиями проведения эксперимента.

После прекращения действия потока излучения, возбуждающего сетчатку ([рис. 4.2](#)), глаз как бы продолжает “видеть” источник с яркостью, спадающей во времени по экспоненциальному закону, характеризуя инерцию зрения, т.е. его инерционные свойства.

Параметр, определяющий критическую частоту мельканий $f_{кр}$, представляющую собой наименьшую частоту повторения импульсных возбуждений сетчатки, при которой наблюдатель перестает замечать изменение светового потока и воспринимает его как непрерывное излучение. Критическая частота мельканий яркости объекта в общем случае зависит от средней яркости всего поля наблюдения, так и размеров мелькающего участка. Так, для яркости изображения в 60 кд/м^2 она составляет порядка $46 \dots 48 \text{ Гц}$.



как

Кроме мелькания яркости изображения на качество его восприятия влияет и слитность перемещения отдельных мгновенных положений, т.е. фаз движущихся предметов в изображении. В том случае, если число фаз в единицу времени больше или равно некоторому критическому числу и если смещение предмета в соседних фазах незначительно, то движение воспринимается как слитное. Из экспериментальных исследований установлено, что для восприятия плавного движения объектов в большинстве случаев достаточно передавать $16 \dots 24$ отдельных фаз движения в одну секунду.

Поэтому в телевидении принято число кадров, передаваемых в одну секунду, равным 25, т.е. 25 Гц. При этом частота мельканий яркости экрана равна 50 Гц. Эти параметры выбраны из соображения равенства частоте промышленной сети с целью уменьшения заметности характерных помех от электросети.

При наблюдении объектов или их изображений существенную роль играет диапазон изменения яркости изображения. Этот диапазон принято характеризовать контрастом $K = L_{\max}/L_{\min}$. Особенностью человеческого глаза является то, что он не способен обнаруживать сколь угодно малые приращения яркости. Поэтому контрастная, различительная способность глаза так же дискретна, как и его разрешающая способность. Она ограничивается квантовыми флуктуациями света и собственными шумами зрительной системы.

Минимальное, пороговое значение яркости светового пятна, обнаруживаемое глазом на чёрном фоне, называют абсолютным порогом световой чувствительности. На практике чаще приходится различать отдельные детали на некотором фоне с яркостью L_{ϕ} . При этом глаз реагирует на относительное приращение яркости $\Delta L/L_{\phi}$, которое при $\Delta L = \Delta L_{\min}$ называют дифференциальным порогом, или пороговым контрастом, зависящем от яркости фона L_{ϕ} и угловых размеров деталей и фона. В рабочем диапазоне изменения яркости фона (яркости адаптации) L_{ϕ} в первом приближении можно считать, что $\Delta L/L_{\phi} = \sigma = 0,02 \dots 0,05 = \text{const}$ (закон [Вебера – Фехнера](#)).

При заданном контрасте K наблюдатель может воспринять вполне определённое количество ступеней изменения яркости – полутонов, т.е. градаций яркости. Первая различимая ступень яркости $L_1 = L_{\min} + \sigma L_{\min} = (1 + \sigma)L_{\min}$. Следующая ступень яркости L_2 будет также определяться приращением яркости первой ступени на величину σL_1 , т.е. $L_2 = L_1 + \sigma L_1 = (1 + \sigma)^2 L_{\min}$ и т.д. Наконец, последняя ступень яркости будет равна $L_{\max} = (1 + \sigma)^m L_{\min}$, отсюда число ступеней m или число градаций наблюдаемой яркости A определится как

$$A = \left(\ln \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \right) / \ln (1 + \sigma). \quad (4.4)$$

В природе, окружающей человека, яркость может изменяться в 10^5 раз. Зрительная система неспособна одновременно воспринять весь этот диапазон изменения яркости и сужает диапазон освещенностей на сетчатке благодаря адаптации – приспособлению к различным яркостям. Адаптация происходит за счёт снижения освещённости сетчатки путем непроизвольного изменения диаметра зрачка (быстрая адаптация) и выработки глазного пурпура – нейтрального поглощающего фильтра на поверхности сетчатки (медленная – инерционная адаптация).

Полагая, что максимальный контраст, ограничиваемый глазом, $L_{\max}/L_{\min} = 100$, а $\sigma = 0,05$, получаем, что максимальное число градаций, которое глаз будет различать при данных условиях примерно равно 92 [[2, с. 35, 36](#)].

4.1.2. Формирование видеосигнала

Получение информационного сигнала о наблюдаемом изображении объекта в электронном виде осуществляется путём перемещения развертывающего элемента в процессе анализа изображения.

Этот процесс осуществляется с помощью [развёртки изображения](#) на приёмнике изображения, в котором оптическое изображение на вакуумном приёмнике изображения или твёрдотельной матрице преобразуется в электрический информационный сигнал, мгновенные значения которого пропорциональны яркости передаваемых участков изображения. При этом полученный информационный сигнал в дальнейшем будем называть видеосигналом, т.е. сигналом, несущим информацию об изображении. Этот видеосигнал следует формировать с учётом особенностей

зрительной системы человека, поскольку даже при автоматической обработке изображения возникает необходимость визуального контроля.

Величина сформированного видеосигнала, получаемого на выходе приёмника изображения, является функцией времени и пропорциональна яркости передаваемых элементов изображения. На [рис. 4.3](#) приведен простейший пример преобразования яркости передаваемого изображения L в видеосигнал U_c для наблюдаемых объектов в виде вертикальных чёрно-белых полос, в левой части строки, и для градационного клина – справа.

Развёртка изображения может осуществляться по различным законам, и в различных областях техники используются отличные друг от друга виды развёрток. Однако во всех случаях закон развёртки на передающей и приёмной сторонах должен быть одинаков, иначе появятся координатные искажения воспроизводимого изображения. Кроме того, развёртки должны быть синхронными и синфазными.

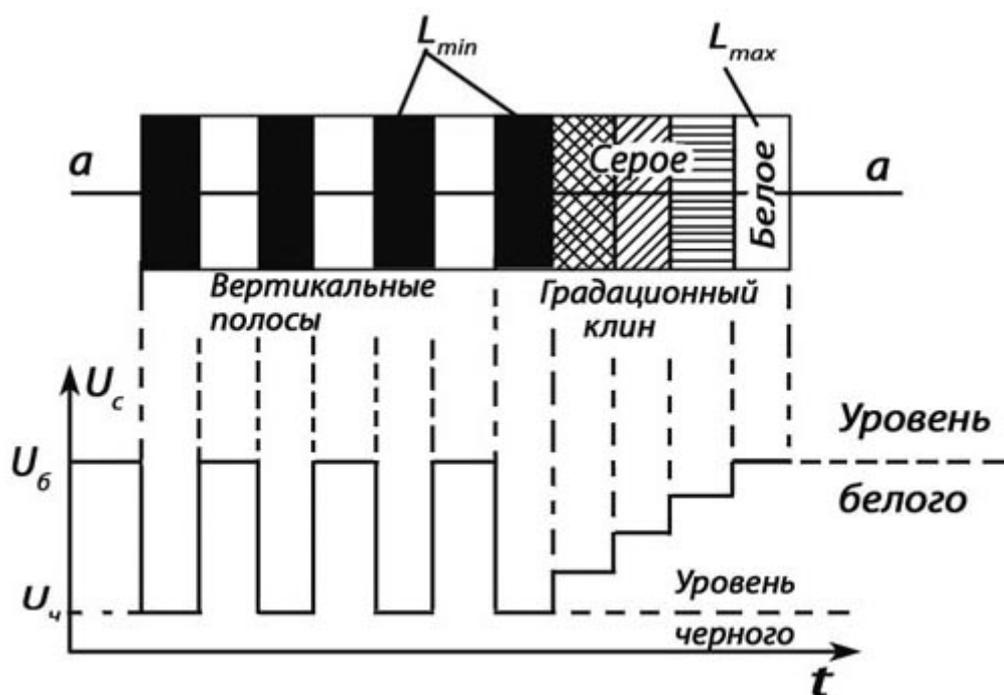


Рис. 4.3. Процесс формирования видеосигнала [[2, с. 46](#)]

В телевидении в качестве закона развёртки используется наиболее простой вид – линейно-строчный, т.е. когда разложение изображения осуществляется с постоянной скоростью слева направо, прочерчивая строку изображения (прямой ход строчной развёртки), и одновременно сверху вниз (прямой ход кадровой развёртки) – [рис. 4.4](#). В этом случае изображение, образованное на чувствительном слое приёмника изображения, называется растром.

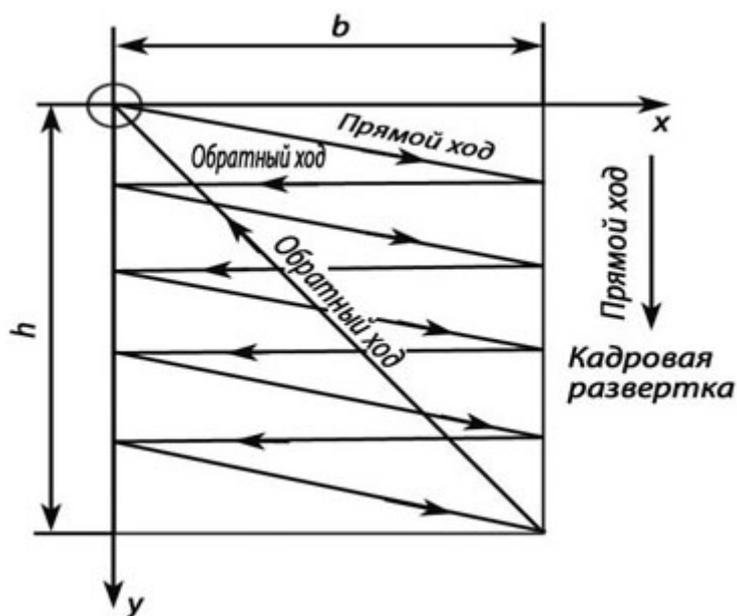
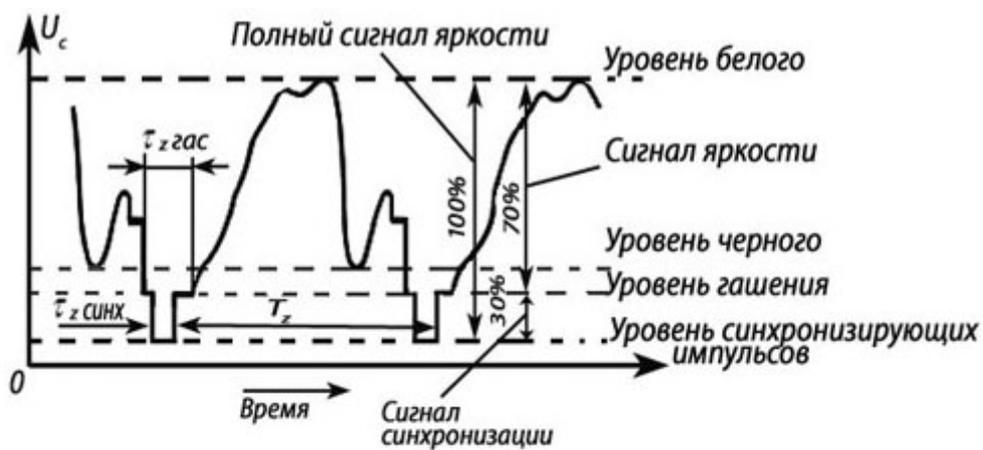


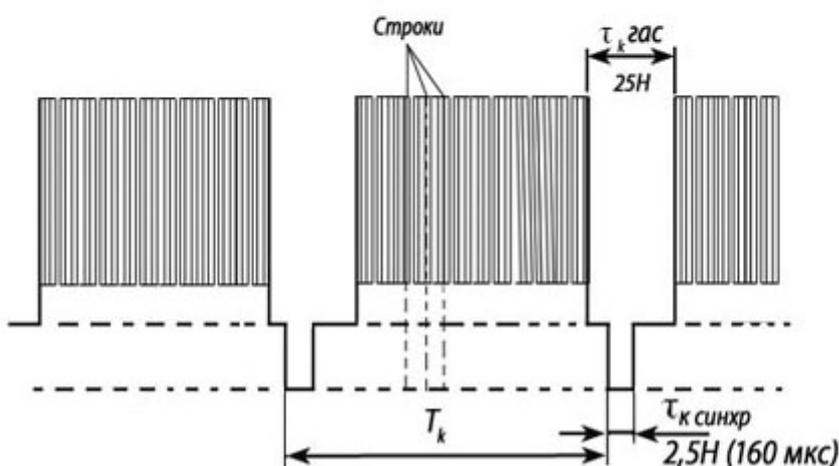
Рис. 4.4. Линейно-строчная развертка изображения [2, с. 42]

Быстрый возврат развертывающего элемента справа налево и снизу вверх происходит во время обратных ходов разверток; сумма времени прямого и времени обратного ходов составляет период развертки, причём период строчной развертки намного меньше периода кадровой.

Видеосигнал кроме информационной составляющей несёт и служебную информацию, в виде сигнала синхронизации приёмника (ССП), содержащего импульсы строчной и кадровой частот видеосигнала. Оба эти совмещённых сигнала разделяются по уровням (рис. 4.5) и называются полным сигналом яркости или полным видеосигналом.



а)



б)

Рис 4.5. Форма полного видеосигнала [2, с. 46]:
а – за период строки; б – за период кадра

В телевизионной технике принято, что размах полного видеосигнала составляет 100 %, причём полезная, информационная часть видеосигнала – от уровня гасящих импульсов до уровня белого – занимает, только 70 % его амплитудного значения, а сигнал синхронизации приёмника – 30 %.

Как видно из [рис. 4.5](#), видеосигнал точно повторяет значения яркости каждого элемента изображения на сканируемой строке. Развёртка изображения, при которой все строки раstra развёртываются за один период вертикальной развёртки в непрерывной своей последовательности, называется построчной или прогрессивной. Этот вид развёртки в основном используется в вычислительной технике, телевидении высокой чёткости, а также в ряде других областей науки и техники.

Следует отметить, что длительность импульсов сигнала яркости в сформированном изображении будет обратно пропорциональна скорости передачи каждого элемента изображения, т.е. скорости развёртки изображения, что приводит к искажениям в видеосигнале.

4.1.3. Спектр видеосигнала

Скорость развёртки изображения и состав самого изображения, т.е. его структура, определяют спектр видеосигнала. Так, исходя из состава видеосигнала, нетрудно определить наименьшую составляющую спектра f_{\min} , равную частоте кадров f_k при построочной развертке простейшего изображения, показанного на [рис. 4.6](#) [2, с. 49]. Эта нижняя граница спектра сохраняется при передаче любого по сложности изображения, что объясняется условиями покадровой его передачи.

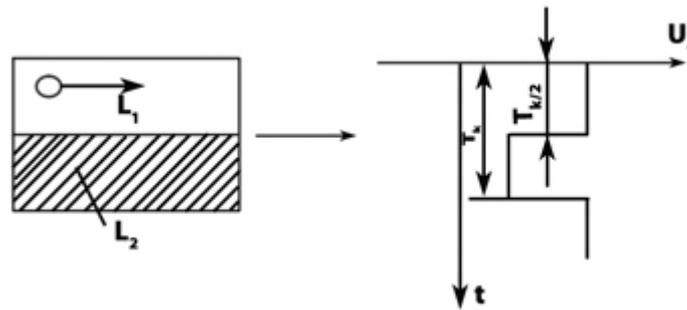


Рис. 4.6. Простейшее изображение:
 L_1 – белое поле; L_2 – чёрное поле

Для определения верхней границы спектра видеосигнала следует учитывать тонкую его структуру, т.е. возможность воспроизведения контуров и мелких деталей изображения.

Структура видеосигнала зависит как от скорости развёртки, так и от размеров, формы апертуры, которая определяется распределением плотности электронов по сечению развёртывающего луча в плоскости развёртки изображения. С достаточной точностью форму апертуры можно принять за круг с постоянной плотностью распределения электронов [2, с. 49].

Примем время установления $\tau_{уст}$, т.е. время перехода от уровня чёрного до уровня белого при подаче светового импульса, равное времени развёртки одного элемента изображения $t_{эл}$, и получим верхнюю граничную частоту спектра видеосигнала, которую можно определить по выражению

$$f_{\max} = 1/2\tau_{уст} = 1/2t_{эл}. \quad (4.5)$$

В том случае, если мы имеем формат кадра k с числом строк разложения z и номинальной частотой кадров f_k , число элементов в кадре N_k , вычисленное по выражению (4.1), будет соответствовать числу элементов, передаваемых в одну секунду, и будет определяться выражением $N_0 = N_k f_k = kz^2 f_k$. Тогда время передачи одного элемента может быть определено следующим образом:

$$t_{эл} = \frac{1}{N_0} = \frac{1}{kz^2 f_k}, \quad (4.6)$$

а следовательно, максимальная граничная частота спектра видеосигнала будет определяться из выражения

$$f_{\text{max}} = \frac{1}{2t_{\text{эл}}} = \frac{kz^2 f_k}{2}. \quad (4.7)$$

Как было показано ранее, разрешение мелких деталей по вертикали из-за дискретности раstra несколько снижается, поэтому при условии равенства горизонтальной и вертикальной чёткости изображения можно несколько сократить полосу частот в $p = 0,75 \dots 0,85$ раз, где p – коэффициент Кэлла (Кэлл-фактор), определяемый методом субъективных испытаний как отношение чисел разрешаемых чёрных и белых горизонтальных линий и строк. Тогда значение максимальной частоты для идеализированной развёртки может быть уточнено так:

$$f_{\text{max}} = p \frac{kz^2 f_k}{2}. \quad (4.8)$$

В действительности изображение развёртывается в течение не всего периода строки T_z , а только во время прямого хода строчной развёртки $(1 - \alpha)$, где α относительная длительность строчного гасящего импульса. Время, определяемое произведением значений α и T_z , затрачивается на возврат считывающего луча к началу следующей строки. Проводя аналогичные рассуждения относительно кадровой развёртки и принимая за величину β – величину относительной длительности кадрового гасящего импульса, можно получить время, затрачиваемое на возврат луча к началу следующего кадра.

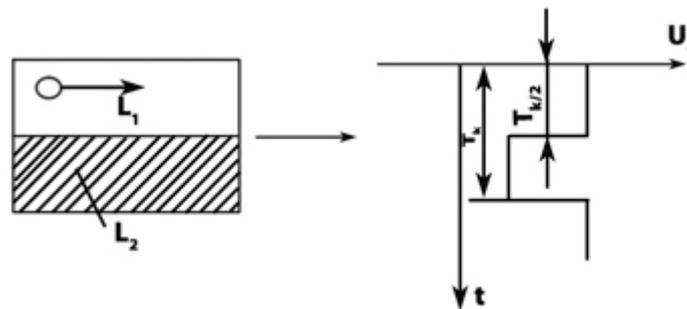


Рис. 4.7. Кадр изображения

Телевизионным стандартом задаются число строк z и частота кадров f_k , которые будем называть номинальными. В действительности за время кадра строк, несущих информацию об изображении, т.е. активных строк, будет $z_a = (1 - \beta)z$, а βz строк будет потеряно за время обратного хода кадровой развёртки (рис. 4.7) [2, с. 49]. Таким образом, реальное число строк, определяющее чёткость по вертикали, получается ниже номинального. Для отечественного стандарта номинальное число строк 625, а активных из них будет 575 строк, в том числе 50 строк приходится на обратный ход по кадру.

Заметим, что изменение соотношения длительностей прямого и обратного хода кадровой развёртки сказывается только на реальной чёткости по вертикали и не влияет на скорость

развёртки, а следовательно, и на воспроизведение мелкой структуры изображения, т.е. не сказывается на ширине спектра сигнала изображения [2, с. 50].

При учёте значений α и β для реальной развёртки, а также принимая во внимание требование к одинаковой чёткости по горизонтали и вертикали, максимальная граничная частота спектра видеосигнала будет определяться выражением

$$f_{\max} = p \frac{kz^2 f_k (1 - \beta)}{2(1 - \alpha)}. \quad (4.9)$$

Как видно из выражения 4.9, при прогрессивной развёртке значение f_{\max} достаточно высоко и будет вызывать определённые трудности при передаче видеосигнала по каналу связи. Поэтому для уменьшения полосы передаваемых частот в телевидении используется чересстрочная развёртка изображения. Следует также отметить, что f_{\max} в основном определяет горизонтальную чёткость изображения, поскольку вертикальная чёткость зависит от выбора стандарта разложения, т.е. от выбора числа строк в растре.

4.1.4. Апертурные искажения при формировании изображений объектов наблюдения

Как говорилось выше, скорость считывания информации с чувствительного слоя приёмника изображении, а также апертура считывающего луча влияют на разрешающую способность систем технического зрения. Диаметр апертуры электронного луча d , даже хорошо сфокусированного, математической точкой считать нельзя. Более того, он даже может превышать размеры некоторых мелких деталей изображения. Это явление приводит к *апертурным искажениям* – т.е. размытию резких границ, контуров на изображении, уменьшению резкости и размаха сигнала от мелких деталей, что приводит к ухудшению чёткости изображения. Последнее вызывает уменьшение контраста на мелких деталях. Иными словами, конечные размеры апертуры считывающего луча ограничивают разрешающую способность системы технического зрения в целом, т.е. её чёткость и резкость при формировании информационного сигнала наблюдаемого изображения.

Характер апертурных искажений хорошо иллюстрирует [рис. 4.8](#) [2, с. 47]. Информационный сигнал в каждый момент времени пропорционален средней яркости в пределах апертуры диаметром d , относя значение информационного сигнала к положению ее центра.

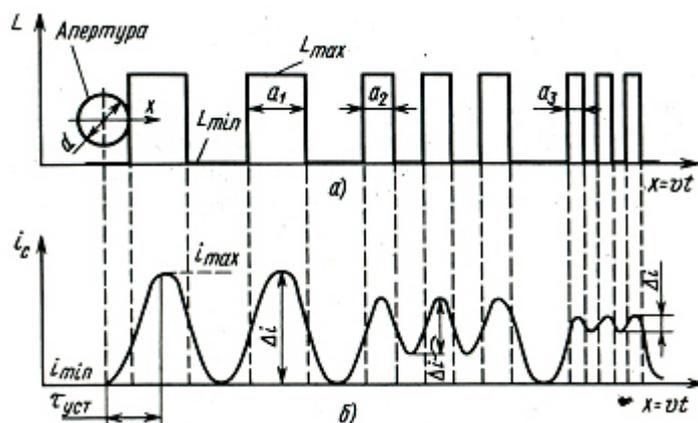


Рис. 4.8. Апертурные искажения видеосигнала:
 а – объект с переменной длительностью; б – форма видеосигнала на выходе приёмника изображения

На [рис. 4.8б](#) показана временная зависимость $i_c(t)$ при прохождении границы раздела чёрно-белых полей изображения. При резком перепаде яркостей от L_{\min} до L_{\max} сигнал плавно переходит от значения i_{\min} к i_{\max} с длительностью $\tau_{уст.}$

Если размеры деталей объекта меньше размеров апертуры развёртывающего луча, то размах сигнала уменьшается в соответствии со средней яркостью для объектов a_2 и a_3 . Разность значений i_{\min} и i_{\max} называется глубиной модуляции m , а зависимость глубины модуляции от размера элемента изображения – апертурной характеристикой ([рис. 4.9](#) [[2, с. 47](#)]).

Таким образом, вследствие конечного размера апертуры электронного луча видеосигнал содержит не только полезную информацию о яркости передаваемого в данный момент времени элемента изображения, но и паразитную составляющую от соседних элементов по горизонтали и вертикали изображения [[2, с. 45–48](#)].

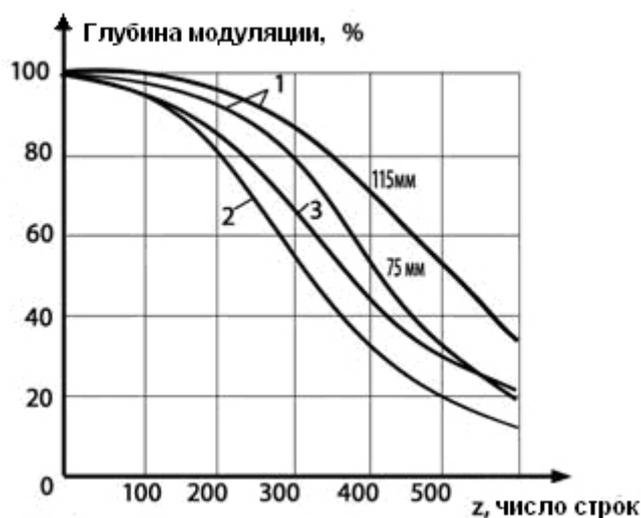


Рис. 4.9. Апертурная характеристика

4.1.5. Полутоновые искажения в изображениях объектов наблюдения

Характерной особенностью приёмников изображения с накоплением энергии является то, что они имеют заведомо нелинейную энергетическую характеристику, вследствие чего появляются искажения в передаче градаций яркости наблюдаемого объекта. Эти искажения в видеосигнале получили названия *градационные искажения*. В результате число полутонов (число пороговых градаций яркости) в изображении уменьшается по сравнению с числом полутонов при непосредственном наблюдении объектов. В связи с этим ухудшается и распознавание объектов наблюдения.

В анализирующем устройстве – приемнике изображения нелинейные преобразования описываются энергетической (световой) характеристикой. Эта характеристика представляет собой зависимость тока сигнала от освещённости на его чувствительной поверхности $i_c(E)$. В связи с тем что освещённость чувствительной поверхности пропорциональна яркости объекта L_o , а напряжение на нагрузочном сопротивлении пропорционально току сигнала, то энергетическую характеристику можно аппроксимировать зависимостью вида

$$U_c = K_1 L_o^{\gamma_{np}}, (4.10)$$

где γ_{np} – показатель степени нелинейности энергетической характеристики приёмника изображения.

Значения γ_{np} для различных типов приёмников изображения сильно отличаются. Так, например, для телевизионной передающей трубки типа видикон $\gamma_{np} = 0,6 \dots 0,7$, а для суперортика и плумбикона (глетикона) $\gamma_{np} = 0,8 \dots 1,0$.

Градационные искажения в синтезирующем устройстве – кинескопе, жидкокристаллической или плазменной панели – в основном связаны с зависимостью яркости свечения их экранов $L_{изл}$ от напряжений на модулирующих электродах, т.е. от нелинейности их модуляционных характеристик. На практике эту зависимость с достаточной степенью точности аппроксимируют функцией вида

$$L_{изл} = K_2 U_c^{\gamma_{cy}}, (4.11)$$

где γ_{cy} – показатель степени нелинейности характеристики преобразования сигнал-свет, синтезирующего устройства.

Исследования зависимости (4.11) для кинескопов показало, что степень нелинейности модуляционной характеристики зависит от многих параметров, в том числе: от амплитуды видеосигнала U_c , от вида модуляции (катодная или сеточная), а также от многих других факторов. К примеру, при сеточной и катодной модуляции, при $U_c = 0$, в обоих случаях $\gamma_{cy} = 2,5$, но с ростом U_c растёт и значение γ_{cy} , причем при сеточной модуляции γ_{cy} изменяется в пределах $2,5 \dots 3,5$, а при катодной – $2,5 \dots 2,8$.

Приведённые выше зависимости (4.10) и (4.11) показывают, что градационная характеристика всего тракта СТЗ может быть описана выражением

$$L_{изл} = K_2 (K_1 L_o^{\gamma_{np}})^{\gamma_{cy}} = K L_o^{\gamma}, (4.12)$$

где $K = K_1^{\gamma_{cy}} K_2$ – коэффициент, определяющий передачу яркости от объекта до изображения на синтезирующем устройстве; $\gamma = \gamma_{np} \gamma_{cy}$ – показатель степени нелинейности градационной характеристики.

В выражении (4.12) коэффициент K имеет достаточно сложную размерность. Поэтому для исключения его влияния удобнее всего величины L_o и $L_{изл}$ выразить через относительные

единицы. В этом случае все значения, входящие в выражение (4.12), будут изменяться в пределах от 0 до 1,0.

Восстановление градаций по динамическому диапазону изменения яркости наблюдаемого изображения можно осуществить с помощью изменения формы характеристики передачи уровней яркости в так называемых гамма-корректорках. Эта характеристика, за исключением небольшого участка вблизи уровня чёрного, может быть аппроксимирована степенной функцией. Для более точного описания степени нелинейности градационной характеристики целесообразно использовать раздельную оценку величин коэффициентов нелинейных искажений для областей белого и чёрного.

Практика показала, что линейные градационные преобразования видеосигнала нельзя считать оптимальными, поскольку линейная градационная характеристика не учитывает психофизиологических свойств человеческого зрения. Учет особенностей восприятия изображения показал, что при $\gamma > 1$ искажения цветности приводят к увеличению разницы между сигналами основных цветов, т.е. к возрастанию их насыщенности, а при $\gamma < 1$ разница между сигналами уменьшается и насыщенность падает. Поэтому при наличии синтезирующего устройства в составе СТЗ характеристика передачи уровней яркости изменяется гамма-корректором с учетом нелинейности зрительного восприятия, показанной субъективной экспертизой, так, чтобы она соответствовала параболической функции с показателем степени, равным $\gamma = 1,2 \dots 1,3$.

Такой результат экспертизы говорит о том, что повышение насыщенности цвета приводит к частичной компенсации снижения яркости и контраста, т.е. к повышению психологической точности в цветопередаче.

Изменение числа воспроизводимых градаций по полю изображения вызывает также неравномерность яркости фона, возникающую из-за специфических искажений в передающих трубках и нарушений работы схем фиксации уровня черного.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. В чём заключаются особенности зрительного восприятия излучения?
2. Какова связь между форматом кадра и числом строк?
3. Что такое критическая частота мелькания синтезирующего устройства и как она зависит от яркости наблюдаемого изображения?
4. Как осуществляется процесс формирования полного видеосигнала в системах технического зрения и что представляет собой сигнал синхронизации приёмника?
5. Чем отличается прогрессивная и чересстрочная развёртка изображения и где они используются?
6. Чем определяется максимальная частота видеосигнала и от каких параметров она зависит?
7. Апертурные искажения: что это такое, где они возникают и как их можно устранить?
8. Градационные искажения: что это такое, где они возникают и как их можно устранить?
9. В чём заключается принцип сжатия изображения и для чего это необходимо?
10. Назовите отличие алгоритма сжатия JPEG от алгоритма сжатия MPEG и область их применения.
11. Какие алгоритмы сжатия используются для статических и динамических изображений?
12. Какие алгоритмы сжатия используются в компьютерных мультимедийных приложениях, а какие в цифровом телевизионном вещании?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровое преобразование изображений: Учеб. пособие для вузов / Р.Е. Быков, Р. Фрайер, К.В. Иванов, А.А. Манцветов; Под ред. профессора Р.Е. Быкова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 228 с.
2. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. – 640 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. <http://nauka.relis.ru/05/0409/05409054.htm>
2. <http://www.icpt.su/?fl=336&doc=887>
3. <http://www.nnt.ru/content/198.htm>
4. <http://www.ferra.ru/online/video/s18200/>

Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

4.2. МЕТОДЫ СЖАТИЯ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Особенностью построения СТЗ и информационных телевизионных систем, предназначенных для передачи и обработки изображений, является большой объём данных, получаемых ими. Так, например, один кадр цветного изображения в 24 бита на элемент стандартного разрешения (согласно CCIR 601) размером 720 x 576 точек занимает объём примерно 1,2 Мбайт. Это не вызывает больших технических трудностей, если речь идёт об обработке только одного статического кадра изображения, но в то же время создает ряд проблем при обработке большого количества таких изображений, кадров. В этом случае их целесообразно хранить в сжатом виде. Наиболее значимую роль сжатие играет для систем цифровой передачи видеосигналов подвижных изображений, поскольку для передачи 25 кадров в секунду требуется уже цифровой поток порядка 30 Мбайт/с.

Следует также различать виды сжатия. Так, применение сжатия для целей архивирования или передачи изображения отличается тем, что для передачи требуется обработка сигналов в реальном масштабе времени с соответствующими алгоритмами, а для архивирования этого не требуется, поэтому оно может быть реализовано при помощи программных средств, более дешёвых и допускающих применение более сложных алгоритмов. Следует также отличать назначение алгоритмов сжатия от канального помехоустойчивого кодирования. Сжатие видеосигнала преследует цель снизить коррелированность входного потока данных изображения, поэтому при выборе алгоритма и параметров необходимо руководствоваться данными статистической модели входного изображения. С информационно-системной точки зрения, оно называется кодированием источника и формирует на выходе псевдослучайный некоррелированный сигнал. Помехоустойчивое кодирование канала решает задачу безошибочной передачи сжатых данных через канал связи, подверженный действию помех.

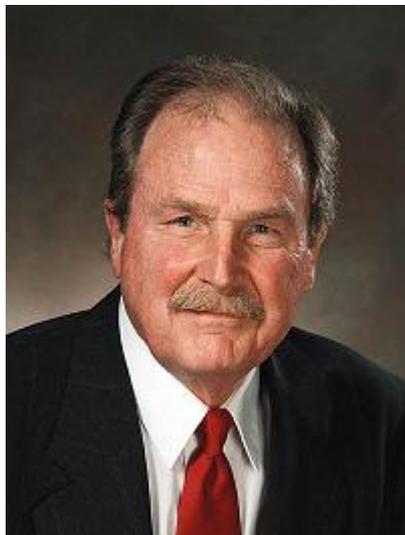
Реальный объём полезной информации, содержащейся в изображении, существенно меньше максимального, определяемого как произведение числа бит, затрачиваемых на кодирование каждого элемента изображения, обычно выбираемого равным восьми для монохромного изображения, на их количество в изображении, а также на частоту повторения кадров при передаче динамических изображений.

Как известно, любое реальное изображение обладает избыточностью благодаря сильной пространственной и временной корреляции его отдельных элементов. Это позволяет уменьшить объём передаваемых данных, почти не уменьшая количества информации, содержащейся в изображении. Исходное изображение может содержать информацию, не воспринимаемую человеческим глазом или иным приёмником изображения, поэтому её в некотором смысле можно считать шумом. При кодировании зашумлённого изображения можно попытаться, учитывая статистические свойства изображения и шума, произвести кодирование таким образом, чтобы не передавать в канал шумовую составляющую в линию связи. Естественно, такой подход вносит также риск потерять часть полезной составляющей изображения. Однако выигрыш в коэффициенте сжатия, полученный ценой возможных, но незначительных информационных потерь, очень велик.

Таким образом, можно выделить две группы алгоритмов сжатия:

- сжатие без потерь;
- сжатие с потерями.

В первом случае данные после декодирования полностью совпадают с данными до кодирования и шум также восстанавливается. Эту группу методов можно подразделить на методы сжатия любых данных и на методы сжатия, ориентированные на сжатие изображения. К первой относятся методы сжатия, использующие компьютерный формат кодирования изображений – Mac Paint, TIFF, GEM, PCX и FLI., а ко второй – кодирование методом , схема сжатия LZW и арифметическое сжатие.



Коэффициент сжатия, достигаемый при использовании этих методов, зависит от статистических свойств изображений и от правильного согласования с моделью, положенной в основу применяемого метода компрессии.

Методы, ориентированные именно на сжатие изображений, учитывают пространственную и временную корреляцию отдельных элементов изображения. Простейшими из них является межкадровая разность в изображении или использование режим сжатия без потерь – алгоритма [JPEG](#), учитывающего пространственную корреляцию. Комбинация этих методов с методами первой группы позволяет достичь увеличения степени сжатия с сохранением точности восстановления исходного изображения [[1, с. 150–151](#)].

Во втором случае – при реализации сжатия с потерями – не гарантируется полное восстановление исходного изображения после декодирования. В этом случае потеря информации почти незаметна для глаза человека, и даже зачастую восстановленное изображение воспринимается лучше оригинала. Лишь при коэффициентах сжатия более 50% возникают проблемы, связанные с восприятием наблюдаемого объекта. К данной группе методов сжатия относятся стандартизованные ISO/IEC алгоритмы – JPEG для неподвижных изображений и более сложные [MPEG-1](#) и [MPEG-2](#).

Для кодирования динамических телевизионных изображений, как промежуточный вариант, можно использовать Motion-JPEG (MJPEG), также позволяющий кодировать движущиеся изображения, хотя и с меньшим, чем MPEG, сжатием. Он возник благодаря быстрому появлению недорогих аппаратных средств реализующих алгоритм JPEG в реальном масштабе времени.

К преимуществам алгоритмов с потерями следует отнести возможность выбора в широких пределах необходимого коэффициента сжатия, что порой необходимо для адаптации к пропускной способности канала, ёмкости накопителя и т.д. Следует отметить, что с ростом коэффициента сжатия качество восстановленного изображения ухудшается.

Реализация алгоритмов с потерями сопряжена со значительными вычислительными затратами. Даже простое программное декодирование статического изображения требует в несколько раз больше времени, чем при использовании алгоритмов без потерь при равной вычислительной мощности процессора.

Среди алгоритмов с потерями нельзя не упомянуть о сравнительно новых методах сжатия, осуществляющих кодирование не отдельных элементов изображения в пространственной – кодирование [Хаффмана](#), или частотной – JPEG, областях, а их групп или векторов. Этот принцип реализуется многими алгоритмами без потерь, не ориентированными на сжатие именно изображений.

Среди алгоритмов с потерями наиболее известны векторное квантование и фрактальное кодирование, позволяющие достичь исключительно высоких степеней сжатия. В них речь идет о принципиальной замене отдельных участков изображения составляющими стандартного набора, с применением кодовой книги, и с адаптацией параметров их подстановки. Эти методы требуют для реализации очень больших вычислительных мощностей и памяти и пока могут быть реализованы только в виде компьютерных моделей [1, с. 152–153].

4.2.1. Алгоритм сжатия статических изображений

Для сжатия статических изображений в настоящее время наибольшее распространение получил стандартизованный алгоритм JPEG (Joint Photographic Experts Group), поскольку обладает исключительно высоким коэффициентом сжатия при сохранении высокого качества изображения. Считается, что JPEG может кодировать цветное изображение, по качеству практически неотличимое от подлинника, используя около одного бита на элемент.

Метод JPEG стандартизован документом ISO/IEC IS 10 918. Среди известных программных реализаций алгоритма JPEG можно также назвать файлы JFIF и JPEG-TIFF (поддерживаемые версией TIFF 6.0).

Алгоритм сжатия JPEG использует пространственную корреляцию сигналов отдельных элементов изображения, а также некоторые параметры зрительной системы человека. Несмотря на то, что JPEG имеет множество опций кодирования и сжатия, из них можно выделить следующие, поддерживаемые практически всеми его реализациями:

- преобразование цветного изображения в пространство яркостного сигнала Y и цветоразностных сигналов C_R и C_B ;
- субдискретизация – осуществление кодирования сигналов цветности не с полным разрешением, а с учетом усреднения;
- дискретное косинусное преобразование (DCT);
- квантование результатов DCT;
- сжатие модифицированным методом *Хаффмана* либо арифметическим кодированием, осуществляя статистическое сокращение избыточности.

Каждый компонент цветного изображения в алгоритме JPEG сжимается отдельно. Хотя принципиально возможно сжатие всех компонентов, однако лучшие результаты достигаются при разделении компонентов яркости и цветности. Это связано с тем, что глаз человека менее чувствителен к изменению цветности, чем к изменению яркости изображения, поэтому компоненты цветности кодируются с большими потерями, чем яркостные.

В соответствии с рекомендациями CCIR 601 компоненты Y , C_R и C_B связаны между собой основным колориметрическим уравнением

$$Y = 0,299E_R + 0,587E_G + 0,114E_B \quad (4.13)$$

и значениями сигналов основных цветов R , G и B , следующей исходной матрицей

$$\begin{aligned} C_R &= 0,5E_R - 0,4187E_G + 0,0813E_B \\ C_B &= 0,1687E_R - 0,3313E_G + 0,5E_B \end{aligned} \quad (4.14)$$

Данная операция является линейной и однозначной, поэтому из сигналов Y , C_R и C_B могут быть без потерь восстановлены компоненты R , G и B .

Использование меньшего количества выборок для сигналов C_R и C_B , вследствие малой чувствительности к изменению цветности, называется субдискретизацией. В алгоритме JPEG допускаются различные уровни субдискретизации. Наиболее часто используют одну выборку C_R и одну выборку C_B для четырех выборок Y , расположенных в виде прямоугольника 2×2 элемента. Такой формат получил название 4:2:0. При этом удается сэкономить 50% объема исходных данных практически без потерь качества воспроизводимого изображения. Кроме этого формата сжатия стандартом предусмотрено еще два уровня субдискретизации:

4:2:2 – по одной выборке каждого из сигналов цветности на каждые две выборки сигнала яркости только в горизонтальном направлении;
4:4:4 – отсутствие субдискретизации.

Дискретное косинусное преобразование осуществляет перевод отдельных блоков изображения, размер которых в алгоритме JPEG определен в 8×8 элементов, из пространственной области в область пространственных частот.

Для многокомпонентных изображений Y , C_R , C_B или RGB, дискретное косинусное преобразование применяется отдельно к блокам каждого компонента. При применении субдискретизации этих блоков одного компонента может быть больше, чем других, например, компонентов Y больше, чем C_R и C_B .

Необходимо также подчеркнуть, что теоретически дискретное косинусное преобразование является однозначной операцией, так что на основании вычисленного массива изображения в частотно-пространственной области с помощью обратного дискретного косинусного преобразования можно восстановить исходное изображение без каких-либо существенных потерь. Однако, в связи с ограниченной разрядной сеткой таблиц косинусов и перемножителей, особенно если они различны в кодере и декодере, в алгоритме JPEG могут возникнуть потери.

В алгоритме JPEG квантование является тем звеном обработки сигнала, на котором вносятся потери. Оно определяет точность хранения результатов дискретного косинусного преобразования и коэффициента сжатия. В JPEG используется простое линейное квантование. При этом каждое из значений дискретного косинусного преобразования делится на коэффициент квантования, индивидуальный для каждой пространственной частоты.

Этот коэффициент преобразования берется из заранее определенной таблицы коэффициентов квантования размером 8×8 , при условии, что она должна быть одинаковой для кодера и декодера. Эта таблица может быть взята по умолчанию или формируется кодером для конкретной статистики изображения и передается декодеру вместе со сжатыми данными. Кроме того, в случае многокомпонентного сигнала таблицы могут различаться для разных компонент. В стандарте JPEG приведены таблицы квантования сигналов яркости и цветности, которые рекомендуются к использованию по умолчанию, но использование, которых не является строго предписанным. Они были получены опытным путем на основе психофизиологических тестов [[1, с. 175–177](#)].

После квантования коэффициентов дискретного косинусного преобразования происходит сокращение избыточности их последовательности с помощью:

- модифицированного кода *Хаффмана* – дающего возможность кодирования со средней длиной кодового слова меньше одного бита на каждый коэффициент;
- или арифметического кодирования.

Для этого формируется линейная последовательность квантованных коэффициентов дискретного косинусного преобразования блока путем их зигзагообразного считывания. Такая

последовательность кодируется методом *Хаффмана*. Кодированию подвергаются пары чисел RUN и LENGTH. При этом общий поток разбивается на участки, начинающиеся с нулевых квантованных значений дискретного косинусного преобразования, их количество образует число RUN, и заканчивающиеся первым встретившимся ненулевым значением, которому присваивается значение LENGTH. К этим последовательностям применяется соответствующая кодовая таблица.

Стандарт JPEG предусматривает ряд специальных режимов сжатия и хранения. Прогрессивные режимы могут быть использованы в случаях, когда полезно быстро получить грубую версию изображения по мере его поступления при приёме по каналу связи с низкой пропускной способностью. С этой целью изменяется порядок передачи кодированных данных. В настоящее время различают два прогрессивных режима:

режим спектрального выбора – сначала пересылаются компоненты нижних частот каждого из блоков, а затем более высоких частот (пространственная масштабируемость);

режим последовательной аппроксимации – сначала пересылается некоторое число старших битов каждой закодированной величины, а затем младших (кроме постоянной составляющей сигнала).

Существующие программные пакеты не поддерживают эти режимы, так как данные целиком хранятся в файле. Аппаратные же реализации позволяют осуществить декодирование в реальном времени (MJPEG).

Режим без потерь используется в тех случаях, когда требуется точное восстановление сжатого изображения. В этом режиме величина каждого элемента изображения предсказывается в виде отличия от окружающих его соседних элементов. Эта величина кодируется с использованием кода переменной длины аналогично основному режиму JPEG. Фаза дискретного косинусного преобразования в этом случае вообще не используется, поскольку даже незначительные ошибки округления, связанные с увеличенной разрядностью спектральных коэффициентов, могут привести к потерям. Также не используются субдискретизация и преобразование цветов.

Этот режим, как и любой другой алгоритм сжатия без потерь, обеспечивает существенно худшее сжатие, чем режим с потерями. При кодировании реальных изображений он может обеспечить коэффициент сжатия порядка двух, в то время как алгоритм с потерями, при том же субъективном качестве, обеспечивает сжатие около восьми.

В иерархическом режиме изображение хранится в нескольких версиях с различной разрешающей способностью. Например, изображение размером 1000x1000 элементов может храниться в виде версий размером 10x10, 100x100 и в полном разрешении. Каждое изображение в этом случае хранится в виде отличий от предыдущего, как бы уменьшенной версии. Этот режим удобен для быстрого просмотра изображений при программном декодировании [[1, с. 180–182](#)].

4.2.2. Алгоритм сжатия динамических изображений

Сжатие динамических изображений осуществляется с помощью формата MPEG (Moving Picture Experts Group), описанного в документах ISO/IEC 11 172, 13 818 и 14 812. Этот формат разрабатывался как для целей цифрового телевизионного вещания MPEG-2, так и для применения его в компьютерных мультимедийных приложениях – MPEG-1, MPEG-4 и MPEG-7. Приведенные выше форматы устанавливают алгоритмы сжатия видео, звука, системных данных, а также служебных данных о сигналах синхронизации синтезирующего устройства.

Сигналы от источников сообщений, подвергнутые сжатию, мультиплексируются в общий цифровой поток, называемый системным в MPEG-1, т.е. программным, или транспортным в MPEG-2. Синтаксис этих потоков установлен форматом MPEG. Цифровой поток подвергается помехоустойчивому кодированию в вид, от которого зависит используемый канал связи.

Формат MPEG-1 был разработан для применения в компьютерных мультимедийных системах, а также для банков подвижных изображений со стандартным для компакт-дисков (CD) потоком данных в 1,15 Мбит/с и специальным форматом прогрессивного изображения – SIF-формат. Для получения приемлемого качества максимальное число элементов изображения было ограничено до 352x288 элементов, частота кадров - до 30 Гц при прогрессивном разложении. Верхняя граница системного потока данных составляла 1,5 Мбит/с. Такие существенные ограничения стандарта не позволили использовать его для целей телевизионного вещания. Не предусматривалась также возможность работы с различными форматами субдискретизации сигналов цветности, кроме 4:2:0, и с чересстрочными изображениями.

Принятый недавно формат MPEG-4 также предназначен для компрессии видеосигнала в компьютерных мультимедийных системах, а также для их передачи через Интернет. Стратегия кодирования этого формата заключается в отказе от рассмотрения исходного изображения как единого целого изображения, а представление его как совокупность некоторого числа семантических единиц. При этом отдельные семантические единицы кодируются независимо друг от друга в соответствии с алгоритмами, обеспечивающими наибольшую степень сжатия для данного изображения. Следует отметить, что под семантической единицей следует понимать не обязательно реальные объекты изображения, но и их фрагменты, звук и т.д. Важно также отметить, что стандарт не определяет способ “получения” отдельных семантических единиц. Во многих мультимедийных приложениях они могут быть в наличии изначально, так называемый режим КВС (Knowledge Based Coding), а при работе с реальными изображениями они могут быть получены в результате его сегментирования – режим OBASC (Object Based Analysis/Synthesis and Coding).

В обоих случаях каждому сегментированному фрагменту ставится в соответствие некая модель и выбирается оптимальный для неё способ кодирования. В самом простом случае все динамическое изображение может рассматриваться как единственная семантическая единица и может быть закодировано с использованием тех же алгоритмов, которые используются в MPEG-1 и MPEG-2. Тем самым достигается совместимость MPEG-4 с предшествующими стандартами.

Однако из всего многообразия рассмотренных форматов особое внимание следует уделить рассмотрению алгоритма сжатия видеосигнала по формату MPEG-2.

Компрессия видео по MPEG-2 учитывает чересстрочность видеосигнала и имеет ряд ступеней качества, обычно представляемых в виде таблицы профиль/уровень (Profile/Level). Профиль определяет параметры сжатия, т.е. синтаксис, а уровень – размер изображения. Этим обеспечивается покрытие различных приложений, требующих сжатия видеоданных (от 352x288 элементов при 3 Мбит/с до 1920x1152 при 100 Мбит/с).

Для передачи сигнала стандартного качества используется основной профиль основного уровня (Main Profile at Main Level – MP@ML). Он предусматривает цифровой поток до 15 Мбит/с. Испытания показали, что уже при 6 Мбит/с достигается качество изображения, сравнимое с качеством PAL, а при 9 Мбит/с – качество, сравнимое со студийным изображением.

Основные требования, предъявляемые к MPEG-2, заключаются в том, что этот формат должен обеспечить:

- качество изображения лучшее, чем в системах **PAL**, **SECAM** или **NTSC**;
- произвольный доступ декодирования цифрового потока, т.е. с любого места;
- манипуляцию цифровыми потоками для редактирования;
- режим кодирования с малым временем задержки;
- возможность реализовать в декодере несколько ступеней качества;
- декодирование цифровых потоков формата MPEG-1;
- простую и эффективную адаптацию к каналам связи.

В основе построения формата MPEG лежит пространственная декорреляция, обеспеченная применением дискретного косинусного преобразования. Поэтому этот формат можно рассматривать как дальнейшее развитие алгоритма JPEG. В дополнение к алгоритмам JPEG и MJPEG используется также временная декорреляция смежных кадров или полей изображения при чересстрочной развёртке изображения, позволяющая существенно повысить степень сжатия при хорошем качестве. Она реализуется с помощью дифференциально-импульсной кодовой модуляции. Дифференциально-импульсная кодовая модуляция даёт хорошее предсказание, но только для неподвижных изображений. На динамических объектах наблюдения ошибка предсказания может быть велика.

Наиболее распространенным видом движения в изображениях является поступательное движение. Кроме того, поступательно движущиеся объекты изображения могут быть отслежены глазом человека и считаются как бы статическими. При этом сохраняется высокая пространственная разрешающая способность. Поэтому в формате MPEG используется предсказание с использованием векторов движения, которое ставит в соответствие каждому отдельному макроблоку кодируемого кадра, размером 16x16 элементов, макроблок того же размера предыдущего кадра, смещенного таким образом, чтобы между этими макроблоками достигалась максимальная корреляция.

Как видно из выше изложенного, формат MPEG представляет собой несимметричную систему, в которой сложность кодера в основном обуславливается наличием выработки вектора движения, но в то же время компенсируется относительной простотой декодера, который наиболее прост в реализации [[1, с. 183–190](#)].

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. В чём заключаются особенности зрительного восприятия излучения?
2. Какова связь между форматом кадра и числом строк?
3. Что такое критическая частота мелькания синтезирующего устройства и как она зависит от яркости наблюдаемого изображения?
4. Как осуществляется процесс формирования полного видеосигнала в системах технического зрения и что представляет собой сигнал синхронизации приёмника?
5. Чем отличается прогрессивная и чересстрочная развёртка изображения и где они используются?
6. Чем определяется максимальная частота видеосигнала и от каких параметров она зависит?
7. Апертурные искажения: что это такое, где они возникают и как их можно устранить?
8. Градационные искажения: что это такое, где они возникают и как их можно устранить?
9. В чём заключается принцип сжатия изображения и для чего это необходимо?
10. Назовите отличие алгоритма сжатия JPEG от алгоритма сжатия MPEG и область их применения.
11. Какие алгоритмы сжатия используются для статических и динамических изображений?
12. Какие алгоритмы сжатия используются в компьютерных мультимедийных приложениях, а какие в цифровом телевизионном вещании?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цифровое преобразование изображений: Учеб. пособие для вузов / Р.Е. Быков, Р. Фрайер, К.В. Иванов, А.А. Манцветов; Под ред. профессора Р.Е. Быкова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 228 с.
2. Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. – 640 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. http://device.com.ru/material/video_4.shtml
2. <http://www.intuit.ru/department/graphics/compression/>
3. <http://kainsk.tomsk.ru/g2003/other26/zifr.htm>
4. <http://www.shocker.ru/articles/18.html>

Глава 5. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

- **5.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ**

- 5.1.1. Гистограммная обработка изображений
- 5.1.2. Анализ сцен и прогноз ситуаций
- 5.1.3. Бинаризация полутоновых изображений
- 5.1.4. Обработка цветных изображений

- **5.2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

- 5.2.1. Фильтрация изображений
- 5.2.2. Линейная фильтрация изображений
- 5.2.3. Преобразование полутоновых изображений

-  Литературные источники
-  Ссылки на Интернет-ресурсы

5.1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Как было показано выше, в системах технического зрения любое изображение наблюдаемых (исследуемых) объектов представляет собой лишь некоторую функцию распределения яркости или цвета в двухмерной плоскости. При этом каждый элемент исходного изображения характеризуется тремя независимыми величинами – первые две описывают его геометрическое положение в плоскости изображения $f(x, y)$, а третья характеризует его яркость в данной точке плоскости. В соответствии с этим при обработке изображений принято в изображении различать его яркостную и геометрическую составляющую, а следовательно, проводить их отдельный анализ.

На этапе предварительной обработки полученных двухмерных пространственно-временных видеосигналов следует реализовывать процессы, позволяющие в дальнейшем более эффективно оценивать и анализировать принятую информацию. Поэтому эти процессы условно можно разделить на следующие:

коррекция геометрических искажений – для их устранения, а также для реализации совмещения изображений или размасштабирования при неправильной оценке ракурса текущего изображения относительно эталонного;

улучшение качества изображения – путем подавления шумов, компенсации нелинейных искажений, оптимизации контраста, подчеркивания границ изображений при расфокусировке или дефокусировке изображения;

восстановление изображения – базируется на оценке параметров искажений с использованием их для коррекции исходных данных, т.е. средств компенсаций искажений, вносимых в изображение в процессе его формирования;

реконструкция изображения – основана на использовании априорной информации о принимаемом изображении.

Дальнейшие этапы обработки и анализа изображения следует рассматривать с точки зрения построения массивов данных. Так яркостная составляющая изображения характеризуется одномерным массивом гистограмм, т.е. частоты появления на изображении элементов с одинаковой яркостью. В то время как геометрические характеристики изображения по-прежнему требуют для своего описания двумерных массивов данных.

Для описания таких массивов данных в настоящее время используют двумерную геометрию изображений при помощи некоторых одномерных массивов, называемых профили и проекции изображения. Профилем изображения вдоль некоторой линии называется функция яркости изображения, распределенная вдоль данной линии. Проекцией изображения на некоторую ось, направление называют интегральную характеристику яркости элементов изображения, взятых в направлении, перпендикулярном данной оси.

Как видно из сказанного, дальнейшие этапы обработки и анализа изображения следует сводить к замене двухмерных задач к одномерным задачам, т.е. к построению и анализу гистограмм, с последующей гистограммной обработкой изображения, а также построению и использованию профилей и проекций изображения.

Любая информация об изображении, как и любая процедура его обработки, может носить глобальный либо локальный характер. Глобальной считается такая обработка, которая относится ко всему изображению в целом, в то время как локальная обработка относится к некоторой выделенной области, фрагменту этого изображения. Соответственно, необходимо также помнить, что гистограммы, профили и проекции могут относиться как к изображению в целом, так и к определенным его локальным областям.

5.1.1. Гистограммная обработка изображений

[Гистограмма](#) позволяет оценить и необходимым образом, если это требуется, измерить яркость изображения, его контраст, площадь изображения, которую занимают светлые, темные и другие яркостные элементы, и, наконец, определить, где на плоскости изображения находятся отдельные области или объекты, соответствующие тем или иным диапазонам значений яркости.

Яркостными преобразованиями изображения называются преобразования двумерных функций яркости, описываемые простой формулой

$$L(x, y) = f(L(x, y)) \quad (5.1)$$

Простейшим случаем яркостных преобразований изображения являются линейные преобразования яркости, в которых функция отображения яркости имеет вид

$$f(L) = a \times L + b, \quad (5.2)$$

где a – коэффициент, определяющий изменение контраста изображения; b – коэффициент, определяющий изменение средней яркости изображения; L – собственно яркость в текущей точке изображения $L(x, y)$.

Такие линейные преобразования яркости называют также *фотографическими*, так как при традиционной фотосъемке их можно устанавливать при помощи изменения характеристик выдержки и диафрагмы объектива. Возможны и другие функции отображения яркости.

Яркостные преобразования цифровых изображений часто называют гистограммными, так как при этом, во-первых, изменяется гистограмма изображения, во-вторых, вид функции преобразования, т.е. параметры преобразования часто определяются адаптивно, на основании ранее собранной гистограммы исходного изображения.

В случае дискретных цифровых изображений функция отображения яркости принимает вид так называемой таблицы отображения яркости **LUT**. Гистограммная обработка изображения при помощи таблицы отображения яркости осуществляется следующим образом:

$$L(x, y) = LUT[L(x, y)], (5.3)$$

где **LUT** – целочисленный массив размера 256 элементов для 8 – битного изображения и длиной 65536 элементов для 16 – битного изображения.

Так, при гистограммной обработке 8-битных полутоновых изображений LUT может задаваться следующим образом:

- произвольной таблицей отображения, формируемой пользователем непосредственно;
- некоторой математической функцией, выбранной из заданного набора функций;
- адаптивно по гистограмме данного анализируемого, исследуемого изображения.

Таблицы отображения, составленные пользователем, позволяют выполнять следующие типовые операции, выполняемые вручную:

- - вырезание определенных диапазонов яркости изображения;
- - вырезание битовых плоскостей;
- - бинаризацию изображения по одному или двум порогам яркости;
- - сегментацию изображения на несколько яркостных диапазонов.

При этом стандартные математические функции, используемые для формирования LUT, выделяют в следующий типовой набор:

- линейное преобразование – Linear;
- логарифмическая функция – Log;
- экспонента – Exp;
- квадратичная функция – Square;
- квадратный корень – Square root;
- степенная функция – Power X;
- обратная степенная функция – Power 1/X.

Известным частным случаем стандартной обработки изображения является инвертирование яркости. В результате такой операции инвертирования изображение получается в негативе, т.е. тёмные области изображения становятся светлыми, а светлые – тёмными.

Другим широко используемым преобразованием является степенное. Это преобразование в телевидении известно как процедура гамма-коррекции, т.е. устранение градиционных искажений в изображении. Легко увидеть, что, изменяя параметр γ , мы можем получать LUT различного типа. Так, для значений $\gamma = 1$ преобразование будет линейным, при $\gamma < 1$ предпочтение будет отдаваться более светлым тонам и на них придется большая часть динамического диапазона, а при $\gamma > 1$ предпочтение будет отдаваться более темным тонам. Такого типа преобразования часто используются для выравнивания яркости изображения.

Простейший способ гистограммной обработки, зависящей от структуры рассматриваемого конкретного изображения, называется адаптивным. Линейная адаптивная процедура, называемая яркостной нормализацией изображения, равномерно растягивает диапазон яркостей, присутствующих на исходном изображении, на максимально возможный диапазон от 0 до 255 уровня яркости изображения. Этим способом обработки изображения добиваемся максимально возможного контраста изображения без потери каких-либо различий в элементах яркости исходного изображения.

Наиболее общей смысловой единицей анализа гистограммы при гистограммной обработке изображений является мода. Это понятие, позаимствованное из математической статистики, означает максимум графика гистограммы. Если гистограмма имеет одну моду, такая гистограмма называется унимодальной и свидетельствует о яркостной однородности изображения. Бимодальная гистограмма имеет два явно выраженных максимума, т.е. две моды, разделенные значительной впадиной, скорее всего, означают, что данное изображение содержит отличающиеся друг от друга светлую и темную области изображения, часто называемые фоном и объектом или фоном и символом. Разделение этих областей порогом, определяемым по гистограмме, называется адаптивной бинаризацией изображения. В том случае, если на гистограмме наблюдается несколько мод, такая гистограмма называется мультимодальной и её анализ осуществляется более сложными методами [[1, с. 119–123](#)].

В настоящее время гистограммную обработку изображений можно осуществить в среде визуального программирования [LabVIEW](#) с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений IMAQ Vision. В этой программной среде выполняются следующие функции [IMAQ](#):

- Histogram – осуществляет построение и визуализацию гистограммы изображения;
- Histogram – выдает отчёт о гистограмме изображения;
- UserLookup и MathLookup – осуществляют гистограммную обработку изображения, преобразовывая каждый элемент изображения с помощью таблицы отображения яркости – LUT (Look-Up-Table);
- Equalize – выполняет эквализацию изображения;
- Inverse – инвертирует яркость изображения.

5.1.2 Анализ сцен и прогноз ситуаций

При проведении анализа изображений и выявлении на них исследуемых объектов или наблюдаемых физических явлений следует рассматривать общую картину наблюдаемого кадра изображения и учитывать взаимное расположение объектов или явлений друг относительно друга в этом кадре. Такое взаимное расположение объектов и физических явлений в дальнейшем будем называть сценой.

В результате проведения анализа таких сцен можно получать описания объектов или наблюдаемых явлений, расположенных на наблюдаемой сцене, и определять взаимосвязи между ними. При этом в процессе анализа следует использовать методы предварительной обработки изображений и распознавания образов. В процессе анализа сцен следует также различать два понятия – статический анализ сцен, т.е. в пределах одного кадра изображения, и динамический анализ сцен – при анализе определенного количества кадров изображения.

В процессе анализа сцен, в зависимости от решаемых задач, реализуется множество процедур, в том числе связанных с описанием линий и форм. Выделение линий на изображениях во многих случаях удобно проводить на основе преобразований *Хоха*.

Для реализации данного преобразования исходное полутоновое изображение бинаризуется и ищутся точки контурных линий. Целью этого преобразования является выделение линий, задаваемых уравнениями $f(x, p_1, p_2, \dots, p_n, \dots, p_N)$, где p_n – n -й параметр линии.

Для нахождения параметров p_n задаётся N -мерное дискретное пространство $H(p_1, p_2, \dots, p_N)$, называемое собирающим, т.е. массив счётчиков. Для каждой контурной точки (x, y) проводится процедура голосования, подтверждающая принадлежность данной точки к искомой линии. В этом случае значение соответствующего счётчика увеличивается на единицу.

Так, точки изображения исследуемого объекта, лежащие на прямых линиях, будут создавать большие числа в отдельных счётчиках, что приводит к значительным временным затратам. Поэтому, в преобразовании *Хоха*, для сокращения вычислений может быть применена предварительная оценка угла наклона контурной линии в окрестности рассматриваемой точки.

Одним из направлений анализа сцен является разметка линий, позволяющая выделять связанные границы и определять структуру их связей. Будем считать, что на этапе предварительной обработки исходное изображение было бинаризовано и выделены границы однородных поверхностей, представляющие отрезки прямых линий. В данном методе выделенные прямые линии маркируются стрелками, направление которых показывает, какая поверхность соответствует ограничивающей границе, принадлежащей объекту. При этом выпуклые границы обозначаются знаком “+”, а вогнутые – знаком “-”. Причём ограничивающая поверхность должна располагаться справа от линии, если смотреть по направлению стрелки. Точки соединения отдельных линий называются узлами.

В базовом словаре возможных маркировок выделяется четыре типа узлов ([рис. 5.1 \[3, с. 105\]](#)):

- Y – узел с вершиной, у которой встречаются три границы куба. При этом точка наблюдения расположена вблизи линии, соединяющей угол и центр куба. Наблюдаемый угол может быть как выпуклым, так и вогнутым. Предполагается, что поверхности объекта образуют с фоном вогнутые углы.
- \uparrow – узел, представляет собой значительное отклонение точки наблюдения от линии, соединяющей угол и центр куба. Центральная ось стрелки и боковые линии могут образовывать как выпуклые, так и вогнутые двугранные углы.
- Λ – узел, при котором со знаком “-” показывается наличие на поверхности объекта вогнутых углов. Если одна граница трехгранного угла перекрывает остальные, то она маркируется знаком “+”.
- T – узел, образуется при частичном перекрывании границы одного объекта границей другого. При маркировке горизонтальной линии знак “+” должен всегда находиться на стороне, противоположной основанию. Маркировка основания может быть различной.

Приведенный словарь маркировок позволяет выделить на контурном изображении связанные линии, принадлежащие одному объекту. Показателем связности линий в этом случае является непротиворечивость, согласованность маркировок. В некоторых случаях базовый словарь не позволяет выделять связанные линии. Например, когда в угловую точку одного объекта попадает граница другого объекта. В связи с этим базовый словарь может дополняться и модифицироваться, в зависимости от решаемых системой задач.

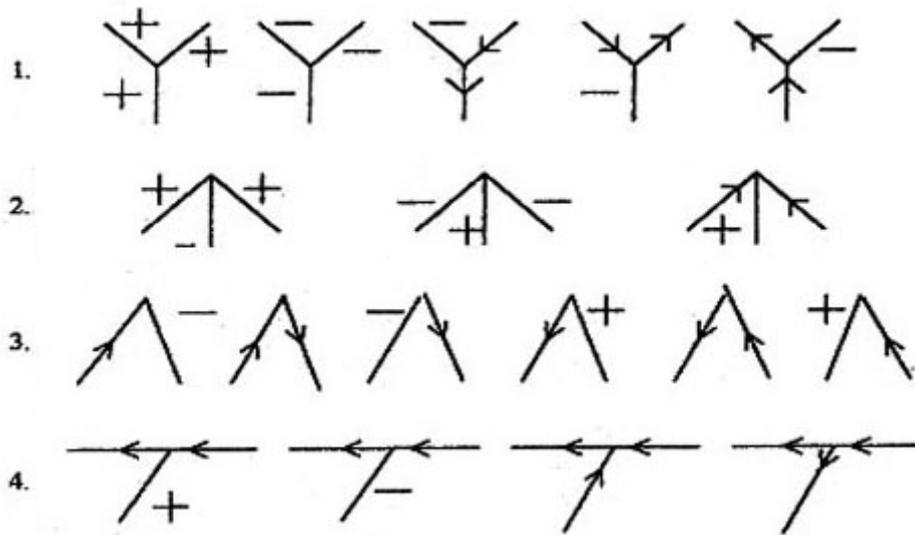


Рис. 5.1. Маркировка четырёх типов узлов:
 1 – Y узел, 2 – ↑ узел, 3 – ? узел, 4 – ? узел

Существуют различные способы проверки согласованности меток. В частности, наиболее простым, но трудоёмким, является полный перебор всех возможных вариантов. Ещё один подход – это иерархический поиск по дереву возможных решений и др.



Рис. 5.2. Варианты границ, связывающих плоские поверхности

Штриховыми линиями на [рис. 5.2](#), [5.3](#) [3, с. 106] обозначены связи, которые соединяют кружки, расположенные на соответствующих поверхностях наблюдаемого изображения. Если после разметки две поверхности оказываются соединенными дважды, то принимается решение о принадлежности этих поверхностей одному из объектов на изображении.

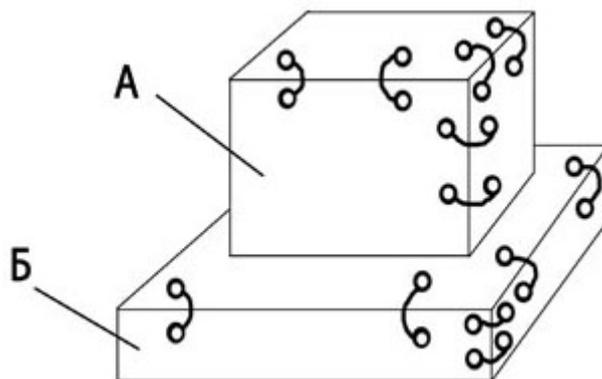


Рис. 5.3. Вариант разметки поверхностей, позволяющий разделить объекты А и Б

Определение связности поверхностей необходимо для определения принадлежности отдельных поверхностей конкретному объекту или явлению.

В общем случае анализ сцен зависит от конкретных решаемых задач [СТЗ](#). Поэтому в процессе анализа могут использоваться различные физические законы, эвристические правила, специализированные базы данных и др. [[3, с. 103–106](#)].

5.1.3. Бинаризация полутоновых изображений

В обработке изображений часто используется процедура пороговой бинаризации, т.е. разбиение изображения на две области, одна из которых содержит все элементы изображения со значениями ниже заданного порога, а другая – все остальные, со значениями выше этого порога. В алгоритмах адаптивной бинаризации изображений используются локальные или глобальные гистограммы изображения. Этот подход основан на использовании гистограммы яркостей элементов изображения. В то время как при оптимальной пороговой сегментации, основанной на приближении гистограммы изображения к некоторой кривой, используются весовые суммы двух или более вероятностей интенсивности с нормальным распределением. В этом случае порог – набор ближайших уровней яркости, соответствующих минимуму вероятности между максимумами двух или более нормальных распределений.

Для определения оптимального порога бинаризации предложено большое количество различных подходов. Наиболее удачным из них представляется подход, в котором предполагается не только определение оптимального порога бинаризации, но и вычисление некоторого критерия бимодальности, т.е. оценки того, действительно ли исследуемая гистограмма содержит именно две моды – два выраженных максимума.

Этот алгоритм имеет ясный статистический смысл и, как показывает практика, является эффективным и устойчивым способом определения адаптивного порога для бинаризации бимодальных изображений [[1, с. 137–139](#)].

Этот алгоритм гистограммной обработки изображений можно осуществить в среде визуального программирования *LabVIEW* с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений *IMAQ Vision*. В этой программной среде выполняются следующие функции *IMAQ*:

- **Threshold** – производит бинаризацию исходного изображения исходя из заданных значений: минимального, максимального порогов;
- **AutoBThreshold** – осуществляет бинаризацию исходного изображения с автоматическим определением порогов бинаризации;
- **MultiThreshold, AutoMThreshold** – позволяет автоматически определять границы мод гистограммы и осуществлять мультипороговую гистограммную сегментацию в программной среде **LabVIEW**.

5.1.4. Обработка цветных изображений

Цветные изображения в цифровой форме представляют собой совокупность трех плоских изображений, каждая из которых характеризует одну составляющую цвета, представленную в формате, таком же как и обычное чёрно-белое 8-битное полутоновое изображение. Поэтому все описанные процедуры обработки полутоновых изображений для яркостного сигнала могут быть применены и для случая обработки цветных изображений. Основной сложностью при обработке цветных изображений является выбор модели цветового пространства. Законы цветового уравнивания, получаемые при аддитивном смешении световых потоков в том виде, как они сформулированы в законах **Грассмана** и следствиях из них, можно выразить простыми алгебраическими уравнениями и геометрически проиллюстрировать в трёхмерном пространстве, называемом также трёхкоординатным цветовым пространством.

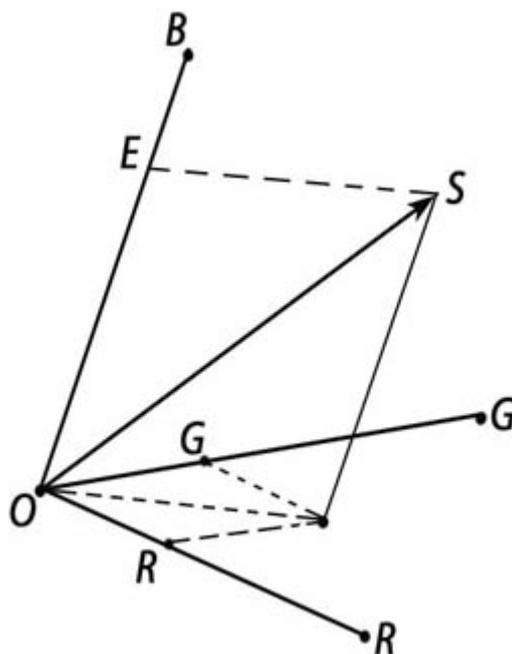


Рис. 5.4. Геометрическая интерпретация трехмерного цветового пространства

В этом пространстве каждый цвет, представленный вектором S , задается тремя цветовыми координатами. На [рис. 5.4](#) [2, с. 69] в наклонной проекции изображена простая геометрическая интерпретация трёхкоординатного цветового пространства. Три основных цвета: красный – R , зеленый – G и синий – B , изображены в виде прямых линий – векторов цветового пространства,

расположенных под некоторыми углами и являющихся осями системы координат. Взаимные расположения трёх осей основных цветов задаются более или менее произвольно. Проекция вектора S , определяющая цвет изображения, на оси основных цветов определяет координаты этого вектора в цветовом пространстве.

Масштабы на трёх осях, т.е. единичные количества трёх основных цветов, тоже могут быть выбраны произвольно. Один из выборов масштабов основан на том, что равные количества R , G и B создают [ахроматический цвет](#), соответствующий вектору N , который пересекает единичную плоскость $R + G + B = 1$ в центральной точке N . Такой выбор масштаба проиллюстрирован на [рис. 5.5](#).

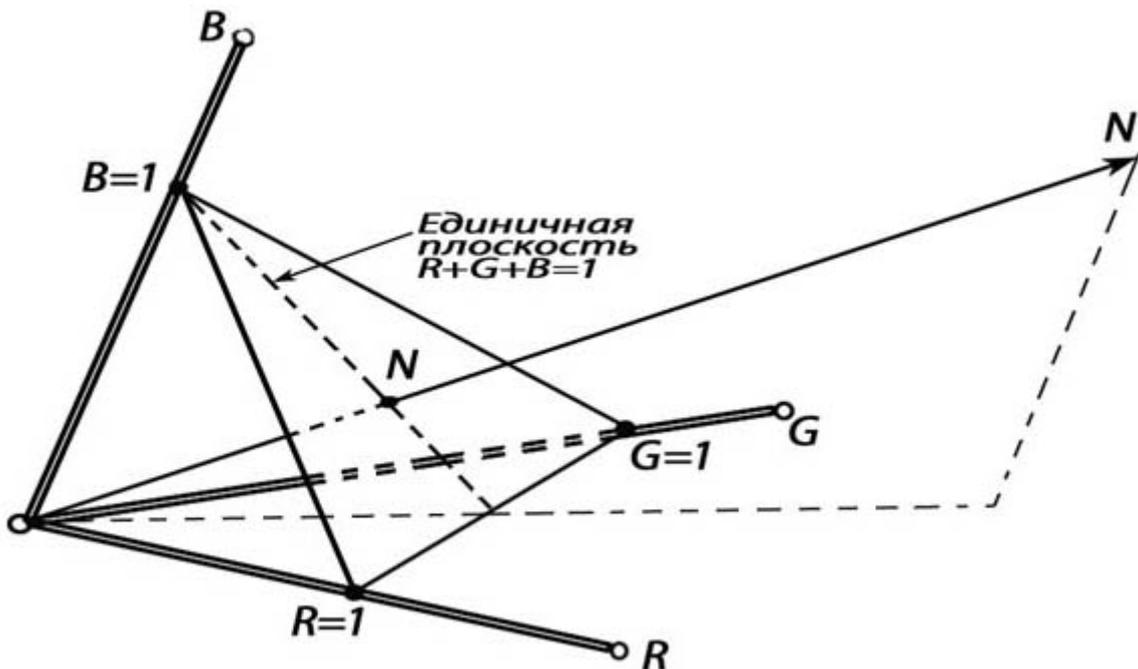


Рис. 5.5. Единичная плоскость трёхмерного цветового пространства [2, с. 70].

Единичная плоскость представляет особый интерес, поскольку любой цветовой вектор N или его продолжение пересекает единичную плоскость в точке N . Эта точка пересечения однозначно соответствует вектору N , поэтому её можно называть точкой цветности цвета N , а участок единичной плоскости, заключенный внутри цветового охвата данной системы цветовых координат, называют графиком цветности. Основное назначение цветового пространства дать средства описания цвета в пределах некоторого цветового охвата. В системах технического зрения при компьютерной обработке изображений используют различные модели цветового пространства, а поэтому основные координаты цветности по-разному описываются. Рассмотрим наиболее часто встречаемые модели при обработке изображений RGB и HSV .

Цветовая модель RGB

Цветовая модель RGB – это аппаратно-ориентированная модель, используемая в дисплеях для аддитивного формирования оттенков самосветящихся элементов объекта изображения. В этом случае система координат RGB представляет собой куб с началом отсчета $(0, 0, 0)$, соответствующим чёрному цвету, а максимальное значение с координатами $(255, 255, 255)$ соответствует белому цвету. В этой модели не разделены яркостная составляющая и компоненты цветности.

Цветовая модель HSV

Цветовая модель HSV (Hue, Saturation, Value – цветовой тон, насыщенность, мера яркости) – модель цветового пространства, ориентированная на человека и обеспечивающая возможность явного задания требуемого оттенка цвета (рис. 5.6). Среди прочих используемых в настоящее время моделей эта модель отражает физические свойства цвета и наиболее точно соответствует способу восприятия цвета человеческим глазом.

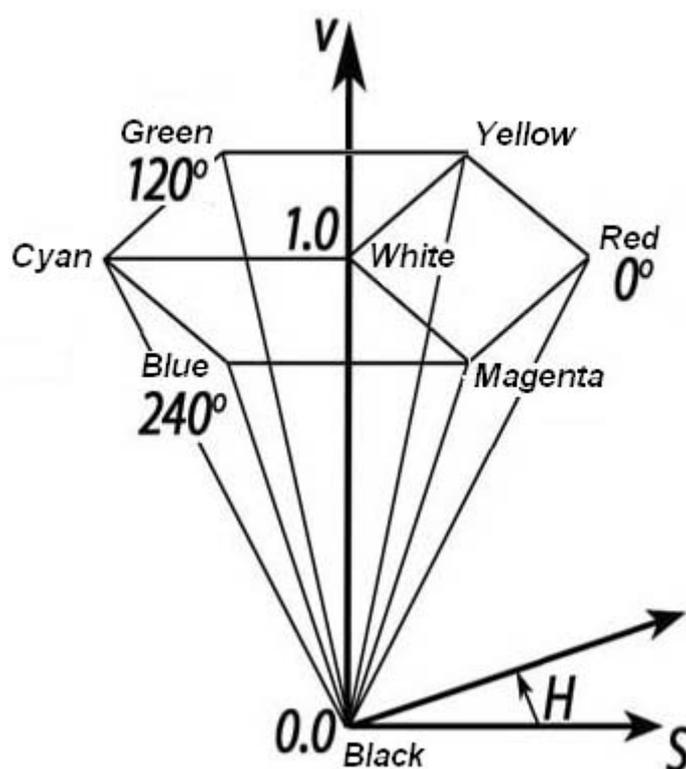


Рис. 5.6. Цветовая модель HSV [1, с. 143]

Оттенок цвета H ассоциируется в человеческом сознании с обусловленностью окраски предмета определенным типом пигмента, краски, красителя. Данная составляющая является объективной и отражает физическую сущность цвета. Насыщенность S характеризует степень, силу, уровень выражения оттенка цвета. Этот атрибут в человеческом сознании связан с количеством пигмента, краски, красителя. Насыщенность S позволяет оценить, насколько глубоким и чистым является данный цвет, т.е. как он отличается от ахроматического цвета.

Мера яркости S характеризует освещённость или затенённость цвета, т.е. его интенсивность, поэтому она измеряется в диапазоне от 0 – чёрного цвета до 1 – белого цвета. При увеличении яркости цвет становится более светлым.

Составляющая V является нелинейной, что близко соответствует восприятию человеком светлых и тёмных цветов. Две последние составляющие являются субъективно определяемыми, так как отражают психологические особенности восприятия цвета.

Цветовое подпространство, определяемое данной моделью, соответствует проекции цветового пространства на главную диагональ **RGB**– куба в направлении от белого к чёрному цвету и является собой перевернутый шестигранный конус (рис. 5.6).

По вертикальной оси конуса задаётся V – мера яркости. Значению $V = 0$ соответствует вершина конуса, а значению $V = 1$ – основание конуса. Цветовой тон H задается углом, отсчитываемым вокруг вертикальной оси. В частности, 0° – чистый красный цвет, 60° – желтый, 120° – зеленый, 180° – голубой, 240° – синий, 300° – пурпурный. Насыщенность S определяет, насколько близок цвет к спектрально чистому цвету и изменяется от 0 на вертикальной оси V до 1 на боковых гранях шестигранного конуса. Точка $V = 0$, в которой находится вершина конуса, соответствует чёрному цвету. Значение S при этом может быть любым в диапазоне $0 \dots 1$.

Данное преобразование является нелинейным, что затрудняет его практическое использование. Аппроксимация преобразования линейными зависимостями существенно упрощает алгоритм перевода из цветового пространства **RGB** в пространство **HSV** и обеспечивает высокую вычислительную эффективность. Цветовая модель **HSV** является наиболее удобным представлением цветных изображений для их цветовой сегментации.

Цветовая сегментация изображения обычно производится по предварительно построенной модели распределения цвета искомого объекта в цветовом пространстве **HSV**. Построение модели рассматривается как задача поиска группы кластеров, соответствующих оттенкам объекта наблюдения, исследования. Структура и параметры модели формируются путем обработки изображений участков объекта, выделенных вручную.

На этапе сегментации каждому элементу изображения ставится в соответствие вектор параметров цвета (H , S и V) и проверяется принадлежность параметров цвета к одному из кластеров модели объекта. Область изображения объекта формируется из элементов, параметры которых вошли в один из кластеров.

После того как на изображении выделены элементы, цвет которых соответствует оттенкам объекта, производится слияние выделенных элементов в систему кластеров по мере близости их местоположения. Далее производится комплексная проверка кластеров для выявления кластеров, действительно являющихся объектом. Правило, которому должен отвечать фрагмент изображения, на котором присутствует объект, достаточно очевидно. Фрагменты изображения с обнаруженными на изображении объектами выделяются рамкой [1, с. 141–147].

Гистограммную обработка цветных изображений можно осуществить в среде визуального программирования **LabVIEW** с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений **IMAQ Vision**. В этой программной среде выполняются следующие функции **IMAQ**:

- **ColorHistogram** – дает отчёт о гистограмме цветного изображения;
- **ColorHistogram** – осуществляет построение и визуализацию гистограммы изображения;
- **ColorThreshold** – производит пороговую бинаризацию по каждой из трёх цветовых плоскостей.

При обработке изображения часто возникает задача анализа профиля изображения вдоль некоторой линии. Под понятием профиль изображения следует понимать функцию распределения интенсивности этого изображения вдоль данной линии анализа. Чаще всего профилем изображения является профиль строки изображения.

Для реализации этой задачи исследования изображения в среде визуального программирования LabVIEW с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений *IMAQ Vision* существуют следующие функции *IMAQ*:

- ***LineProfile*** – осуществляет выборку значений интенсивности элементов изображения вдоль заданной линии и выдает их значения в формате, совместимом с элементом управления Waveform Graph;
- ***Simple Edge*** – позволяет обнаружить перепады яркости изображения вдоль заданной линии – прямой, кривой или ломаной;
- ***Edge Tool*** – позволяет в отличие от Simple Edge обнаруживать локальные перепады яркости границ, а не глобальные пороги бинаризации;
- ***Peak-Valley Detector*** – производит определение положения локальных максимумов или минимумов в одномерном растровом массиве.

Другой часто встречающейся функцией обработки является проекция изображения на некоторую ось. Под понятием проекция изображения называется интеграл интенсивностей элементов изображения, взятых в направлении, перпендикулярном выбранной оси.

В общем случае можно рассматривать проекцию изображения на любую произвольную ось. По окончании формирования массива проекций осуществляется его анализ стандартными средствами, что позволяет автоматически выделять различные особые точки функции проекции, соответствующие вертикальным или горизонтальным контурам различных объектов, присутствующих на изображении. Следует отметить, что свойства, выделяемые с помощью анализа профиля изображения, носят локальный характер и характеризуют только ту линию изображения, вдоль которой берётся профиль, и её небольшую окрестность, в то время как свойства, выделенные путём анализа проекций изображения или какой-либо его области, носят глобальный характер и относятся ко всему изображению, т.е. ко всей анализируемой области в целом [1, с. 151–161].

Реализация проекции изображения в среде визуального программирования *LabVIEW* с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений *IMAQ Vision* имеет одну функцию *IMAQ*. Эта функция LinearAverages – позволяет получать вертикальную и горизонтальную проекции, нормированные соответственно к высоте и ширине изображения.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Что называют профилем и проекцией изображения?
2. В чём смысл гистограммной обработки изображений?
3. Какими видами функций описываются яркостные преобразования изображений?
4. Чем определяется процесс распознавания изображений?
5. Что такое яркостная нормализация и для чего она используется?
6. Как осуществляется бинаризация изображения и что подразумевается в алгоритмах адаптивной бинаризации, использующей локальную или глобальную гистограмму изображения?
7. Что подразумевается под понятием трёхмерного цветового пространства и какие цветовые модели используются в системах обработки изображений?
8. В чём заключается сущность фильтрации изображений?
9. Какие методы линейной фильтрации используются при обработке изображений и какие из них и в каких случаях более целесообразно использовать?

10. Что представляет собой оконная фильтрация и для каких целей она используется?
11. Как осуществляется выделение краёв и контуров объектов наблюдения?
12. Чем отличается линейная фильтрация в пространственной области от линейной фильтрации в частотной области?
13. Что такое выделение контуров в изображении и для каких целей оно используется?
14. Какие из дифференциальных операторов в настоящее время нашли более широкое распространение и в каких случаях их целесообразно использовать?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржин А.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.
2. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
3. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. http://macedu.hoha.ru/edu/posob/inf_7_2.html
2. <http://www.5ballov.ru/referats/preview/21408/1>
3. <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/16.php>
4. <http://www.geomatica.kiev.ua/training/DataCapture/RemoteSensing/chapter106.html>
5. <http://www.unn.ru/vmk/graphmod/data/archive/imgalg.pdf>

Глава 5. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

5.2. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Как отмечалось выше, все изображения по характеру их обработки предназначены для визуального анализа человеком или для использования их в автоматических и автоматизированных системах, а также в системах технического зрения. При этом только в автоматических системах, где все действия происходят без участия человека, операции с изображением должны быть формализованы от начала до конца.

Однако на практике, несмотря на очевидные успехи в данной области, в большинстве случаев задачи автоматической обработки и распознавания изображений могут быть решены только частично. Поэтому там, где это решение основывается на непосредственном восприятии изображения, человеку часто могут помочь различные методы улучшения качества и преобразования изображений из одной формы представления в другую. Такие методы обработки в литературе носят самые различные названия: восстановление изображений, преобразование, корреляция, фильтрация и т.п.

5.2.1. Фильтрация изображений

Под задачей фильтрации изображения понимается любая процедура обработки изображения, при которой из одного растрового изображения формируется другое растровое изображение с измененными параметрами и характеристиками в соответствии с функцией преобразующего устройства, называемого *фильтром*.

На практике чаще всего под фильтрацией изображения понимают фильтрацию изображения от шума, при этом неявно предполагая, что первоначально где-то существует исходное незашумленное изображение. Задача противозумовой фильтрации сводится к тому, чтобы путём некоторой обработки изображения в фильтре его как можно лучше очистить от шума, т.е. получить изображение, наиболее близкое по своим характеристикам к исходному незашумленному изображению. На самом деле необходимо понимать, что “зашумление” – это всего лишь очень упрощенная идеализированная модель возникновения искажений в изображениях реальных объектов.

Приближенные к реальности математические модели формирования цифровых изображений содержат сотни сложных нелинейных уравнений и множество табличных поправок. При этом закон формирования значения яркости каждого элемента изображения, как правило, не является независимым от формирования соседних элементов. Поэтому попытка математически скорректировать подобную сложную модель регистрации изображения говорит уже не о фильтрации от шума, а о реставрации, или реконструкции, изображений.

К сожалению, методы реставрации изображений слишком сложны в вычислительном смысле, чтобы на практике использоваться в системах технического зрения, работающих в реальном масштабе времени. Кроме того, они требуют точного знания математической модели и всех параметров системы СТЗ. Поэтому в реальных системах технического зрения, как правило, используются более простые но, тем не менее, достаточно эффективные процедуры противозумовой фильтрации, т.е. с искажениями в виде независимого зашумления элементов изображения.

Наиболее общей моделью независимого зашумления элементов является шум замещения. Общая модель шума замещения предполагает, что после зашумления каждый элемент изображения, имевший ранее некоторое значение яркости L , с известной вероятностью $p(L)$, сохранит это значение, либо данное значение яркости будет случайным образом замещено другим значением яркости из конечного дискретного диапазона яркостей. Для описания такой общей модели

случайного замещения нам потребуется задать таблицу переходных вероятностей большого размера.



Как видно такое описание является некомпактным и поэтому редко используется на практике для полутоновых изображений. В то же время для бинарных изображений оно является наиболее удобным и простым. Для полутоновых изображений, как правило, рассматривают другую, более частную модель зашумления – аддитивный шум. Такая модель предполагает, что к исходной яркости элемента изображения добавляется случайная аддитивная шумовая компонента. Исходя из закона больших чисел, закон распределения аддитивной шумовой компоненты предпочитают описывать удобным параметрическим семейством нормальных или [гауссовских](#) распределений с нулевым средним. Именно такая модель зашумления чаще всего рассматривается в задачах фильтрации полутоновых изображений.

Исходя из задачи восстановления исходных значений яркости незашумленного изображения, а также из того, что шумовая компонента каждого элемента является заранее неизвестной случайной величиной, следует, что для решения данной задачи необходимо использовать процедуру статистического оценивания. Это может быть оценивание по методу наибольшего правдоподобия или любой другой метод, известный из курса математической статистики. Для оценки значений искомой величины все эти методы требуют использования не одного значения, а статистической выборки значений, характеризующих данную величину.

В связи с этим основная задача противозумовой фильтрации изображений заключается в том, что для оценки исходного значения каждого элемента изображения используется не только значение данного элемента, но и значения нескольких рядом расположенных к нему элементов, попадающих в так называемое окно или апертуру фильтра. При этом близость элементов к оцениваемому элементу понимается в буквальном геометрическом смысле слова.

Процедура оконной фильтрации предполагает, что окно последовательно движется по исходному изображению, причем в каждом положении окна происходит анализ всех элементов, входящих в данный момент в него, и на основе такого анализа центральному элементу окна на выходном изображении присваивается то либо иное значение. Сформированное таким образом выходное изображение называется результатом фильтрации. Следует помнить, что размеры и форма окна задаются произвольно.

В статистическом смысле слова мы опираемся на предположение о том, что на исходном незашумленном изображении значения яркостей всех соседних элементов были одинаковыми или очень близкими, и наблюдаемые различия в их яркостях на зашумленном изображении определяются только присутствием шумовой компоненты, которую и необходимо исключить.

Оконная фильтрация даёт хорошие результаты только для изображений с одинаковой или медленно изменяющейся яркостью элементов изображения. В этом случае значения соседних элементов действительно различаются незначительно, в то время как при появлении резких границ наблюдаются резкие перепады яркости – разница значений может составлять от десятков до сотен градаций интенсивности даже между непосредственно соседствующими элементами.



Таким образом, мы видим, что на границах однородных областей оконные фильтры не могут работать эффективно, здесь они с большой вероятностью ошибаются, что визуально приведет к эффекту искажения формы контуров, а как следствие – к потере разрешающей способности системы в целом. Так, если на исходном изображении присутствуют контрастные объекты, размер которых существенно меньше размера окна фильтрации, фильтр может просто не заметить такой объект, отфильтровать его как шум, что приведет к исчезновению в выходном изображении мелкоразмерных объектов.

Как видно из вышеизложенного при применении оконной процедуры фильтрации изображений, всегда следует отслеживать качество фильтрации по способности фильтра удалять (отфильтровывать) из изображения шум и способности фильтра сохранять на изображении мелкоразмерные детали изображения [[1, с. 163–168](#)].

При обработке изображений на практике используются различные методы фильтрации. Так, по способу реализации их можно подразделить на линейные и нелинейные методы, в пространственной или частотной области.

5.2.2. Линейная фильтрация изображений

Наличие хорошо разработанного математического аппарата позволило линейным методам фильтрации получить более широкое распространение. Эти методы фильтрации можно подразделить на:

- винеровскую фильтрацию;
- инверсную фильтрацию;
- линейную гомоморфную фильтрацию;
- эволюционную фильтрацию.

Винеровская фильтрация – заключается в подборе такой характеристики линейного фильтра, чтобы минимизировать среднеквадратичную погрешность при выделении сигнальной составляющей из аддитивной смеси информационного сигнала и шума, поступающего на вход фильтра.

Инверсная фильтрация состоит в восстановлении изображения при условии, что сигнальная составляющая формируется линейным устройством с передаточной функцией так, чтобы для характеристики восстанавливающего фильтра вместо спектральной плотности мощности сигнальной составляющей подставлялось её значение на выходе формирователя.

Согласованная фильтрация используется для обеспечения максимального отношения сигнал/шум при несохранении исходного сигнала на выходе такого фильтра. При этом частотная характеристика такого фильтра является комплексно сопряженной по отношению к спектру фильтруемого сигнала.

Линейная гомоморфная фильтрация служит для восстановления изображения и занимает промежуточное положение между винеровским и инверсным фильтром. Обработка изображения с

помощью гомоморфного фильтра визуально даёт лучшие результаты, чем винеровская или инверсная фильтрация.

Эволюционная фильтрация – служит для обработки изображения с управляемой частотной характеристикой. Простейшим эволюционным фильтром является фильтр, полученный с использованием регуляризации по [А.Н. Тихонову](#).

Линейная фильтрация в пространственной области. Этот вид фильтрации заключается в вычислении линейной комбинации значений яркости элементов изображения в фильтрующем окне с коэффициентами матрицы весов фильтра, называемыми маской или ядром линейного фильтра. В настоящее время при обработке изображений широкое распространение получили два вида линейной фильтрации – скользящее среднее в окне и гауссовская фильтрация.

Скользящее среднее в окне – простейший вид линейной оконной фильтрации в пространственной области. Результатом такой фильтрации является значение математического ожидания, вычисленное по всем элементам в окне. Математически это эквивалентно свертке с однородной маской. Размеры окна влияют на результаты фильтрации.



Так, фильтр со средними размерами окна обладает меньшей способностью к подавлению шумовой компоненты по сравнению с медианным фильтром. С увеличением размера окна растёт способность медианного фильтра подавлять шумовую компоненту. Однако при этом нарастает и эффект расфокусировки изображения вследствие размытия краев объекта наблюдения.

Гауссовская фильтрация – по сравнению с вырожденным случаем линейной фильтрации с однородной маской – предлагает процедуру введения весовой матрицы во взвешенных процентильных фильтрах. Повышения устойчивости результатов такой фильтрации на краях областей добиваются при условии придания более близким точкам окрестности большего влияния на окончательный результат, чем дальним. Посредством использования дискретных приближений двухмерной гауссовской функции в гауссовском фильтре можно получить гауссовские ядра большего размера.

При обработке изображений следует обратить внимание на то, что сглаживающие, или фильтрующие, маски линейных фильтров должны иметь сумму всех элементов, равную 1. Данное условие нормировки гарантирует адекватный отклик фильтра на постоянный сигнал, т.е. постоянное изображение [[1, с. 184–187](#)].

Для реализации этой задачи исследования изображения в среде визуального программирования **LabVIEW** с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений **IMAQ Vision** существуют следующие функции **IMAQ**:

- **Convolute** – осуществляет свёртку изображения в пространственной области с произвольно заданной маской;
- **LowPass** – реализует сглаживающий фильтр в пространственной области.

Использование Фурье-образа изображения для выполнения операций фильтрации обусловлено, прежде всего, более высокой производительностью таких операций. Как правило, выполнение прямого и обратного двухмерного преобразования и умножение на коэффициенты Фурье-образа фильтра занимает меньше времени, чем выполнение двухмерной свёртки исходного изображения.

Алгоритмы фильтрации в частотной области основываются на теореме о свёртке. В двухмерном случае преобразование свёртки выглядит следующим образом:

$$G(u, v) = H(u, v) F(u, v), (5.4)$$

где G – Фурье-образ результата свёртки; H – Фурье-образ фильтра; F – Фурье-образ исходного изображения.

Для выполнения свёртки необходимо выполнить следующие действия:

- Элементы исходного изображения умножить на величину $(-1)^{m+n}$ для центрирования Фурье-образа.
- Вычислить Фурье-образ исходного изображения, используя быстрое преобразование Фурье.
- Перемножить Фурье-образ исходного изображения с Фурье-образом фильтра.
- Вычислить обратное преобразование Фурье.
- Умножить вещественную часть обратного преобразования на величину $(-1)^{m+n}$.

Как правило, фильтры описываются вещественными функциями, в этом случае каждый компонент Фурье-образа фильтра умножается на соответствующие элементы действительной и мнимой части Фурье-образа изображения. В том случае, если исходная функция $f(x, y)$ и Фурье-образ фильтра не являются комплексными, результат свёртки $G(x, y)$ также должен быть вещественной функцией. Однако на практике обратное преобразование содержит паразитную мнимую составляющую, которую надо отбросить.

Применение частотных методов обработки изображений наиболее целесообразно в случае, когда известны статистическая модель шумового процесса и оптическая передаточная функция канала передачи изображения. К достоинствам методов линейной фильтрации следует также отнести их ясный физический смысл и простоту анализа результатов. Однако при резком ухудшении соотношения сигнал/шум при возможных вариантах площадного зашумления и наличии высокоамплитудного импульсного шума линейные методы предварительной обработки могут оказаться недостаточными. В этой ситуации значительно более мощными оказываются нелинейные методы [1, с. 199–204].

Для фильтрации изображений в частотной области в среде визуального программирования **LabVIEW** с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений **IMAQ Vision** существует следующая палитра функций **IMAQ – Frequency Domain**, необходимая для работы с изображениями:

- **FFT** – необходима для вычисления быстрого преобразования Фурье, с функцией **ImageToComplexPlane**, предварительно преобразующей исходное изображение в комплексную форму;
- **InverseFFT** – обеспечивает обратное преобразование Фурье и позволяет восстановить исходное изображение по его Фурье-образу;
- **ComplexAttenuate** – реализует частотный фильтр и для обратного преобразования комплексного изображения в действительное используется функция – **ComplexPlaneToImage** ;
- **ComplexConjugate** – позволяет построить изображение, комплексно-сопряженное заданному;
- **ComplexFlipFrequency** – предназначена для транспонирования частотных компонентов комплексно сопряженного изображения;
- **ComplexTruncate** - позволяет удалять (вырезать) из спектра изображения заданный диапазон частот.

Следует отметить, что в **LabVIEW** с комплексными изображениями можно производить такие же арифметические операции, как и с действительными. Для этого используются следующие функции **IMAQ: ComplexAdd, ComplexSubtract, ComplexMultiply, ComplexDivide**. При работе в комплексной области используются служебные функции, преобразующие комплексное изображение в массив – **ComplexImageTo Array** и **ComplexPlaneTo Array**, и из массива в изображение – **ArrayToComplexImage** и **ArrayToComplexPlane** [1, с. 215, 216].

5.2.3. Преобразование полутоновых изображений

Выделение контуров на полутоновых изображениях является достаточно распространенной операцией в системах технического зрения. В настоящее время существует большое число методов её реализации. Из них наибольшее распространение получили градиентные методы. Эти методы являются быстродействующими и достаточно эффективными при выделении контуров на высококонтрастных изображениях. Они основаны на процедурах пространственного дифференцирования посредством использования различных дифференциальных операторов. Общая схема алгоритмов пространственного дифференцирования состоит в вычислении градиента функции яркости в некоторой точке изображения и далее в пороговой обработке получившихся значений.

Рассмотрим задачу выделения краев на изображении. Пусть полутоновое изображение представляет собой двумерную функцию яркости $f(x, y)$. В этом случае следует рассматривать две модели края – ступенька и излом. Край изображения в виде ступеньки предполагает скачкообразное изменение яркости вдоль некоторого контура. Точки контура являются, таким образом, точками разрыва для функции $f(x, y)$. Край изображения в виде излома – представляет совокупность точек разрыва первой производной функции $f(x, y)$.

Если считать, что функция яркости непрерывна и два раза непрерывно дифференцируема во всех своих точках, то ступенчатым краевым точкам соответствуют точки смены знака второй производной, а изломным краевым точкам – точки смены знака первой производной, т.е. локальные максимумы яркостной функции.

При поиске производных необходимо иметь в виду два существенных замечания.

Во-первых – говоря о взятии производных двумерной функции, мы говорим о целой совокупности разнообразных операторов. Под первой производной может пониматься как вектор-

градиент, характеризуемый амплитудой и направлением, так и различные производные по направлению, определяемые только одним значением. Под второй производной также могут подразумеваться различные двумерные дифференциальные операторы.

Во-вторых – задача вычисления производных на дискретном зашумленном изображении является, вообще говоря, некорректной. Как показано в работах школы академика *А.Н. Тихонова*, эту задачу можно сделать корректной при помощи регуляризации, т.е. путем наложения на функцию $f(x, y)$ и её производные дополнительных условий. В практическом плане это означает, что прежде чем взять производную, изображение необходимо отфильтровать тем или иным способом.

Наиболее простым методом выделения края, не основанным на дифференцировании, является метод сенсорных пар. Суть этого метода обнаружения ступенчатого края состоит в непосредственной оценке величины перепада яркости для кусочно-постоянной модели изображения. Для этого в каждой точке изображения рассматриваются пары прилегающих сенсорных полей прямоугольной формы, граница между которыми проходит через исследуемый элемент изображения.

В этом случае оцениваются средние значения яркости для каждого сенсорного поля отдельно, и модуль разности между ними характеризует интенсивность перепада яркости в данной точке в направлении, перпендикулярном границе сенсорных полей. На области постоянной яркости будет зафиксирован нулевой перепад, а в точках контура – максимальный, если ориентация сенсорной пары соответствует ориентации контура в этих точках.

Оператор сенсорная пара, вычисляющий в каждой точке перепад яркости для конкретной ориентации сенсорных полей, не является инвариантным к повороту. Поэтому на практике всегда используется набор из нескольких различным образом ориентированных сенсорных пар, как правило шести.

После обработки изображения полным набором сенсорных пар каждая точка характеризуется ориентацией сенсорной пары, для которой было вычислено максимальное значение перепада яркости, и величиной этого максимального перепада. Таким образом, применение набора сенсорных пар даёт результат, аналогичный градиенту, в форме угол-амплитуда, причём ориентация определяется достаточно грубо, выбором одного из нескольких фиксированных направлений.

Из методов обнаружения края при помощи различных дифференциальных операторов на сегодняшний день наиболее широко используются следующие операторы: Робертса, Собела, Лапласа, Марра, Кани, Кирша, Превитта и др.

и непосредственно вычисляют значения компонент вектора-градиента для каждого элемента изображения путем свёртки локальной окрестности точки с малоразмерными масками:

- для оператора *Робертса*

$$M_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{vmatrix}, \quad M_2 = \begin{vmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} \quad (5.5)$$

- и
- для оператора *Собела*

$$M_x = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{vmatrix}, \quad M_y = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix} \quad (5.6)$$



Практические исследования показывают, что оператор Робертса не является в достаточной мере помехозащищенным, оператор же Собела обеспечивает вполне удовлетворительные результаты при обработке реальных изображений.

Сравнивая два метода обработки изображения – оператор Собела и метод сенсорных пар, можно сказать, что более эффективным в вычислительном плане и обеспечивающим большую точность является первый метод, поскольку он действительно инвариантен к поворотам изображения.

Операторы Лапласа и Марра – при выделении краёв на изображении основаны на вычислении симметричных круговых производных.

Простейшим из них является оператор **Лапласа** (лапласиан) 3×3 , имеющий маску следующего вида:

$$\begin{matrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{matrix} \quad (5.7)$$

Эту маску можно интерпретировать как сумму разностей центрального элемента с каждым из его 8 ближайших соседей. Таким образом, в равной степени учитываются возможные перепады яркости во всех направлениях.

Оператор **Марра** предназначен для выделения краёв ступенчатого типа. Он основан на поиске точек пересечения нуля второй пространственной производной $f(x, y)$. Для этого используется оператор **Лапласа** ∇^2 , где ∇ – оператор **Гамильтона** $(\partial/\partial x, \partial/\partial y)$, примененный после сглаживания изображения гауссовским линейным фильтром с симметричной маской $G(\sigma, x, y)$, или непосредственно осуществляется свёртка с маской $C^2G(\sigma, x, y)$. Этот фильтр известен также как РГР-фильтр, т.е. фильтр с разностью гауссовских распределений.

Оператор является инвариантным к повороту, если носителем его маски является круговая область. Этот оператор не вычисляет в явном виде направления нормали к контуру. В то же время для определения множества контурных точек нет необходимости вводить искусственный порог по модулю градиента, как в градиентных методах, они определяются непосредственно как точки пересечения нулевого уровня на отфильтрованном изображении. Еще одним удобным свойством оператора является то, что получающиеся контуры не имеют разрывов.

В этом операторе возможна масштабная настройка алгоритма путём выбора значения параметра σ , так, по мере увеличения значения этого параметра оператор **Марра** выделяет всё более и более крупные элементы изображения. При этом формируемые данным оператором контуры продолжают сохранять характерную замкнутую форму [1, с. 216–222]. При выделении контуров в

полутонных изображениях в среде визуального программирования LabVIEW с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений IMAQ Vision осуществляются следующие функции IMAQ:

- EdgeDetection – необходима для выделения или подчеркивания края объекта в изображении;
- Convolute *Оператор Лапласа* – обеспечивает выделение краёв вне зависимости от направления с маской *Predifined kernel* на основе оператора Лапласа;
- Convolute *Оператор Собела* – обеспечивает выделение краёв на основе оператора Собела;
- CannyDetection – реализует выделение контуров на основе оператора Кани.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Что называют профилем и проекцией изображения?
2. В чём смысл гистограммной обработки изображений?
3. Какими видами функций описываются яркостные преобразования изображения?
4. Чем определяется процесс распознавания изображений?
5. Что такое яркостная нормализация и для чего она используется?
6. Как осуществляется бинаризация изображения и что подразумевается в алгоритмах адаптивной бинаризации, использующей локальную или глобальную гистограмму изображения?
7. Что подразумевается под понятием трёхмерного цветового пространства и какие цветовые модели используются в системах обработки изображений?
8. В чём заключается сущность фильтрации изображений?
9. Какие методы линейной фильтрации используются при обработке изображений и какие из них и в каких случаях более целесообразно использовать?
10. Что представляет собой оконная фильтрация и для каких целей она используется?
11. Как осуществляется выделение краёв и контуров объектов наблюдения?
12. Чем отличается линейная фильтрация в пространственной области от линейной фильтрации в частотной области?
13. Что такое выделение контуров в изображении и для каких целей оно используется?
14. Какие из дифференциальных операторов в настоящее время нашли более широкое распространение и в каких случаях их целесообразно использовать?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржин А.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.
2. Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
3. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/1.htm>
2. <http://www.ipsi.smr.ru/institute/structure/lmmoi/lmmoi.shtml>
3. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/68.htm>

Глава 6. ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

- **6.1. МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ**
 - 6.1.1. Статистические методы распознавания
 - 6.1.2. Критерии обнаружения и распознавания объектов
- **6.2. ВЫДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ СВЯЗАННЫХ ОБЛАСТЕЙ**
 - 6.2.1. Выделение связанных областей на бинарных изображениях
 - 6.2.2. Методы сегментации полутоновых изображений
- **6.3. КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**
 -  Литературные источники
 -  Ссылки на Интернет-ресурсы

6.1. МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Процесс распознавания и обнаружения объекта исследования на изображении – это процесс принятия решения о принадлежности распознаваемого объекта и отнесение его к конкретному классу по имеющейся информации и выделенной совокупности значений признаков к области, характеризующей одно из состояний источников информации [1, с. 12]. Признаки объектов исследования являются основой сообщений, несущих полезную информацию. Они могут быть как простыми, так и сложными.

К первым признакам относятся такие характеристики информационного сигнала, как – амплитуда, фаза, интенсивность излучения отдельного элемента изображения и др. К сложным признакам относятся – контур изображения, значения критериальных функций, используемых в корреляционно-экстремальных системах, и т.д.

В зависимости от решаемых задач различные признаки могут содержать различные объёмы полезной информации. Признаки могут быть как детерминированными, так и вероятностными. К детерминированным признакам относятся признаки, принимающие конкретные числовые значения. Вероятностные признаки рассматриваются как случайные величины и их конкретные значения определяются в результате проведения соответствующих статистических оценок. Существуют также логические признаки, которые являются элементарными оценками с двумя значениями истинности, характеризующие особенности распознаваемых объектов.

Для идентификации связанных областей на исследуемом изображении с конкретным объектом требуется использование различных признаков. Выбор наиболее информативных и физически доступных признаков в процессе обнаружения и распознавания объектов на изображении

составляет основную сложность при реализации процессов измерения в условиях воздействия шумов.

В общем случае при принятии решений необходимо рассматривать набор или вектор признаков, образующих пространство признаков. Это пространство разделяется на области, каждая из которых соответствует значениям признаков конкретно класса объектов. Таким образом, при получении значений признаков исследуемого объекта необходимо определить, к какой области они относятся, а также затем принимается решение о принадлежности наблюдаемого объекта к определенному классу. В связи с этим для реализации процесса распознавания решается следующий ряд задач:

Задача 1 – определение перечня признаков, характеризующих распознаваемые объекты или физические явления. В этом случае за основу принимаются вероятностные признаки, которые рассматриваются как случайные величины, и их конкретные значения определяются в результате проведения соответствующих оценок.

Задача 2 – выбор соответствующего принципа классификации объектов. При этом необходимо сформировать априорный алфавит классов объектов, определяющий рабочий алфавит.

Задача 3 – формирование словаря признаков или признакового пространства, необходимого для описания соответствующих классов объектов на языке этих признаков.

Задача 4 – описание всех классов объектов на языке признаков. В зависимости от объёма априорной информации это описание реализуется:

- – без обучения системы распознавания;
- – с обучением системы распознавания;
- – с самообучением системы распознавания.

В частном случае, с описаниями классов объектов в пространстве признаков при распознавании объектов могут быть эталонные изображения.

Задача 5 – разбиение априорного пространства признаков на области, соответствующие априорному алфавиту классов. В некоторых случаях разбиение пространства признаков на области должно происходить адаптивно в зависимости от конкретных условий наблюдения объектов.



Задача 6 – выбор алгоритмов распознавания, позволяющих отнести распознаваемый объект к соответствующему классу.

Необходимо отметить, что кроме указанных задач при разработке системы распознавания решаются и другие задачи, например, связанные с выбором оптимальной структуры системы распознавания [2, с. 67, 68].

6.1.1. Статистические методы распознавания

Для многих задач, решаемых системами технического зрения, в сложных и изменяемых условиях наблюдения, приходится использовать вероятностные признаки. В связи с этим статистический подход к решению таких задач распознавания наиболее целесообразен.

Рассмотрим статистический метод распознавания для некоторых объектов, обозначенных x_m , являющихся источниками появления признака, принимающего различные значения Y , связь между которыми характеризуется условной плотностью распределения вероятностей $p(Y|x_1)$, представленной на [рис. 6.1](#) [[2, с. 69](#)].

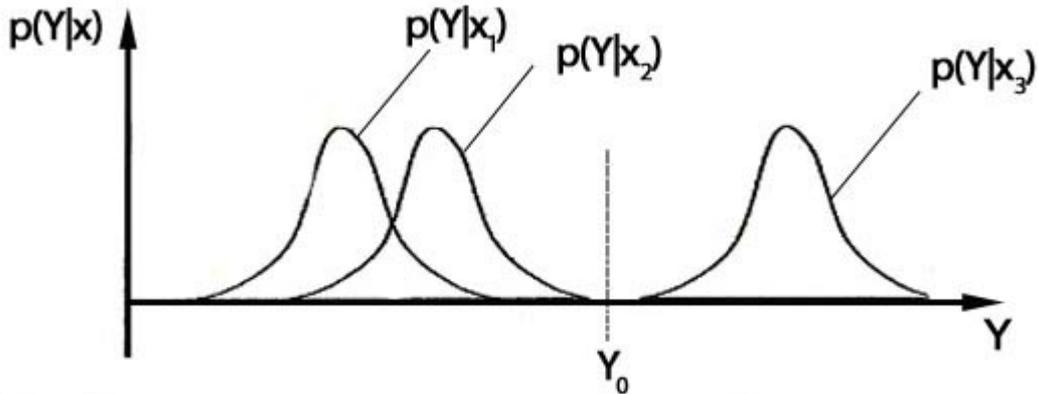


Рис. 6.1. Условные плотности вероятностей для различных объектов $p(Y|x_1)$ – плотность распределения значений признака, источником которой является объект 1;
 $p(Y|x_2)$ и $p(Y|x_3)$ – соответственно объекты 2 и 3

Из [рис. 6.1](#) видно, что если получено значение признака $Y > Y_0$, то источником является объект 3, а при значениях $Y < Y_0$ – объекты 1 или 2. В том случае, если условные плотности распределения вероятностей $p(Y|x_m)$ в пространстве признаков для различных объектов x_m не пересекаются, то возможно безошибочное распознавание, т.е. вероятность правильного распознавания $p(x_m|Y_m)$ равна единице, а вероятность ошибочного решения $P_{m0} = 1 - p(x_m|Y_m)$ равна нулю.

В случае тождественно равных условных распределений вероятностей, т.е. когда имеем полное совпадение распределений для различных объектов x_m , распознавание этих объектов для выбранного пространства признаков невозможно. В том же случае, когда условные распределения вероятностей пересекаются, но не являются тождественными, возможно распознавание этих объектов.

В этом случае наиболее эффективными **статистические методы** являются распознавания. Эти методы могут быть реализованы, если известен вид плотностей распределения $p(Y|x_m)$. Распознавание объектов в этих методах основано на вычислении апостериорной вероятности по формуле [Байеса](#), имеющей вид

$$P(x_m|Y_m) = \frac{P(x_m) p(Y_n|x_m)}{\sum_{i=1}^M P(x_i) p(Y_n|x_i)}, \quad (6.1)$$

где $p(x_m | Y_n)$ – апостериальная вероятность наблюдения объекта, при условии получения признака Y_n ; $P(x_m)$ – априорная вероятность наблюдения объекта x_m ; $p(Y_n | x_m)$ – условная плотность распределения вероятности получения признака Y_n при условии, что источником информации является объект x_m , а $m, n, i = 1, 2, \dots, M$ – индексы классов объектов.

Наиболее важной характеристикой эффективности реализуемого процесса является ошибка распознавания, или точность отнесения объекта к соответствующему классу. Средняя вероятность ошибки для всех возможных реализаций вычисляется по выражению

$$P_0 = \sum_{m=1}^M P(x_m) [1 - P(x_m | Y_m)] = 1 - \sum_{m=1}^M P(x_m) P(x_m | Y_m) =$$

$$= 1 - \sum_{m=1}^M \left[P(x_m) \int_{Y_m} p(Y | x_m) dY \right], \quad (6.2)$$

где Y_m – область признакового пространства, соответствующего m -му объекту.

При неравноценности влияния ошибок распознавания на эффективность решаемых **СТЗ** задач вводится понятие частных условных потерь. Потери правильных и ошибочных решений обычно представляются в виде элементов матрицы вида

$$R = \begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & \dots & R_{1m} \\ R_{21} & R_{22} & \dots & R_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{m1} & R_{m2} & \dots & R_{mm} \end{vmatrix}. \quad (6.3)$$

Элементы главной диагонали матрицы соответствуют потерям распознавания, получаемым при правильных решениях. Остальные элементы определяют потери при ошибочных решениях.

Если объект распознан как x_m , то общие условные потери вычисляются по выражению

$$R_m = \sum_{n=1}^M P(x_n | Y_m) R_{mn} \quad \text{при} \quad n \neq m, \quad (6.4)$$

а средние потери распознавания будут определяться из следующего соотношения:

$$R = \sum_{n=1}^M P(Y_n) \sum_{m=1}^M P(x_n | Y_m) R_{mn} =$$

$$= \sum_{n=1}^M P(x_m) \sum_{m=1}^M R_{mn} \int_{Y_n} p(Y | x_m) dY \quad \text{при} \quad n \neq m. \quad (6.5)$$

Для определения решающих границ удобно использовать коэффициент правдоподобия или отношение правдоподобия

$$\lambda = \frac{p(Y|x_m)}{p(Y|x_n)}, \quad (6.6)$$

а пороговое отношение правдоподобия как

$$\lambda_0 = \frac{p(Y_0|x_m)}{p(Y_0|x_n)} = P(x_m) \frac{R_{mn} - R_{mm}}{p(x_n)(R_{nm} - R_{nn})}, \quad (6.7)$$

соответствующее минимальному риску R.

В частности, при нормальном распределении значений признаков, с математическими ожиданиями – m_1 , m_2 и среднеквадратическими отклонениями – σ_1 , σ_2 , для объектов с индексами 1, 2 пороговое значение, обеспечивающее минимальные потери, вычисляется по формуле

$$Y_0 = \frac{\sigma_2^2 m_2 - \sigma_1^2 m_1 \pm \sigma_1 \sigma_2 \left[(m_1 - m_2)^2 + (\sigma_2^2 - \sigma_1^2)^2 \ln \lambda_0^2 \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2} \right]^{1/2}}{\sigma_2^2 m_2 - \sigma_1^2}. \quad (6.8)$$

В случае если $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$, пороговое значение вычисляется по формуле

$$Y_0 = \frac{m_1 - m_2}{2} + \left[\frac{\sigma^2}{m_1 - m_2} \right] \ln \lambda_0, \quad (6.9)$$

а при $R_{12} = R_{21}$, $R_{11} = R_{21} = 0$ и $P(x_1) = P(x_2)$ получим, что $Y_0 = \frac{m_1 + m_2}{2}$ [2, с. 68–71].

6.1.2. Критерии обнаружения и распознавания объектов

В связи с тем что процесс обнаружения является частным случаем процесса распознавания, принимаемое решение может быть только двух видов – объект обнаружен либо не обнаружен. Источником информации для принятия такого решения могут быть также два состояния – объект присутствует на исследуемом изображении с вероятностью $P(x_1)$ или он отсутствует с вероятностью $P(x_2)$. В этом случае возможные ошибки обнаружения связаны:

- с необнаружением присутствующего объекта;
- с принятием решения об его обнаружении при его фактическом отсутствии.

Наличие двух исходов позволяет упростить процедуру принятия решения по сравнению с многоальтернативным вариантом распознавания.

Для обнаружения объекта пространство признаков Y делится на две области Y_1 и Y_2 , соответствующие присутствию объекта x_1 или отсутствию объекта x_2 в области поиска. В этом

случае принятие решения осуществляется на основании определения области, к которой относятся признаки объекта. Статистическая связь между полученными значениями признаков в пространстве состояний Y и состояниями объектов x_1 и x_2 определяется условными плотностями распределения вероятностей $p(Y|x_m)$, в общем случае – многомерными. Таким образом, значения параметров решающей поверхности являются определяющими для принятия обоснованного решения.

В зависимости от конкретных условий решения задачи обнаружения могут использоваться различные критерии обнаружения. При заранее известных распределениях вероятностей можно реализовать методы параметрического распознавания образа. Рассмотрим эти критерии распознавания для двух классов объектов 1 и 2.

Критерий минимального риска Байеса

Так, при использовании критерия минимального риска **Байеса** потери от ошибок обнаружения оказываются минимальными, но при условии, что этот критерий требует максимальной априорной информации:

- распределений условных плотностей вероятностей $p(Y|x_1)$, $p(Y|x_2)$;
- условных потерь R_{21}, R_{12} – обычно их значения приравниваются к нулю;
- априорных вероятностей состояний $P(x_1), P(x_2)$ – вероятностей присутствия искомого объекта.

В этом случае минимизируемый средний риск обнаружения вычисляется по формуле

$$\begin{aligned}
 R &= \sum_{n=1}^M P(x_n) \sum_{m=1}^M R_{mn} \int_{Y_n} p(Y|x_m) dY = \\
 &= R_{12} \left[P(x_2) - \int_{Y_2} p(Y|x_2) \right] + R_{21} \int_{Y_2} P(x_1) p(Y|x_1) dY = \quad (6.10) \\
 &= R_{12} P(x_2) - \int_{Y_2} \left[R_{21} P(x_1) p(Y|x_1) - R_{12} \int_{Y_2} P(x_2) p(Y|x_2) \right] dY.
 \end{aligned}$$

При этом риск будет минимальным в том случае, если для всего пространства признаков Y выполняется условие

$$R_{21} P(x_1) p(Y|x_1) - R_{12} P(x_2) p(Y|x_2) \leq 0. \quad (6.11)$$

Соответственно, при интегрировании области Y_1 получим условие вида

$$R_{12} P(x_2) p(Y|x_2) - R_{21} P(x_1) p(Y|x_1) \geq 0. \quad (6.12)$$

В этом случае уравнение решающей поверхности должно удовлетворять следующему условию:

$$R_{12} P(x_2) p(Y|x_2) - R_{21} P(x_1) p(Y|x_1) = 0, \quad (6.13)$$

а пороговое значение коэффициента правдоподобия определяется по выражению

$$\lambda_0 = \frac{R_{21}P(x_1)}{R_{12}P(x_2)} = \frac{p(Y|x_2)}{p(Y|x_1)}. \quad (6.14)$$

Процедура распознавания по критерию минимального риска **Байеса** состоит в следующем:

по полученному пространству признаков Y определяются значения плотностей вероятностей $p(Y|x_1)$ и $p(Y|x_2)$;

по найденным значениям плотностей вероятностей находится коэффициент правдоподобия

$$\lambda = \frac{p(Y|x_2)}{p(Y|x_1)};$$

осуществляется сравнение полученного значения λ с пороговой величиной, вычисленной по

выражению
$$\lambda_0 = \frac{R_{21}P(x_1)}{R_{12}P(x_2)};$$

принимается решение – если $\lambda > \lambda_0$, то распознаваемый объект относится к классу 2, а в противном случае – к классу 1.

Критерий идеального наблюдателя Зигерта – Котельникова

Критерий **Зигерта – Котельникова** основан на том, что если трудно назначить значения потерь, то можно принять их равными, т.е. $R_{12} = R_{21}$. Тогда средний риск обнаружения согласно выражению () будет определен по формуле

$$R = R_{12} \left[P(x_2) \int_{Y_2} p(Y|x_1) dY \right] + P(x_2) \int_{Y_1} p(Y|x_2) dY, \quad (6.15)$$

а пороговое значение будет вычислено как $\lambda_0 = \frac{P(x_1)}{P(x_2)}$.

В этом случае для значений $\lambda > \lambda_0$ искомый объект принадлежит классу 2. Следовательно, в данном критерии решающее устройство выбирает гипотезу, соответствующую максимальной апостериорной вероятности.

Критерий максимального правдоподобия Фишера

Критерий **Фишера** используется для случая, когда априорные вероятности присутствия объектов на изображении $P(x_1)$ и $P(x_2)$ неизвестны и $R_{12} = R_{21}$. В этом случае принимается условие $P(x_1) = P(x_2)$ и $\lambda_0 = 1$. Следовательно, решающее правило определяет, что объект относится к классу x_1 при значении $\lambda > 1$.

Минимаксный критерий

Данный критерий по сравнению с критерием Фишера более тонкий, поскольку при его реализации процесс обнаружения на первом этапе, для фиксированных значений коэффициента правдоподобия λ^* , определяется наихудшие распределения $P(x_1)$, при котором средний риск максимален, а затем среди этих распределений ищется пороговое значение λ_0 , минимизирующее риск:

$$R_0 = \min_{\lambda^*} \max_{P(x_1)} R[\lambda, P(x_1)] = R_0[\lambda_0, P_0(x_1)]. \quad (6.16)$$

Критерий Неймана – Пирсона

Критерий **Неймана – Пирсона** используется для случая, когда одна из ошибок обнаружения приводит к существенным потерям.

Вероятность ошибки в этом критерии связана с принятием решения о присутствии объекта в изображении при его фактическом отсутствии. Эта ошибка называется вероятностью ошибки первого рода или вероятностью ложной тревоги и обозначается α , а вероятность ошибки пропуска объекта, т.е. необнаружение фактически присутствующего объекта в изображении, называется ошибкой второго рода и обозначается β .

В соответствии с рассматриваемым критерием требования к процессу обнаружения имеют вид – $\sin\alpha$ (или $\sin\beta$), для значений $\beta \leq \beta_0$ (или $\alpha \leq \alpha_0$), где α_0, β_0 – заданные предельно допустимые значения ошибок.

Пороговое значение λ_0 в этом случае находится из выражений:

$$\alpha_0 = \int_{\lambda_0}^{\infty} p(\lambda | x_1) d\lambda \quad \text{или} \quad \beta_0 = \int_{-\infty}^{\lambda_0} p(\lambda | x_2) d\lambda. \quad (6.17)$$

Критерий минимальной длительности эксперимента Вальда

В критерии **Вальда** для обеспечения заданных ограничений значений ошибок необходимо соответствующее увеличение размерности вектора Y или увеличение принимаемых отсчетов наблюдения. Вальдом была предложена процедура, обеспечивающая минимальное среднее количество отсчетов m для достижения заданной вероятности правильного обнаружения. Данный метод получил название последовательного анализа.

В нём вся ось Λ делится на три области:

- Λ_1 – область, включающая все значения $\lambda \leq \lambda_1$;
- Λ_2 – область, включающая все значения $\lambda \geq \lambda_2$;
- Λ_0 – область, включающая все значения $\lambda_1 > \lambda < \lambda_2$.

Причем области Λ_1, Λ_2 являются областями принятия решений, область Λ_0 – область неопределенности. В связи с этим на каждом i -м шаге обработки принятой информации (отсчётов) вычисляется отношение правдоподобия

$$\lambda_i = \frac{p(Y_i | x_2)}{p(Y_i | x_1)}. \quad (6.18)$$

Вычислив значение λ_i , принимается решение, и если оно попадает в область Λ_0 , то проводится следующий $(i + 1)$ -й отсчёт, в противном случае принимается решение. Данная процедура считается законченной и приводит к минимальной средней длительности эксперимента, при условии выбора пороговых значений в соответствии с отношениями

$$\lambda_1 = \frac{1 - \beta}{\alpha}, \quad \lambda_2 = \frac{\beta}{1 - \alpha}. \quad (6.19)$$

В этом случае математическое ожидание количества отсчётов определяется выражением

$$M[m] = \frac{\alpha \ln(\lambda_1) + (1 - \beta) \lambda_2}{M[Y]}. \quad (6.20)$$

Критерий минимального риска

Этот критерий применяется при решении задач распознавания, когда количество объектов больше двух ($M > 2$). В соответствии с данным критерием альтернативные гипотезы принятия решений сравниваются по априорным значениям потерь, т.е.

$$\sum_{k=1}^M \frac{(R_{jk} - R_{ik}) P(x_k) p(Y|x_k)}{P(x_m) p(Y|x_m)}. \quad (6.21)$$

Критерий идеального наблюдателя

Критерий идеального наблюдателя основан на выборе гипотезы, соответствующей максимальной апостериорной вероятности $P(x_m|Y)$. При этом принимается условие равенства всех потерь в случае ошибок распознавания ($R_{ij} = 0$).

Критерий заданного превышения

Этот критерий основан на том, что в случае если апостериорные вероятности некоторых гипотез близки к максимальному значению и критерий идеального наблюдателя приводит к большому количеству ошибочных решений, то решение о состоянии объектов x_m принимается при выполнении условия

$$P(x_m|Y) > CP(x_i|Y), \quad (6.22)$$

где C – заданный коэффициент превышения, $P(x_i|Y)$ – ближайшая максимальная вероятность.

В случае невыполнения данного условия процесс распознавания необходимо продолжить.

Критерий суммарного превышения

Сущность этого метода заключается в том, что для случая, когда определение значения коэффициента превышения C затруднено, решение может быть принято на основании проверки дополнительного условия вида

$$P(x_i|Y) > [1 - p(x_i|Y)]. \quad (6.23)$$

Как и в предыдущем критерии, при невыполнении данного условия процесс распознавания продолжается [2, с. 71–77].

Всё многообразие рассмотренных выше критериев показывает, что для применения одного из них или целой группы при распознавании объектов необходимо в каждом конкретном случае исходить из поставленной перед системой технического зрения задачи, не отдавая предпочтение какому-либо одному критерию.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. В чём заключается сущность статистических методов распознавания?
2. Какие критерии обнаружения и распознавания используются в системах технического зрения?
3. В чём заключаются преимущества и недостатки различных критериев обнаружения и распознавания?
4. Какие виды соседства элементов изображения используются при анализе этого изображения?
5. В чём заключается сущность метода ?
6. Какие методы сегментации полутоновых изображений используются в системах технического зрения?
7. Что положено в основу корреляционного алгоритма обработки изображений?
8. В чём заключается сущность морфологического метода анализа изображений?
9. Чем отличается нормированная взаимная корреляционная функция от коэффициента морфологической корреляции и какова их геометрическая интерпретация?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дуда Р., Харп П. Распознавание образа и анализа сцен. – М.: Мир, 1976. – 511 с.
2. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.
3. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н. и Моржин А.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/2.htm>
2. <http://articles.security-bridge.com/articles/80/11521/>
3. http://www.keldysh.ru/papers/2003/prep46/prep2003_46.html
4. <http://prodav.exponenta.ru/dsp/index.html>

Глава 6. ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

6.2. ВЫДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ СВЯЗАННЫХ ОБЛАСТЕЙ

Рассмотрим системы признаков, используемых для описания областей изображения и методы выделения связных областей для бинарных и полутоновых изображений.

Каждый элемент изображения с координатами (x, y) имеет, как известно, восемь соседних с ним элементов, т.е. примыкающих к нему ближайших элементов, в совокупности представляющих прямоугольную окрестность 3×3 элемента. При этом четыре элемента, соседние по горизонтали и вертикали изображения, являются более близкими соседями и находятся от центрального элемента на расстоянии равном -1 . Остальные четыре элемента, соседствующие по диагонали, являются менее близкими соседями и находятся от центрального элемента на расстоянии $-\sqrt{2}$. Соответственно при обработке изображений следует рассматривать два вида соседства и соответствующих им два вида связности:

- соседство по кресту – 4-связность;
- соседство по квадрату – 8-связность.

На практике чаще пользуются понятием 8-связности, при котором считается, что на прямоугольной решётке каждая точка изображения имеет восемь соседей. Поэтому связной областью изображения считается такая его область, в которой:

- все точки области имеют одинаковое значение яркости или любого другого рассматриваемого признака;
- между любыми двумя точками, принадлежащими данной области, существует непрерывный путь, состоящий из точек, также принадлежащих данной области и являющихся при этом соседями – 4-связности или 8-связности.

При анализе бинарного изображения первое условие означает, что рассматриваются отдельные связные области, из которых состоит объект или фон. В случае полутоновых изображений следует рассматривать задачу сегментации, в результате которой изображение разбивается на несколько непересекающихся связных областей. В этом случае связность областей понимается в чисто геометрическом – топологическом, а не яркостном смысле.

6.2.1. Выделение связанных областей на бинарных изображениях

При выделении связанных областей на бинарных изображениях в основном используется *метод «Лесной пожар»*. Идея этого метода заключается в том, что область выделения поджигается в одной точке, после чего каждая следующая подожжённая точка, в свою очередь, поджигает всех своих соседей, имеющих ту же яркость, т.е. выжигается вся область. Сгоревшие точки вторично не поджигаются.

Кроме метода “Лесной пожар” на практике используется и **двухпроходной алгоритм выделения связанных областей**. Данный алгоритм предназначен как для выделения 4-связанных, так и 8-связанных областей. Идея этого алгоритма заключается в том, что единицей просмотра изображения является уже не отдельный элемент изображения, как это было в предыдущем методе, а связанный отрезок строки (сегмент).

В этом случае на **первом проходе** по исследуемому изображению вновь обнаруженный связанный сегмент помечается новой оригинальной меткой, если он ни одним своим элементом изображения не касается какого-либо уже помеченного сегмента в предыдущей по ходу анализа строке или меткой той области, которой принадлежит граничащий с ним отрезок предыдущей строки.

Такой алгоритм построчного просмотра изображения обеспечивает существенно более высокое быстродействие по сравнению с описанным выше алгоритмом, однако в процессе разметки сегментов могут возникать так называемые столкновения меток, т.е. коллизии. Это происходит в том случае, если отрезок граничит одновременно с несколькими сегментами предыдущей строки, причем эти сегменты принадлежат разным областям.

Для устранения таких коллизий используется **второй проход** по анализируемому изображению. На этом проходе повторно размечаются те области, для которых на первом проходе были обнаружены коллизии и они заносятся в специальную таблицу эквивалентности пар индексов областей, подлежащих объединению.

6.2.2. Методы сегментации полутоновых изображений

Понятие сегментации изображения подразумевает в широком смысле слова разбиение изображения на семантические области, которые имеют строгую корреляцию с объектами или областями наблюдаемой трёхмерной сцены. В более узком смысле – под сегментацией полутонового изображения понимают задачу разбиения плоскости кадра на ряд связанных непересекающихся областей, каждая из которых обладает некоторой внутренней однородностью того либо иного вида, например, однородной яркостью элементов изображения. Другими словами, под сегментацией изображения понимается процесс разбиения кадра изображения на такую совокупность связанных областей, чтобы для них выполнялись следующие основные условия:

1. Области разбиения целиком покрывают весь кадр изображения.
2. Области разбиения попарно не пересекаются.
3. Каждая область разбиения должна быть однородной областью изображения.
4. Попарное объединение любых двух областей данного разбиения удовлетворяет одному и тому же условию однородности.

На практике в системах технического зрения, при сегментации изображений, используются следующие методы:

- пороговая и мультипороговая сегментация;
- слияния областей;
- разбиения областей;
- слияние – разбиение областей.

Рассмотрим эти методы более подробно.

Пороговая сегментация изображения – осуществляется по уровням яркости – это простейший вид сегментации изображения. В основу этого метода положено то, что многие объекты или области изображения характеризуются постоянным уровнем яркости изображения.

Отличительной чертой пороговой сегментации являются вычислительная эффективность и возможность использования её в системах с реальным масштабом времени.

Успех пороговой сегментации изображения зависит от способа выбора значения порога. В [разделе 5.1.1](#) настоящего учебного пособия были рассмотрены методы адаптивного выбора порога как функции глобальной или локальной гистограммы изображения. Кроме рассмотренных выше методов сегментации существуют и другие виды пороговой сегментации, такие как:

- **диапазонная пороговая сегментация** – определяющая объект или фон по уровню яркости элемента изображения, входящего в заданный диапазон яркостей или не входящего в этот диапазон;
- **мультипороговая сегментация** – используется в том случае, если исходное изображение обладает не бимодальной, а мультимодальной гистограммой, т.е. изображение не является бинарным.

Слияние областей – этот метод фактически определяет некий итеративный алгоритм слияния областей, начинающийся с минимальной области размером в один элемент, которая затем в повторяющихся циклах опроса изображения сливается с соседними областями при выполнении условия, заключающегося в том, что каждая из сливающихся областей разбиения должна иметь одну и ту же однородность изображения. Условием прекращения действия такого алгоритма слияния служит выполнение всех четырех условий приведенных выше. Это означает, что достигнут такой шаг процесса, на котором больше нельзя найти ни одной пары областей, которые можно было бы подвергнуть слиянию.

Этот метод приводит к качественным результатам сегментации. Однако основным его недостатком является то, что такая сегментация, начинающаяся с уровня отдельных элементов изображения, как правило, требует для своего осуществления значительного количества времени. Причём большая часть этого времени тратится именно на начальных этапах работы алгоритма, когда размеры объединяемых областей малы, а количество вариантов объединения велико.

В связи с этим соблазнительной идеей является начинать итеративный процесс анализа списка областей с некоторого обоснованного начального приближения, которое сразу давало бы существенно меньшее количество кандидатов. В качестве такого начального приближения могут выбираться результаты выделения контуров оператором *Марра*, поскольку контуры оператора *Марра* всегда замкнуты, следовательно, как раз задают разбиение кадра на непересекающиеся области. Такая предварительная сегментация не гарантирует, что для всех предварительно выделенных областей будет выполняться условие, что каждая область разбиения должна быть однородной областью изображения, поскольку предварительное выделение областей может происходить по другим критериям. В этом случае неудовлетворительно созданные области могут вновь подвергнуться разбиению. Таким образом, мы приходим к следующему алгоритму сегментации.

Алгоритм 1. Слияние областей:

- Осуществить пресегментацию изображения на стартовые области каким-либо неитеративным методом.
- Определить критерий слияния двух соседних областей.
- Итеративно находить и объединять все пары соседних областей, удовлетворяющие критерию слияния.

- Если на очередном шаге ни одной пары кандидатов на объединение не найдено – остановиться и выйти из алгоритма.

Различные методы слияния отличаются способом начальной сегментации изображения и критериями слияния. Итоговый результат слияния областей, как правило, существенно зависит от порядка опроса изображения.

Разбиение областей – метод сегментации, противоположный слиянию. Разбиение областей начинают с представления всего изображения в виде одной простой области, которая не всегда соответствует условию однородности и в процессе сегментации этой области изображения последовательно расщепляется на более мелкие в соответствии с предварительно заданными условиями однородности.

Методы слияния и разбиения областей далеко не всегда приводят к одним и тем же результатам сегментации, даже если в них используется один и тот же критерий однородности. Поэтому в большинстве случаев используется комбинация методов слияния и разбиения.

Слияния – разбиения областей – в этом методе часто используют пирамидальное представление изображения, разбитое на области-квадранты. При этом элементы квадродерева областей соответствуют уровням пирамиды изображений. Процессы слияния и разбиения областей идут поочередно на каждой итерации. Если какая-либо область на каком-либо пирамидальном уровне неоднородна, она разделяется на четыре подобласти, и, напротив, если на каком-либо уровне пирамиды наблюдаются четыре соседние области с приблизительно одинаковой величиной однородности, то они сливаются в простую область на более высоком уровне пирамиды. Процесс такой сегментации может быть понят как конструирование сегментированного дерева квадрантов, где каждый лист узла представляет собой однородную область. Разделение и слияние соответствует удалению или построению частей сегментируемого дерева квадрантов. Методы слияния – разбиения, как правило, хранят информацию о соседних областях в виде соседствующих графов, т.е. других подобных структур данных.

Описанное дерево сегментации легко реализуемо программно.

Алгоритм 2. Слияние – разбиение.

- Провести начальную сегментацию областей, определить критерий однородности и пирамиду структуры данных.
- Если какая-либо область в пирамиде структуры данных неоднородна, то её делим на четыре дочерние области. Слияние областей осуществляется, если любые четыре области, имеющие одинаковых родителей, могут быть слиты в простую однородную область. Если нет больше областей, которые могли бы быть разделены либо слиты на данном шаге, то переходим к следующему шагу.
- Если имеются какие-либо две соседние области, даже при условии их принадлежности к различным уровням пирамиды или отсутствия одних и тех же родителей, которые могут быть слиты в однородную область, – они объединяются.
- Производим слияние малых областей с самой большой подобной соседней областью, если необходимо, устраняем области с размерами меньше заранее заданных значений.

Следует отметить, что результаты сегментации изображения рассмотренными выше методами, как показывает практика, не всегда совпадают. Поэтому следует очень тщательно подходить к выбору одного из них [3, с. 251–259].

Для выделения и анализа связанных областей в среде визуального программирования *LabVIEW* с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений *IMAQ Vision* существуют следующие функции *IMAQ*:

Выделения областей:

- **Label** – осуществляет разметку связанных областей уникальными идентификаторами для каждой области;
- **Segmentation** – производит определение области фона к каждому из объектов;

Анализ и селекция областей:

- **Count Objects** – определяет количество объектов – связанных областей – на изображении и осуществляет их первичный отбор по нескольким простейшим параметрам;
- **RejectBorder** – удаляет из изображения частицы, соприкасающиеся с его границами;
- **Distance** и **Danielsson** – первая из них определяет любые расстояния на изображении, а вторая расстояние от каждой точки объекта до фона изображения;
- **Particle Filter 2** – выделяет частицы согласно заданным критериям;
- **Particle Analysis** – вычисляет широкий набор параметров объекта.

Сбор статистики по областям:

- **Quantify** – определяет следующие параметры заданной области:
 - среднее значение яркости;
 - дисперсию;
 - информацию о минимальном и максимальном значениях яркости;
 - площадь области в калиброванных единицах;
 - площадь области в элементах изображения;
 - процентное отношение площади области, в которой производились измерения, к общей площади изображения;
- **Centroid** – определяет центр масс заданной области изображения;

Анализ связанных контурных сегментов:

- **GetPointsControur** – определяет количество наблюдаемых сегментов связанных контуров.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. В чём заключается сущность статистических методов распознавания?
2. Какие критерии обнаружения и распознавания используются в системах технического зрения?
3. В чём заключаются преимущества и недостатки различных критериев обнаружения и распознавания?
4. Какие виды соседства элементов изображения используются при анализе этого изображения?

5. В чём заключается сущность метода ?
6. Какие методы сегментации полутоновых изображений используются в системах технического зрения?
7. Что положено в основу корреляционного алгоритма обработки изображений?
8. В чём заключается сущность морфологического метода анализа изображений?
9. Чем отличается нормированная взаимная корреляционная функция от коэффициента морфологической корреляции и какова их геометрическая интерпретация?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дуда Р., Харп П. Распознавание образа и анализа сцен. – М.: Мир, 1976. – 511 с.
2. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.
3. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н. и Моржин А.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. <http://allrefs.ru/prosmotr/9021-2960.htm>
2. <http://www.osp.ru/text/233552/1336950/>
3. <http://www.intuit.ru/department/se/compprog/4/>

Глава 6. ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

6.3. КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В основы этой группы методов положен принцип сравнения исходного исследуемого изображения со сформированным заранее изображением, называемым эталонным или образцовым. Главным преимуществом данной группы методов является их относительно простая реализации, возможность использовать пространственные сигналы, представленные в виде цифровых матриц, что, в свою очередь, позволяет реализовывать алгоритмы с высокой степенью помехозащищенности.

При реализации этих методов возможны начальные геометрические несовпадения исходного и эталонного изображения вследствие рассогласования координат, различного масштаба изображений и др. Эти несовпадения могут быть определены путем оценки максимума корреляционной функции, соответствующей наилучшему совмещению изображений.

Техника сравнения исходного изображения с эталоном основывается на рассмотрении изображений как двумерных функций яркости. При этом измеряется либо расстояние между изображениями, либо мера их близости. Для вычисления расстояний между изображениями используется формула

$$p(f, g) = \left[\sum_{(x,y) \in X} |f(x, y) - g(x, y)|^\alpha \right]^{1/\alpha}, \quad (6.24)$$

где $f(x, y)$, $g(x, y)$ – функции интенсивности X – апертуры зоны поиска;

$\alpha \in [1, \infty]$ – величина определяет характеристики используемой метрики.



Очевидно, что при значении $\alpha = 2$ это выражение описывает обычное евклидово расстояние между изображениями, понимаемыми как векторы, принадлежащие пространству $L_2(x, y)$ на поле зрения X – функций с интегрируемым квадратом.

Пусть дано n эталонных изображений $\{g_i\}$ для значений $i = 1, 2, \dots, n$, каждое из которых соответствует i -му классу. Отнесение вновь предъявляемого фрагмента изображения к некоторому классу может осуществляться по методу минимального расстояния до соответствующего эталона $j = \arg \min_i (p(f, g_i))$.

Этот наиболее простой метод имеет два основных недостатка:

- критерий обнаружения зависит от линейных размеров эталона и исходного изображения;
- критерий обнаружения не инвариантен даже к простейшим фотографическим преобразованиям яркости.

Более приемлемым методом является использование корреляционной метрики, а именно – нормированного коэффициента корреляции:

$$k(f, g) = \frac{\sum_{(x,y) \in X} (f(x, y) - f^0)(g(x, y) - g^0)}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in X} (f(x, y) - f^0)^2} \sqrt{\sum_{(x,y) \in X} (g(x, y) - g^0)^2}}, \quad (6.25)$$

где f^0, g^0 – средние значения интенсивности для исходного и эталонного изображения.

Нормированный коэффициент корреляции обладает следующими хорошо известными свойствами:

$$\begin{aligned} -1 &\leq k(f, g) \leq 1, \forall f, g; \\ (k(f, g) = 1) &\Leftrightarrow (g = af + b; a > 0, \forall b); \\ (k(f, g) = -1) &\Leftrightarrow (g = af + b; a < 0, \forall b). \end{aligned}$$

Последний случай, как правило, называют обратным контрастом.

В этом случае обнаружение фрагмента изображения по методу максимальной корреляционной связи осуществляется по закону $j = \arg \max_i (k(f, g_i))$.

После вычисления значения максимальной корреляции оценивается возможность распознавания объекта – так, при значениях $k(f, g_i) \geq k_{\min}$ обнаружение объекта признается достоверным, в противном случае объект считается нераспознанным. Теоретическим обоснованием применения корреляционного метода обнаружения является его строгая оптимальность для обнаружения детерминированного сигнала в белом шуме с гауссовым распределением яркостей изображения.

Основные недостатки корреляционных методов обнаружения проявляются в присутствии яркостных и особенно геометрических искажений исходного изображения по сравнению с эталонными, образцовыми изображениями. В этих методах также наблюдается уменьшение корреляционной связи при ракурсных искажениях. Особенно критичными являются повороты изображений.

Морфологический, проекционный метод анализа изображений, предложенный [Ю.П. Пытьевым](#), является дальнейшим развитием идей корреляционного метода обнаружения. Суть этого метода заключается в том, что исходное изображение представляется элементами гильбертова пространства изображений $f \in L_2^x$, где x – поле зрения. Тогда можно говорить о норме изображения $\|f\|$ и расстоянии между изображениями, равном $\|f_1 - f_2\|$, где норма понимается как

$$\|f\|^2 = \int_x f^2(x, y) dx dy. \quad (6.26)$$

Для заданного некоторого выпуклого и замкнутого подмножества изображений $Z \in L_2^x$ любому изображению $f \in L_2^x$ может быть поставлено в соответствие такое изображение $f_{\min} \in Z$, что

$$\|f_{\min} - f\| = \min \{\|g - f\|, g \in Z\}. \quad (6.27)$$

Легко убедиться, что такое отображение $\nu(f): f \rightarrow Z$ всегда будет проектором в алгебраическом смысле, что $\nu(\nu(f)) = \nu(f)$. Поэтому можно также обозначить $f_{\min} = \text{Pr}_Z(f)$, т.е. f_{\min} есть проекция f на множество изображений Z .

Используя введенное понятие проекции, можно определить численную меру близости изображения g к множеству изображений Z , а именно $K(g, Z)$ – морфологический коэффициент корреляции, аналогичный обычной корреляционной мере близости двух изображений:

$$K(g, Z) = \|\text{Pr}_Z(g)\| / \|g\|. \quad (6.28)$$

Легко убедиться, что морфологический коэффициент корреляции обладает следующими свойствами:

$$0 \leq K(f, Z) \leq 1, f \in L_2^x, Z \in L_2^x; \\ (K(f, Z) = 1) \Leftrightarrow (f \in Z)$$

Преимущества морфологического коэффициента корреляции связаны с возможностью более полного учёта условий регистрации изображений. Пусть процесс регистрации изображения описывается при помощи некоторого преобразования $t \in T$ эталонного изображения $g(x, y) \in L_2^x$, где T – некоторая группа преобразований. Определим форму изображения g как $Z = \{g^t = t(g), t \in T\}$. Тогда при помощи $K_T(f, g) = K(f, Z)$ можно сравнивать исходное изображение с эталоном инвариантно к любым преобразованиям типа T .

Рассмотрим общую модель яркостных преобразований изображения. Пусть эталонное изображение f является двухмерной функцией интенсивности вида

$$f(x, y) = \sum_i (a_i \times \chi_i(x, y)), X = \cup_i A_i, \quad (6.29)$$

где a_i – уровень яркости i -й области разбиения кадра, χ_i – индикаторная функция этой области разбиения, т.е.

$$\chi_i(x, y) = \begin{cases} 0, & (x, y) \notin A_i \\ 1, & (x, y) \in A_i \end{cases}.$$

В этом случае множество изображений такой же формы будет иметь следующий вид:

$$Z = \left\{ f''(x, y) = \sum_i (b_i \times \chi_i(x, y)) \right\}. \quad (6.30)$$

Тогда проекционное преобразование можно считать параметрическим преобразованием вида $b_i = b(a_i)$, где $i = 0, \dots, (C - 1)$, а C – количество уровней яркости на изображении. При этом проекция $\text{Pr}_f(g)$ любого изображения $g(x, y)$ определяется набором параметров b вида

$$b_i = \frac{\iint_X g(x, y) \chi_i(x, y) dx dy}{\iint_X \chi_i(x, y) dx dy}. \quad (6.31)$$

Вычисление этих параметров не сопряжено с трудностями и сколько-нибудь значительными вычислительными затратами. После вычисления проекции изображения g на форму эталона f коэффициент морфологической корреляции вычисляется непосредственно.

По аналогии с обычным корреляционным обнаружением морфологическое обнаружение изображения f по принципу максимума корреляционного коэффициента осуществляется по правилу

$$j = \arg \max_i (K_T(f, g_i)). \quad (6.32)$$

После этого, на основании полученного значения максимальной корреляции, может проверяться достоверность классификации, т.е. если $K_T(f, g_i) \geq K_{\min}$, то обнаружение признается достоверным, в противном случае объект считается нераспознанным.

Сравнительный анализ обычной нормированной взаимно корреляционной функции k_u и коэффициента морфологической корреляции k_m показывает, что связь между двумя коэффициентами корреляции имеет вид $k_m \geq |k_u|$, а геометрическую разницу между этими величинами иллюстрирует [рис. 6.2](#) [[3, с. 300](#)], на котором $\alpha = \arg \cos k_u$ и $\beta = \arg \cos k_m$.

Значительный интерес представляет случай, когда морфологическая и обычная корреляции совпадают. В этом случае необходимо, чтобы средние значения яркости функции f и v совпадали с точностью до постоянного множителя по всем областям разбиения поля зрения.

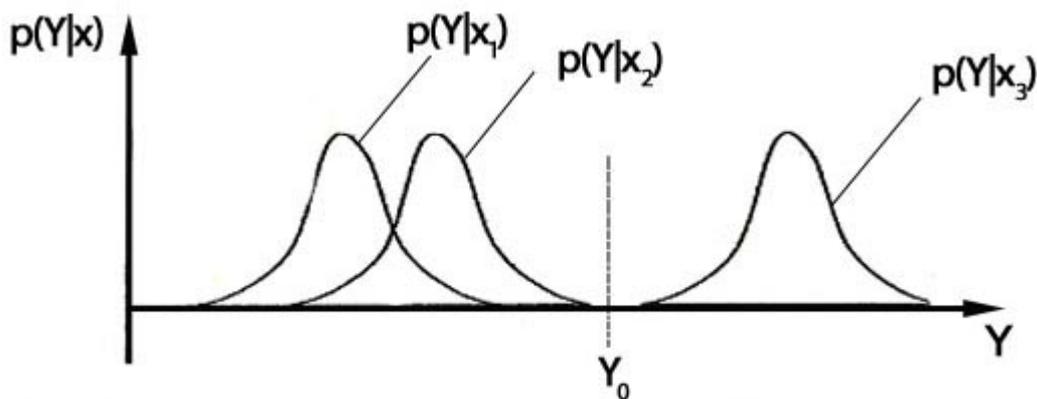


Рис. 6.2. Геометрическая интерпретация векторов k_u и k_m

Морфологический метод обнаружения порождает и ещё одну проблему – это необходимость параллельного анализа так называемой информативности изображения. Дело в том, что однородное поле зрения идеально коррелирует с любым объектом, и чтобы использовать морфологический коррелятор адекватно, нужно следить, чтобы информативность сравниваемых изображений была достаточной, т.е. чтобы их яркостно-геометрические свойства были достаточно обширными. По этим же причинам уровень аномальных ошибок морфологического коррелятора

может превосходить соответствующие показатели обычных корреляционных алгоритмов [[3, с. 296–299](#)].

Для осуществления функции привязки эталонов в среде визуального программирования *LabVIEW* используются библиотеки средств обработки и анализа изображений *IMAQVision* с функциями *IMAQ* вида:

- ***ShapeMatchTool*** – позволяет находить предметы на изображении по их известным очертаниям;
- ***RotationDetect*** – определяет угол, на который было повернуто изображение или его часть;
- **Геометрические измерения на изображениях:**
- **Функции 1D - измерений:**
 - ***CaliperTool*** – находит парные границы на изображении, а также определяет их параметры;
 - ***LineGauge*** – измеряет с высокой точностью расстояния между границами на изображении;
- **Функции 2D-измерений:**
 - ***ClampHorizontalMax*** – позволяет определить горизонтальные размеры изображения;
 - ***PolygonArea*** – определяет площадь многоугольника, образованного заданным массивом точек;
- **Яркостные измерения на изображениях:**
 - ***LightMeter (Rectangle)*** – выполняет измерения яркости элементов изображения в выбранной прямоугольной области;
- **Считывание символьной информации на изображениях:**
 - ***OCRReadText*** – распознает текст на изображении в заданной области;
 - ***ReadBarcode*** – распознает штриховые коды на изображении;
- **Считывание информации с технических индикаторов:**
 - ***ReadMeter*** – позволяет визуально считывать показания с аналогового индикатора прибора;
 - ***ReadLCD*** – позволяет визуально считывать показания с цифрового индикатора прибора и выдавать их в числовом виде;
- **Ручные геометрические измерения и построения:**
 - ***PointDistances*** – определяет расстояние между двумя соседними парами точек;
 - ***GetAngles*** – определяет углы между линиями, заданными тремя или четырьмя точками;
 - ***LinesIntersection*** – позволяет найти координаты точки пересечения двух прямых и угол между ними;
 - ***PerpendicularLine*** – осуществляет построение перпендикуляра к данной прямой из заданной точки и определяет его длину;
 - ***BisectingLine*** – находит прямую, являющуюся биссектрисой угла, образованного двумя заданными прямыми линиями;
 - ***MidLine*** – позволяет найти прямую, параллельную заданной и делящей пополам перпендикуляр, опущенный на заданную прямую из заданной точки;
- **Работа с растровыми изображениями:**
 - ***GetRowCol*** – формирует массив, содержащий интенсивности элементов изображения, находящихся в выбранной строке или столбце изображения;
 - ***ImageToarray*** – преобразовывает все изображения или их часть из формата *IMAQVision* в двухмерный массив;
 - ***SetPixelLine*** – измеряет значения интенсивности элементов изображения, лежащих на заданной линии изображения.

Другие функции палитры *Pixel Manipulation Vis* позволяют залить изображение определенным цветом – функция *IMAQ Fill Image*, нарисовать на нём какую-либо геометрическую фигуру – функция *IMAQ Draw* или написать текст – функция *IMAQ Draw Text*. Существуют также функции, присваивающие значения яркости элементу изображения – функция *IMAQ Set Pixel Value*. Столбцу или строке элементов – функция *IMAQ Set Row Col*, либо всему изображению – функция *IMAQ* вида *ArrayToImage*.

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. В чём заключается сущность статистических методов распознавания?
2. Какие критерии обнаружения и распознавания используются в системах технического зрения?
3. В чём заключаются преимущества и недостатки различных критериев обнаружения и распознавания?
4. Какие виды соседства элементов изображения используются при анализе этого изображения?
5. В чём заключается сущность метода ?
6. Какие методы сегментации полутоновых изображений используются в системах технического зрения?
7. Что положено в основу корреляционного алгоритма обработки изображений?
8. В чём заключается сущность морфологического метода анализа изображений?
9. Чем отличается нормированная взаимная корреляционная функция от коэффициента морфологической корреляции и какова их геометрическая интерпретация?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дуда Р., Харп П. Распознавание образа и анализа сцен. – М.: Мир, 1976. – 511 с.
2. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.
3. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н. и Моржин А.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. http://www.butovo.com/~zss/bw_morf.html
2. <http://www.5ballov.ru/referats/preview/70634>
3. <http://www.itp.nsc.ru/piv/piv.htm>
4. <http://www.computer-museum.ru/histussr/dsp.htm>

Глава 7. АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

- **7.1. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ**
 - 7.1.1. Информационные модели
 - 7.1.2. Информационное описание процесса поиска и распознавания объектов исследования
 - 7.1.3. Формирование условий работоспособности систем технического зрения
- **7.2. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**
 -  Литературные источники
 -  Ссылки на Интернет-ресурсы

7.1. УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Структура алгоритмов обработки и анализа изображений зависит от множества факторов, таких как – характер решаемых задач, объём и состав априорной информации об объектах, условия наблюдения, имеющиеся аппаратные и программные средства и др. При этом выбор оптимальной структуры алгоритмов является сложной задачей, которая решается на основе сравнительной оценки альтернативных вариантов.

Обычно в качестве основных критериев эффективности при оценке алгоритмов, реализуемых вычислительным комплексом в системе технического зрения, выбирается точность измерений или достоверность принятых решений. Во многих случаях при стабильных условиях наблюдения и высокой контрастности объектов наблюдения над фоном наиболее выгодными могут оказаться простые алгоритмы, использующие набор процедур, выполняемых в строго определенном порядке.

Более сложными являются адаптивные алгоритмы обработки информации. В этих алгоритмах выбор реализуемых процедур производится в зависимости от выполнения условий, определяемых в процессе вычислений. Адаптивные алгоритмы могут функционировать в сложных условиях наблюдения, приспосабливаться к оперативному изменению решаемых задач и изменению состава средств наблюдения.

На [рис. 7.1 \[1, с. 112\]](#) представлена структурная схема комплексного алгоритма обработки и анализа изображений. В составе этого алгоритма имеются модули управления вычислительным процессом. Так, в зависимости от вида решаемых задач структура комплексного алгоритма может изменяться. При выполнении каждого из этапов обработки и анализа изображения полученная информация поступает в блок управления, в котором формируется план последующих процедур.

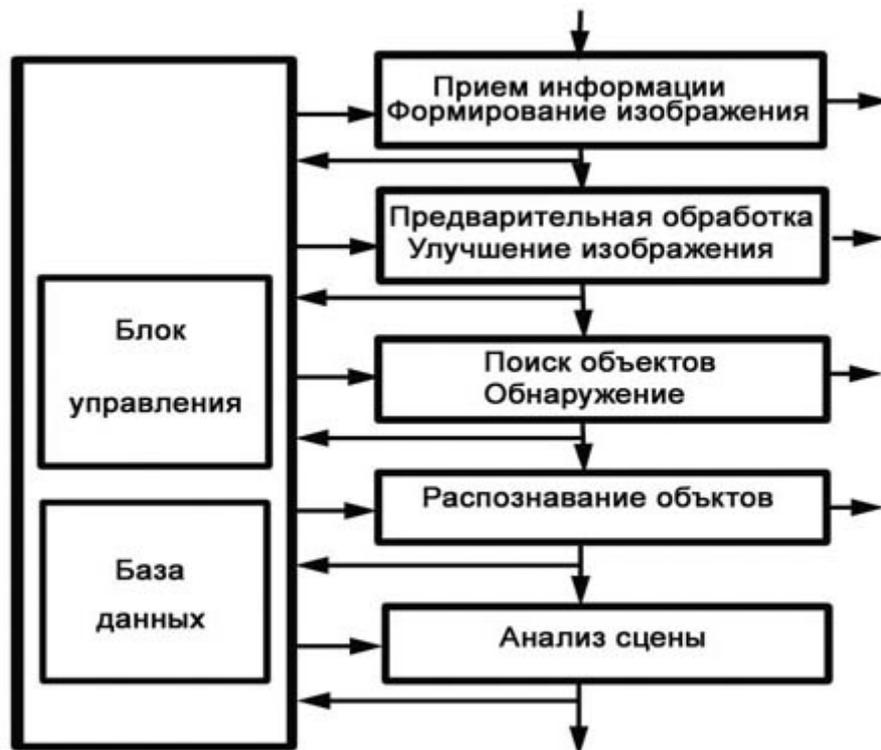


Рис. 7.1. Структурная схема комплексного алгоритма обработки и анализа изображений

Кроме блока управления в памяти вычислительной системы хранится база данных, содержащая необходимые данные и различные процедуры обработки информации. В соответствии с принимаемыми решениями из исходной базы данных формируется рабочая база, непосредственно используемая при обработке и анализе изображений.

Реализовать подобный комплексный алгоритм достаточно трудно, поскольку одной из причин является сложность формализации и вычислений множества частных критериев эффективности на различных этапах вычислений, на основе которых принимаются решения о дальнейших действиях по обработке и анализу изображений.

В некоторых случаях решением данной проблемы является формирование моделей описания процессов и управление этими процессами на основе методов теории информации. К основным преимуществам данного подхода следует отнести:

- возможность оценки состояния процесса с множеством исходов;
- универсальность описания различных процессов, в том числе одно- и многоэтапных;
- возможность оценки объемов информации, требуемых для реализации процесса наблюдения, вне зависимости от конкретных исходов процесса.

В зависимости от решаемых задач используются различные направления в теории информации:

семантическая теория:

- теория, рассматривающая дискретное строение массивов информации и их измерение путем подсчета информационных элементов;

- теория, использующая комбинаторный метод, предполагающий простейшее кодирование массивов информации;
- теория, основанная на оценке целесообразности, ценности, полезности или существенности информации;

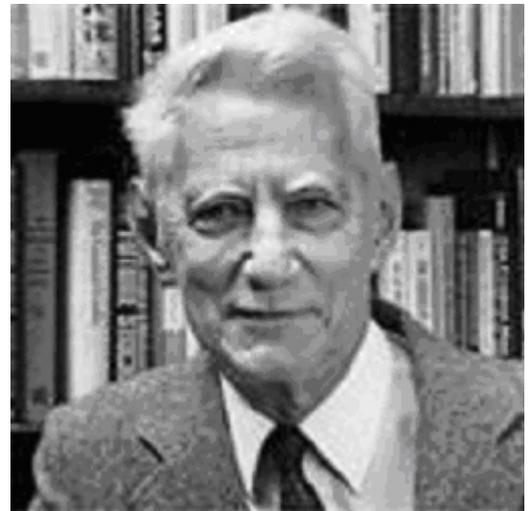
статистическая теория, оперирующая понятием энтропии как меры неопределенности и учитывающая вероятность появления события, т.е. информативность сообщений.

В настоящее время при обработке и анализе изображений предпочтение отдают статистической теории. Поэтому дальнейшее рассмотрение процессов обработки и анализа изображений будем проводить на основе статистической теории информации, позволяющей представить работу системы наблюдения и управления в понятиях концепции выбора.

7.1.1. Информационные модели

Из теории информации известно, что основными понятиями в ней являются информация, энтропия и пропускная способность системы. За основу информации принята мера, предложенная **К.Э. Шенноном**, которая оценивается выражением

$$I = I(X|Y) = H(X) - H(X|Y), (7.1)$$



где $I(X|Y)$ – количество информации, содержащееся в сообщении Y о событии; $H(X)$ – энтропия события X ; $H(X|Y)$ – условная энтропия события X при получении сообщения Y .

Априорная энтропия $H(X)$ является мерой неопределённости некоторого события X до получения сообщения Y , а энтропия $H(X|Y)$ соответствует неопределённости события после получения сообщения Y и является апостериорной энтропией.

Для информационного описания непрерывных процессов используется формула

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log_2 [p(x) e_x] dx, (7.2)$$

где $p(x)$ – функция плотности распределения случайной величины; e_x – интервал дискретизации.

Величина интервала дискретизации может быть определена, например, исходя из требований к точности системы. Для процессов с конечным количеством исходов энтропия равна

$$H = - \sum_{i=1}^M P_i \log_2 P_i, (7.3)$$

где P_i – вероятность i -го события, исхода из M возможных.

При равновероятном распределении исходов энтропия максимальна и равна $H = \log_2(N)$, что соответствует мере информации *Хартли*, а при нормальном законе распределения

$$H = \log_2 \frac{\sigma_x}{e_x \sqrt{2\pi e}}, (7.4)$$

где σ_x – среднеквадратическое отклонение случайной величины.

Энтропия $H(X)$ является безусловной энтропией источника и характеризует среднее количество информации на символ, выдаваемое источником. В этом случае имеет место следующее соотношение:

$$H(X, Y) = H(X) + H(Y|X) = H(Y) + H(X|Y) \quad (7.5)$$

Причём информационная пропускная способность, обозначающая скорость переработки информации I за время T , равна

$$C = \frac{I}{T} = \frac{H(X) - H(X|Y)}{T}. (7.6)$$

Однако если в системе наблюдения нет потерь и искажений, то

$$H(X|Y) = 0 \quad \text{и} \quad H(Y|X) = 0. (7.7)$$

При формировании моделей процессов, протекающих в системах наблюдения, необходимо учитывать переменность информативности источника в пространстве и времени и влияние дестабилизирующих факторов, которые могут случайным образом изменять энтропию процессов и объёмы принимаемой полезной информации. Для описания подобных процессов удобно использовать следующие понятия:

- **начальная энтропия процесса или события** H_0 – характеризует начальную неопределённость процесса или начальный объём решаемых задач. В общем случае H_0 вычисляется по формуле (7.2);
- **текущая энтропия процесса или события** $H(t)$ – характеризует неопределённость процесса в момент времени t ;
- **конечная энтропия процесса или события** H_k – характеризующая энтропию в момент окончания процесса;
- **возмущающая энтропия процесса или события** $H_v(t)$ – увеличивающая энтропию процесса в момент времени t .

Пусть исследуемый непрерывный динамический процесс характеризуется текущей энтропией $H(t)$. Тогда в соответствии с выражениями (7.1) и (7.6) получим

$$H(t) = H_0 - \int_{\tau=0}^t C(\tau) d\tau + \int_{\tau=0}^t C_{\text{в}}(\tau) d\tau, (7.8)$$

где $C(t) = \frac{dI(t)}{dt}$ – скорость получения и переработки полезной информации;

$C_{\text{в}}(t) = \frac{dH_{\text{в}}(t)}{dt}$ – скорость получения и переработки возмущающей информации; t – время.

В этом случае начальная энтропия H_0 соответствует априорной энтропии $H(X)$, а текущая энтропия $H(t)$ – апостериорной энтропии $H(X|Y)$. При дискретном процессе для $(k+1)$ -го такта формула (7.8) примет вид

$$H_{k+1} = H_k - C_k \Delta t + C_{\text{кв}} \Delta t, (7.9)$$

или

$$H_k = H_0 - \sum_{i=1}^{k-1} C_i \Delta t + \sum_{i=1}^{k-1} C_{\text{иВ}} \Delta t, (7.10)$$

где $C_k, C_{\text{кв}}$ – пропускные способности системы на k -м такте полезной информации и возмущениям соответственно,

Δt – длительность такта.

Формулы (7.9) и (7.10) показывают оценку энтропии состояния процесса, уменьшение которой реализуется поступлением полезной информации. Общее максимальное количество принимаемой информации Y за один отсчёт равно $I(Y) = H(Y)$, полезной из которой является только $I = H(Y) - H(Y|X)$.

Следовательно, понятия “информативность источника” и “информативность сообщения” не эквивалентны, так как информативность источника характеризует максимальную энтропию, а информативность сообщения – энтропию полезной информации, содержащейся в сообщении. В свою очередь, текущая энтропия сообщений $H(Y, t)$ также может описываться формулами, аналогичными (7.8), (7.9) и (7.10).

Необходимо иметь в виду, что энтропия любого процесса не может быть величиной отрицательной, кроме того, при ограниченном количестве исходов M максимальное значение текущей энтропии равно $H_{\text{max}} = \log_2(M)$.

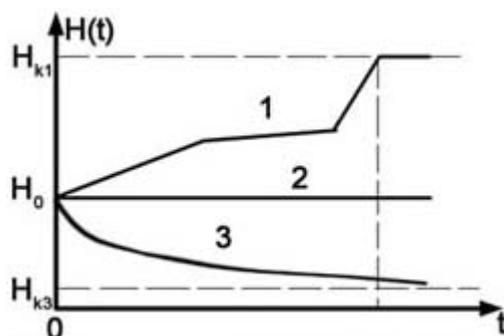


Рис. 7.2. Варианты процессов изменения энтропии в процессе наблюдения [1, с. 117]

Формулы (7.9) и (7.10) позволяют оценить текущую энтропию, которая является универсальной и обобщенной характеристикой любого исследуемого процесса наблюдения обнаружения, распознавания или измерения координат объекта.

Рассмотрим различные варианты изменения энтропии в процессе наблюдения [рис. 7.2](#).

Пусть энтропия **процесса 1** характеризуется условием $C_b > C$, т.е. скорость поступления возмущающей информации превышает скорость поступления полезной информации. Процесс соответствует постоянному ухудшению качества наблюдения. В этом случае конечная энтропия больше начальной энтропии, т.е. $H_k > H_0$.

Процесс 2 соответствует равенству скоростей поступающей полезной и возмущающей информации. Энтропия процесса в этом случае постоянна.

В **процессе 3** $C > C_b$ и начальная энтропия больше конечной энтропии, т.е. $H_0 > H_k$. Процесс характерен для поиска и распознавания объектов.

Общий исследуемый процесс может быть многоэтапным, включающим различные частные процессы $q = 1, 2, \dots, Q$, например, обнаружение, распознавание и др. При этом каждый частный процесс может также включать различные этапы. В этом случае совместная энтропия подобных процессов будет определяться выражением

$$H(Q, t) = H(1, t) + H(2, t|1) + \dots + H(q, t|1, 2, \dots, q-1) + \dots + H(Q, t|1, 2, \dots, Q-1), \quad (7.11)$$

где $H(q, t|1, 2, \dots, q-1)$ – энтропия выполнения q -го этапа, при условии выполнения $1, 2, \dots, (q-1)$ -го этапов из Q .

Если многоэтапный процесс является последовательным, то в большинстве случаев можно считать, что энтропия q -го этапа равна

$$H(q, t|1, 2, \dots, q-1) = H(q, t|q-1), \quad (7.12)$$

что в значительной степени упрощает информационную модель процесса [1, с. 110–118].

7.1.2. Информационное описание процесса поиска и распознавания объектов исследования

Вне зависимости от физической природы носителей сообщений и структуры признаков оценка их информативности рассчитывается одинаково. Обозначим как U_{nk} дискретный признак, где $k = 1, 2, \dots, K_n$ обозначает индекс значения признака n , а $n = 1, 2, \dots, N$ как индекс признака. В этом случае признак U_{nk} может интерпретироваться как интенсивность сигнала в n -м элементе изображения при K уровнях квантования или как дискретизированное значение некоторой критериальной функции.

При этом общее количество полезной информации распознавания M объектов, для всех обработанных значений признака U_n в соответствии с выражениями (7.1) и (7.4) определяется по следующей формуле:

$$I_n = H(m) - H(m|U_n) = - \sum_{m=1}^M P(m) \log_2 P(m) + \sum_{i=1}^M P(i) \sum_{m=1}^M \sum_{k=1}^K P(U_{nk}|i) P(m|U_{nk}) \log_2 P(m|U_{nk}), \quad (7.13)$$

где $P(m)$, $P(i)$ – вероятности присутствия объектов с индексами i, l соответственно; $P(U_{nk}|i)$ – условная вероятность появления признака U_{nk} при наличии i -го объекта.

Объем полезной информации I_n не может быть рассчитан заранее. Эта величина определяется в процессе вычислений, так как зависит от значений, которые принимают обработанные признаки. Этот факт имеет большое значение, являясь основой управления информационными потоками в адаптивных алгоритмах.

В рамках рассматриваемого подхода на каждом шаге обработки необходимо определять информативность всех признаков рабочего словаря, выбирая наиболее информативный из них для последующей обработки. Таким образом, информативность признаков в общем случае является величиной, которая может меняться в процессе реализации процесса наблюдения. Например, в процессе обнаружения, в соответствии с выражением (7.14), количество информации, содержащейся в признаке, зависит от переменной оценочной вероятности присутствия объекта. Следовательно, использование неизменной рабочей базы данных, словаря, эталонного изображения в ряде случаев приводит к недостаточности или избыточности описания объекта. Поэтому необходимым и достаточным условием описания вектора признаков U по отношению к идеальному описанию этого признака U_0 будет иметь место равенство

$$H(M|U_0) = H(M|U). \quad (7.14)$$

В реальных условиях идеальное описание U_0 может интерпретироваться как, например, исходное эталонное изображение объекта.

Обнаружение и определение координат объектов

Данный этап обработки изображения представляет собой два синхронно протекающих процесса:

1-й процесс – распределение поисковых ресурсов, в частности, управление направлением линии визирования и размерами стробирующего окна;

2-й процесс – обработка и анализ принятой информации с целью обнаружения объекта поиска.

В случае обнаружения объекта его координаты определяются положением линии визирования, и в соответствии с выражением (7.5) общая энтропия этапа может быть представлена в виде

$$H(Q_c, Q_{об}, t) = H(Q_c, t) + H(Q_{об}, t | Q_c) \quad (7.15)$$

или

$$H(Q_c, Q_{об}, t) = H(Q_{об}, t) + H(Q_c, t | Q_{об}), \quad (7.16)$$

где $H(Q_c, t)$ – энтропия координат объекта; $H(Q_{об}, t)$ – энтропия обнаружения объекта; Q_c – процесс управления линии визирования; $Q_{об}$ – процесс обнаружения.

Формула (7.16) соответствует процессу поиска при отсутствии информации о нахождении объекта в области поиска. Эта формула характеризует процесс поиска, когда используется предварительная информация о присутствии объекта в области поиска, а для формирования модели конкретного процесса обнаружения значения энтропии следует вычислять по выражению (7.15).

Для выделения геометрических примитивов в среде визуального программирования **LabVIEW** с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений **IMAQ Vision** существуют следующие функции **IMAQ**:

Выделения прямых линий:

Find Vertical Edge и **Find Horizontal Edge** – осуществляет определение границ объекта на всём его протяжении (вертикальные и горизонтальные границы);

Fit Line – позволяет аппроксимировать заданный набор точек прямой линией;

Выделение окружностей и эллипсов:

Find Circular – позволяет найти на изображении край круглого объекта и определить границы окружности;

Find Circles – находит окружности на изображении;

Find Circles 2 – проводит аппроксимацию заданного набора точек окружностью, при этом определяет:

- координаты центра окружности;
- радиус окружности;
- периметр окружности;
- площадь окружности;
- оценку отклонения полученной окружности от идеальной;

Выделения линий, близких к эллипсу:

Fit Ellipse 2 – проводит аппроксимацию заданного набора точек эллипсом;

Выделения линий, близких к прямым линиям:

Rake – позволяет найти граничные точки в заданной с помощью ROI Descriptor вертикальной области изображения;

Выделения линий, близких к окружностям:

Concentric Rake – аналогичен функции Rake за исключением того, что опорные линии строятся не как параллельные линии в заданной области, а как концентрические окружности в заданном круговом секторе;

Spoke – позволяет найти границы вдоль радиальных линий, проведённых в заданной кольцевой области на изображении.

Распознавание объектов

При распознавании объектов наблюдения следует исходить из того, что признаки объектов распознавания дискретны, т.е. $n = 1, 2, \dots, N$ и относятся к вероятностному типу, а также известны условные вероятности $P(y | x_m)$. Тогда алгоритм распознавания M объектов будет состоять из следующих этапов:

1. Прием и предварительная обработка признаков Y .
2. Определение рабочего словаря $P(Y | x_m)$ с использованием исходной базы данных, т.е. априорного словаря признаков.
3. Расчет формулы **Байеса** для каждой m -й гипотезы распознавания.
4. Выбор гипотезы в соответствии с выбранным критерием распознавания.

В этом случае в соответствии с выражением (7.10) общая взаимная энтропия процесса распознавания на k -м такте распознавания будет определяться по выражению

$$H_k(X) = H_0(X) - \sum_{i=1}^{k-1} C_i(X) \Delta t_i + \sum_{i=1}^{k-1} C_{Bl}(X) \Delta t_i. \quad (7.17)$$

В этом выражении $C_i(X)$, $C_{Bl}(X)$, Δt_i – определяются конкретным выбором признаков Y . В том случае, когда априорная вероятность появления m -го объекта из Мизвестных и равна $P_0(x_m)$, начальная энтропия процесса распознавания в соответствии с выражением (7.3) будет определяться выражением

$$H_0(Q) = - \sum_{m=1}^M P_0(x_m) \log_2 P_0(x_m). \quad (7.18)$$

При этом частная условная энтропия процесса распознавания будет определяться по формуле

$$H(Y | x_m) = \sum_{n=1}^N P(y_n | x_m) \log_2 P(y_n | x_m), \quad (7.19)$$

а общая условная энтропия равна

$$H(Y|x_m) = - \sum_{m=1}^M P(x_m) H(Y|x_m). \quad (7.20)$$

В процессе распознавания текущая энтропия будет изменяться на каждом k -м такте согласно выражениям (7.9), (7.10) в соответствии с выражением вида

$$H_{k+1}(x_m) = H_k(x_m) - C_k(x_m) \Delta t + C_{Bk}(x_m) \Delta t = H_k(x_m) - I_k(x_m), \quad (7.21)$$

где $C_k(x_m)$, $C_{Bk}(x_m)$ – скорости получения и переработки полезной и возмущающей информации;

$C_{Bk}(x_m)$ – соответствует ложной информации, в том числе организованной, увеличивающей текущую энтропию распознавания;

$I_k(x_m)$ – количество полезной информации, полученной на k -м такте процесса распознавания.

Причём $I_k(x_m)$ может быть рассчитано на основе оценки информативности полученного сообщения, т.е. исследуемых изображений [1, с. 118–124].

7.1.3. Формирование условий работоспособности систем технического зрения

Важным вопросом является оценка объёма информации, необходимого для обеспечения работоспособности системы наблюдения. Здесь под работоспособностью понимается состояние системы, при котором она выполняет заданные функции в течение требуемого промежутка времени.

При использовании информационного подхода выполнение заданных функций в зависимости от решаемых задач определяется фактической длительностью процесса обработки информации, текущей $H(Q, t)$ или конечной $H_k(Q) = H(Q, T)$ энтропиями процесса, а также требованиями, ограничивающими эти параметры. Так, если в процессе наблюдения за объектом текущая энтропия оказывается больше допустимой, то происходит потеря объекта. Заметим, что слежение является динамическим процессом и, задавая допустимые пределы изменения текущей энтропии, необходимо учитывать динамические характеристики как объекта, так и системы наблюдения.

Если качество процесса наблюдения определяется конечной энтропией, то при превышении $H_k(Q)$ заданного порога, система также не выполняет заданных функций. При этом следует отметить, что в общем случае в зависимости от условий работы системы возможно применение следующих информационных показателей качества:

- минимизация конечной энтропии процесса распознавания, т.е. $W_1 = \min H_k(Q)$ при значениях $T \leq T_{тр}$, где $T_{тр}$ – требуемое значение длительности процесса;
- минимизация длительности процесса при ограниченной конечной или текущей энтропии, т.е. $W_2 = \min T$ при значениях $H_k(Q) \leq H_{кр}(Q)$, где $H_{кр}(Q)$ – заданное значение конечной энтропии.

Вариантами рассмотренных показателей качества могут быть такие, в которых, например, при заданной точности наблюдения H_k необходимо максимально расширить область поиска, характеризуемую значением начальной энтропии H_0 , т.е. когда $W_1 = \max H_0$ при значениях $T \leq T_{\text{тр}}$ и $W_2 = \min T$ при $H_0 \leq H_{0\text{тр}}$.

Из этого следует, что работоспособность системы определяется выполнением неравенств вида $T \leq T_{\text{тр}}$ и $H_k(Q) \leq H_{k\text{тр}}(Q)$.

Для выполнения показателя качества W_2 минимально необходимый объем полезной информации следует рассчитывать по выражению

$$I_{\min} = \int_{t=0}^T C(Q, t) dt = H_0(Q) - H_k(Q) + \int_{t=0}^T C_B(Q, t) dt. \quad (7.22)$$

Из этого выражения следует, что система распознавания становится неработоспособной при условиях, когда количество принимаемой полезной информации меньше величины I_{\min} . Следовательно, необходимое условие информационной работоспособности примет вид $I_{\text{тр}} \geq I_{\min}$, в котором $I_{\text{тр}}$ – требуемое количество полезной информации. Следует заметить, что это условие является необходимым, но не достаточным условием информационной работоспособности системы распознавания.

С точки зрения минимума перерабатываемой информации I , оптимальной является адаптивная система, в которой скорость переработки полезной информации изменяется в зависимости от поступления возмущающей информации. Так, если известна максимальная скорость поступления возмущающей информации $C_B = \max C_B(Q_s, t)$, где Q_s – исследуемый процесс и минимальная скорость переработки полезной информации I_{\min} , то достаточным условием информационной работоспособности является

$$C_{\min} \geq \frac{H_0 - H_{k\text{тр}}}{T} + C_B = C_{\text{тр}}, \quad (7.23)$$

где $C_{\text{тр}}$ – требуемая пропускная способность системы распознавания.

Во многих случаях показатели качества $W_1 = \min H_k(Q)$ при значениях $T \leq T_{\text{тр}}$ и $W_2 = \min T$ при значениях $H_k(Q) \leq H_{k\text{тр}}(Q)$ могут быть заменены единым обобщенным информационным критерием – пропускной способностью системы.

Пусть в базе данных системы технического зрения имеется R частных алгоритмов, из которых выбирается рабочий алгоритм. Тогда следует, что алгоритм r_0 из R частных является оптимальным, если выполняется следующее условие:

$$C(r_0) = \max \left\{ C(r) = \frac{H_0 - H_{k\text{тр}}}{T} + C_B \right\}, \quad (7.24)$$

где $C(r)$ – пропускная способность системы, т.е. скорость переработки информации при реализации r -го алгоритма;

H_0 – начальная энтропия процесса;

$H_{кр}$ – конечная энтропия процесса;

T – время реализации процесса;

C_B – пропускная способность возмущающей информации при $r = 1, 2, \dots, R$.

В этом случае можно считать, что оптимальным, с точки зрения показателей W_1 и W_2 , является алгоритм, обеспечивающий максимальную скорость переработки полезной информации [[1, с. 124–127](#)].

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Какова структура комплексного алгоритма обработки и анализа изображений?
2. В чём сущность информационной модели процесса поиска и распознавания объектов исследования?
3. Каковы условия работоспособности систем технического зрения?
4. Назовите преимущество оптических методов обработки изображений.
5. На чём основан голографический метод получения изображений?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.
2. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. <http://www.dialog-21.ru/Archive/2004/Trusova.htm>
2. <http://www.abbyy.ru/sdk/?param=60344>
3. <http://systemling.narod.ru/image/knowbase.htm>

Глава 7. АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

7.2. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Известно, что объекты и изображения изменяются как во времени, так и в пространстве. Поэтому операции с изображениями, по сути, являются оптическими операциями. Ряд операций обработки может быть представлен оптическим или цифровым образом. Цифровые методы обработки сигналов были рассмотрены в предыдущих разделах данного учебного пособия, поэтому остановимся на некоторых оптических методах обработки изображений в системах технического зрения.

Практика показывает, что пропускная способность оптических систем значительно превосходит возможности современных цифровых процессоров. В пользу применения оптических методов обработки можно отнести и то, что при ней возможно одновременно производить обработку информации и получать изображения.

Две математические операции, которые могут быть осуществлены оптическим процессором, – это умножение и Фурье-преобразование. Обработка изображения в системах технического зрения может осуществляться различными типами оптических систем, включая частично когерентные или полностью когерентные системы, а также могут быть осуществлены как комплексные, так и действительные операции оптической фильтрации. Получение изображения с сопутствующей его обработкой может быть реализовано классической гауссовой оптикой или методом голографической записи и восстановления.

Как известно, голография это универсальный метод регистрации и воспроизведения волнового поля для получения информации как об объекте исследования, являющемся источником излучения, так и о характере волнового поля любой природы. С развитием оптической голографии появилась возможность осуществлять некоторые операции предварительной обработки изображений оптическими методами. Особая ценность этих методов состоит в быстродействии, которое достигается за счёт параллельной обработки больших объёмов информации, представленной в виде изображений.

Проблема распознавания объектов в оптическом диапазоне длин волн актуальна, но не менее актуальна и задача получения изображений объектов в радиодиапазоне. Радиоволны по сравнению с оптическими волнами имеют невысокое затухание в атмосфере, что особенно важно при плохих погодных условиях. Получение изображений в этом диапазоне возможно двумя путями – это использование линз для радиодиапазона с последующей визуализацией радиополей на экране синтезирующего устройства и применение голографического метода визуализации радиополей, когда рассеянное объектом электромагнитное излучение записывается в определенной плоскости с последующим оптическим или цифровым восстановлением радиоизображения.

В пользу применения голографического метода получения радиоизображения свидетельствует тот факт, что в радиодиапазоне имеются интенсивные когерентные источники излучения, которые используются для получения голографических изображений. Конечно, голографический метод не является универсальным, так как для получения радиоизображений нестационарных объектов,

находящихся на больших расстояниях от плоскости наблюдения, требуется обеспечить очень точные метрологические характеристики системы технического зрения.

Голографический метод получения изображений представляет собой двухступенчатый процесс. На первой ступени осуществляется запись информации, а во второй – восстановление изображения. Рассеянные объектом волны и часть волны облучения, проходящей мимо объекта, попадают на приёмник изображения. Поскольку волновой фронт, отражённый от объекта, и волновой фронт, прошедший мимо объекта исследования когерентны, то задача стоит в сохранении информации о фазе и амплитуде падающих на приёмник изображения волн.

В связи с тем что существующие в настоящее время регистрирующие среды чувствительны в основном к интенсивности излучения, при записи информация о фазе необходимо её каким-либо образом преобразовать в модуляцию интенсивности. Эта задача в настоящее время решается путём использования методов интерферометрии. Так если к неизвестному волновому фронту добавляется второй когерентный волновой фронт с известными значениями амплитуды и фазы, то их суммарная интенсивность будет зависеть не только от амплитуды, но и от фазы исходного волнового фронта.

Запись отраженного от объекта волнового фронта $\dot{a}(x, y)$ и опорного волнового фронта $\dot{b}(x, y)$, с которым интерферирует объектная волна, можно записать в виде

$$\dot{a}(x, y) = a(x, y) \exp[i\varphi(x, y)], \quad \dot{b}(x, y) = b(x, y) \exp[i\phi(x, y)]. \quad (7.25)$$

В этом случае их суммарная интенсивность будет определяться выражением

$$\begin{aligned} I(x, y) &= [\dot{a}(x, y) + \dot{b}(x, y)] [\dot{a}(x, y) + \dot{b}(x, y)]^* = \\ &= |a(x, y)|^2 + |b(x, y)|^2 + a(x, y) b(x, y) \exp i[\phi(x, y) - \varphi(x, y)] + \\ &+ a(x, y) b(x, y) \exp -i[\phi(x, y) - \varphi(x, y)] = |a(x, y)|^2 + |b(x, y)|^2 + \\ &+ 2a(x, y) b(x, y) \cos[\phi(x, y) - \varphi(x, y)]. \end{aligned} \quad (7.26)$$

В связи с тем что частота в физико-оптических явлениях остается неизменной, следует рассматривать лишь комплексную амплитуду $\dot{a}(x, y)\exp[i\varphi(x, y)]$ и при расчётах обычно опускается выражение $\exp(-i\omega t)$. Таким образом, интенсивность в любой точке интерференционной картины есть сумма интенсивностей двух волн, т.е. амплитудные значения, а третий член – зависит лишь от разности их фаз.

Пространственное распределение амплитуд и фаз интерферирующих волн определяет вид интерференционной картины. Запись такой интерференционной картины от двух волновых фронтов можно рассматривать как получение голограммы.

К основному недостатку голографических методов распознавания следует отнести невозможность выполнения логических операций. Поэтому системы технического зрения, использующие голографические методы распознавания, не приспособлены к решению сложных задач, связанных с выявлением логических отношений между опознанными объектами и определением их количественных и качественных характеристик.

В связи с этим для решения сложных проблем автоматизации обработки информации и распознавания образов можно использовать гибридные оптико-электронные вычислительные комплексы, позволяющие сочетать высокое быстродействие и производительность оптических методов обработки информации с широкими возможностями ЭВМ по выполнению логических и

арифметических операций. В наиболее общем случае в состав системы технического зрения помимо ЭВМ и оптических каналов распознавания и обработки информации можно включить:

- аппаратуру ввода-вывода изображения в ЭВМ;
- блок цифровых матричных процессов;
- голографическое запоминающее устройство;
- средства отображения информации.

Задачи, решаемые такими гибридными системами технического зрения, делятся на две группы:

1-я группа – выполняется в оптико-электронной части СТЗ, осуществляя:

- распознавание заданных объектов по их изображениям;
- интегральные преобразования информации;
- ввод-вывод частей анализируемых изображений в ЭВМ;
- долговременное хранение информации в цифровом виде;
- оперативное и долговременное хранение структур фильтров, отображение информации.

2-я группа – выполняется в электронно-вычислительной части СТЗ, осуществляя:

- математическое обеспечение операций;
- оперативную цифровую память;
- синтез пространственно-частотных фильтров;
- выполнение логических и арифметических операций обработки информации;
- управление взаимодействием основных элементов системы технического зрения и др.

С помощью таких систем технического зрения можно реализовывать сложные методы распознавания образов и обработки изображений, например:

- улучшение качества изображений различной природы;
- анализ аэрофотоснимков и сейсмографических данных;
- моделирование антенн и измерение частотно-контрастных характеристик оптических систем;
- интегральные вычисления с большими массивами входных данных;
- обработку снимков пузырьковых камер в ядерной физике;
- анализ снимков от метеорологических спутников и др.

[2, с. 356–358, 367].

Вопросы для самопроверки и обсуждения:

1. Какова структура комплексного алгоритма обработки и анализа изображений?
2. В чём сущность информационной модели процесса поиска и распознавания объектов исследования?
3. Каковы условия работоспособности систем технического зрения?
4. Назовите преимущество оптических методов обработки изображений.
5. На чём основан голографический метод получения изображений?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.
2. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

- I. <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/index.htm>
- II. <http://www.videoscan.ru/page/718>
- III. <http://www.bnti.ru/showart.asp?lvl=02.01.04.&aid=618>
- IV. <http://www.bestreferat.ru/referat-67092.html>

ГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LabVIEW И ПЛАТФОРМА NI Vision

- 1. ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СРЕДЕ LabVIEW
- 2. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ПЛАТФОРМЕ Vision Assistant
- 3. КОМПОНЕНТЫ МОДУЛЯ NI Vision В СРЕДЕ LabVIEW
 -  Литературные источники
 -  Ссылки на Интернет-ресурсы

1. ОСНОВЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В СРЕДЕ LabVIEW



Среда программирования **LabVIEW** (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) – это среда, с помощью которой можно создавать различные приложения, используя графический язык представления элементов программного алгоритма. Программы, созданные в среде программирования **LabVIEW**, называются виртуальными приборами (**ВП**), поскольку их внешний вид и выполняемые ими функции схожи с внешним видом и функциями реально действующих измерительных приборов, например, таких как: мультиметр, генератор, осциллограф и др.

Следует отметить, что среда программирования **LabVIEW** содержит довольно большой набор инструментальных средств – сбора, хранения, анализа и представления данных. Используя многообразие возможностей современного программного обеспечения, измерительная система, созданная в среде **LabVIEW**, является более гибкой по сравнению с обычными лабораторными приборами [[1, с. 31–36](#)].

Составление программы в среде **LabVIEW** начинается с создания интерфейса пользователя в окне лицевой панели (*Front Panel*). Пример такой лицевой панели **ВП** приведен на [рис. 1](#). На этой панели обычно располагаются элементы управления (*controls*) и индикации (*indicators*). Элементами управления являются: ручки управления, кнопки и переключатели, которые имитируют типовые органы управления лабораторных измерительных приборов. Индикаторы – отображают входные, промежуточные и выходные данные, являющиеся органами регистрации. Со стороны пользователя взаимодействие с лицевой панелью **ВП** осуществляется через экран компьютера с использованием клавиатуры и мыши.

Исходный графический код виртуального прибора в **LabVIEW** располагается в окне блок-диаграммы (*Block Diagram*), пример которой приведен на [рис. 2](#).

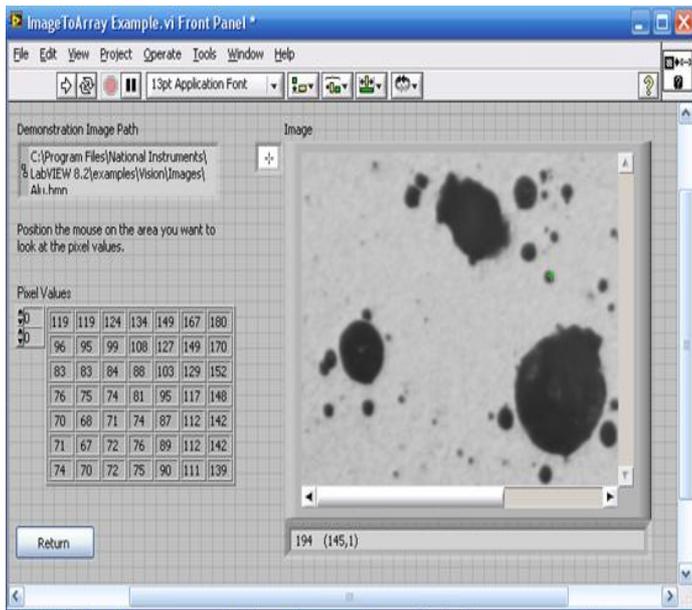


Рис. 1. Пример лицевой панели виртуального прибора

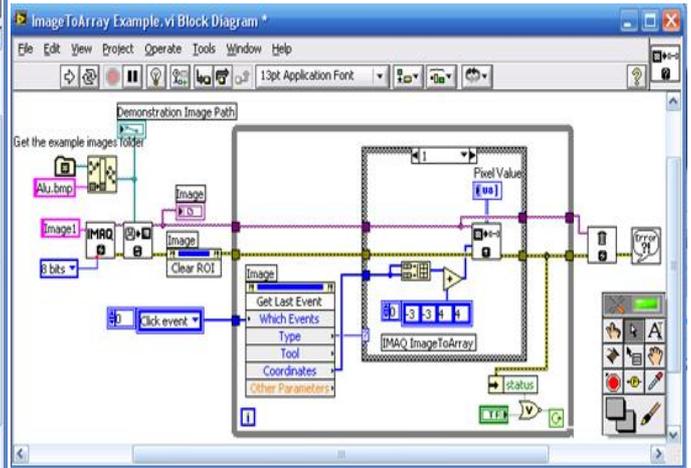


Рис. 2. Пример блок-диаграммы виртуального прибора

В том случае, когда необходимо поместить элемент управления или индикатор на лицевую панель **ВП**, на блок-диаграмме автоматически создается иконка-символ помещённого элемента. Код блок-диаграммы в среде программирования **LabVIEW** соответствует строкам текста в обычных языках программирования. При этом сам код представляет собой набор соединенных графических иконок-символов, т.е. конструирование блок-диаграммы осуществляется путём соединения между собой графических объектов, выполняющих определенные функции **ВП**.

Соединение графических объектов производится с помощью мыши через терминалы (*terminals*). При этом виртуальный прибор представляет собой единое целое за счёт проводников данных (*wires*), соединяющих узлы (*nodes*) и терминалы используемых в программном коде элементов.

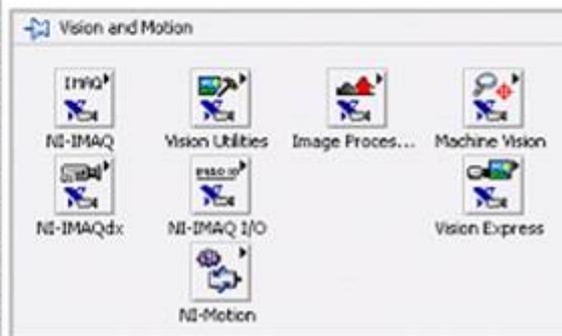


Рис. 3. Виртуальные приборы раздела *Vision and Motion*

Терминалы можно рассматривать как источники и приёмники данных или порты ввода и вывода подпрограмм. Источниками данных для программы могут служить узлы подпрограмм или подприборов сбора данных специальных измерительных плат или терминалы элементов управления на лицевой панели, а приёмниками – терминалы индикаторов, подприборы вывода данных или функции сохранения данных в файл. Такая структура программы на **LabVIEW** позволяет реализовать модель потока данных для их обработки, когда данные как бы втекают в программу через перечисленные узлы, обрабатываются и вытекают из неё на

узлы индикации или записи в файл. При этом потоки, не связанные между собой общими данными, в отличие от традиционных языков программирования, в среде **LabVIEW** обрабатываются параллельно.

Терминалы данных имеют прямоугольную форму и содержат буквенно-графическое обозначение, характеризующее тип и форму представления воспринимаемых ими данных. По виду терминала можно легко определить, является ли он источником или приёмником данных и какие типы данных он воспринимает. Для выявления таких различий используются различия в цвете терминала, толщина его внешней рамки и направление треугольной стрелки внутри него. В частности, терминалы воспринимающие числовые данные с плавающей запятой, имеют оранжевый цвет, целочисленные данные – синий цвет, логические – зеленый цвет, а строковые – розовый цвет.

В верхней части окна лицевой панели и окна блока диаграмм располагается традиционная для приложений операционной системы **Windows** полоса Главного меню с одинаковыми для обоих окон пунктами **File, Edit, View, Project, Operate, Tools, Windows** и **Help**. Ниже полосы Главного меню размещается полоса панели, предназначенная для запуска и редактирования **ВП**. У окна блока диаграмм на этой панели имеются также дополнительные кнопки для отладки программы.

Для запуска программы на выполнение служит расположенная слева кнопка в виде стрелки. Если изображение стрелки на кнопке разорвано, то это значит, что программа имеет ошибки. В этом случае нажатие на кнопку запуска вызовет окно ошибок, в котором будут указаны местоположение ошибки и возможный вариант её исправления.

Особенностью **LabVIEW** является относительная простота и высокая производительность разработки виртуальных приборов. Это поддерживается достаточно большим множеством средств и инструментов, а также самим принципом графического программирования, когда готовые функциональные узлы, обеспечивающие выполнение алгоритма обработки информации, выбираются из имеющейся в среде **LabVIEW** палитры функций **Functions**, переносятся в окно блок-диаграммы, а затем просто соединяются проводниками, по которым при запуске программы передаются данные. Таким же образом из палитры элементов управления **Controls** выбираются и устанавливаются на лицевой панели элементы управления и индикаторы. Всё это делается быстро, несколькими щелчками мыши. Изображения виртуальных приборов и функций раздела **Vision and Motion** палитры **Functions** приведены на [рис. 3](#).

Все операции, необходимые для установки, соединения, редактирования функциональных узлов и элементов на лицевой панели и в блок-диаграмме осуществляются с помощью вспомогательной палитры инструментов **ToolsPalette**. Функциональные назначения основных инструментов этой палитры приведены в [табл. 1](#).

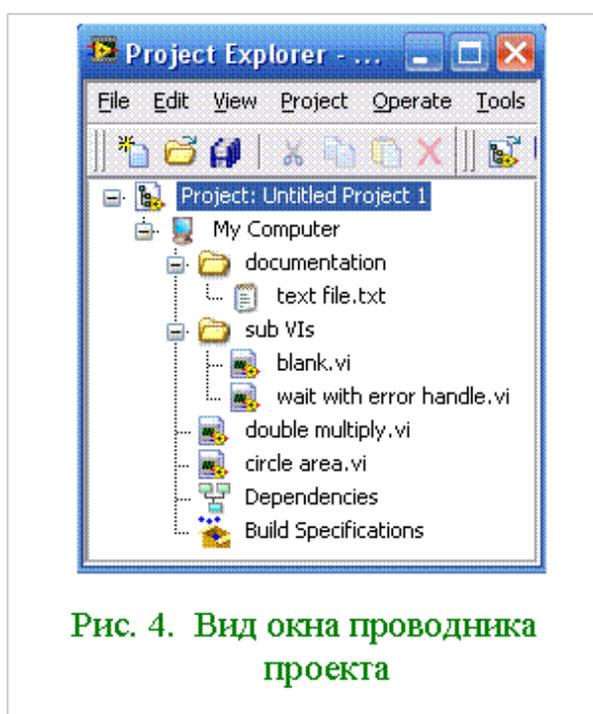
Таблица 1

Инструменты редактирования в среде программирования **LabVIEW**

	Инструмент управления - используется для изменения значений элементов управления или ввода текста
	Инструмент перемещения - используется для выбора, перемещения или изменения размеров объектов
	Инструмент редактирования текста - используется для ввода и редактирования текста и создания свободных меток
	Инструмент соединение - применяется для соединения объектов на блок-диаграмме
	Инструмент контрольная точка - позволяет размещать и удалять контрольные точки на проводниках данных, узлах, структурах и приостанавливать в них выполнение программы
	Инструмент пробник данных - позволяет наблюдать изменение данных в проводниках блок-диаграммы при выполнении программы
	Инструмент получить цвет - служит для копирования цвета с последующей вставкой с помощью инструмента установить цвет
	Инструмент установить цвет - предназначен для изменения цвета объекта, он также отображает текущие цвета переднего и заднего плана

При выборе определенного инструмента из палитры инструментов значок курсора мыши приобретает форму этого инструмента. В среде **LabVIEW** можно установить режим автоматического выбора инструментов. Для этого достаточно включить кнопку  на палитре инструментов. При включенном автоматическом выборе инструмента наведение курсора на объект лицевой панели или блок-диаграммы виртуального прибора приводит к автоматическому выбору соответствующего инструмента из палитры инструментов.

Интересным элементом рабочей среды **LabVIEW** является оболочка управления проектами, призванная обеспечить разработку распределенных приложений. Проект (**Project**) поддерживает коллективную разработку больших приложений за счёт включения интегрированных средств управления исходными текстами и библиотек проекта, содержащих исходные коды в виде модульных унифицированных функций, которые можно многократно вызывать из различных подсистем. Для создания и редактирования проектов служит окно **Project Explorer** (Проводник проекта). Вид окна Проводника проекта показан на [рис. 4](#).



В окне отображаются:

- - название проекта;
- - платформа, на которой осуществляется проект;
- - список используемых программ, подпрограмм и библиотек виртуальных инструментов;
- - элементы **XControl**, разделяемые переменные и объекты классов;
- - подключаемые к основной платформе дополнительные элементы (раздел **Dependencies**).

С помощью проводника проекта к существующему проекту можно добавлять различные новые папки, файлы и библиотеки виртуальных приборов, а также конфигурировать автономные приложения [[2, с. 8–23](#)].

2. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ПЛАТФОРМЕ Vision Assistant

Разработчик аппаратно-программного комплекса **LabVIEW** корпорация **National Instruments** предлагает в дополнение к основным средствам создания компьютерных измерительно-контрольных систем ряд специфических модулей и программных продуктов. Одной из специализированных технологий **National Instruments** является платформа технического зрения **NI Vision**. Она состоит из технологических аппаратных средств по сбору и захвату изображений с различного вида видеокамер и приёмников видеоизображения и программных модулей по обработке и анализу изображений. Наиболее простым и удобным средством, при помощи которого можно легко и быстро осуществить любые необходимые действия над введенными изображениями, является модуль **Vision Assistant**.

Vision Assistant – это среда разработки прототипов систем, способная генерировать готовые к работе виртуальные приборы **LabVIEW**, а также программный код на языке **LabWindows**, **C / C++** и **Visual Basic**.

Рассмотрим типовой сеанс работы с модулем **Vision Assistant** на примере одного из поставляемых вместе с этим пакетом демонстрационных проектов. При открытии **Vision Assistant** выберем опцию **Solution Wizard** и запустим демонстрационный проект **Metal Particle Analysis** из раздела **Tutorial**. Задачей проекта является анализ структурной стабильности металла, обнаружение и выделение в нём круглых частиц.

Рассмотрим содержимое передней панели программы **Vision Assistant** после загрузки проекта. Оно представлено на [рис. 5](#).

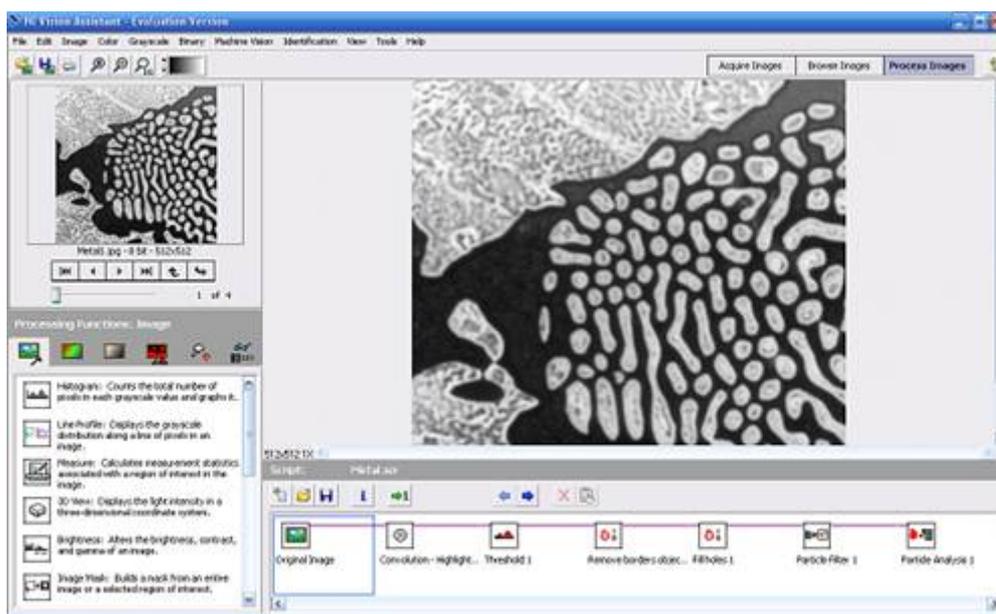


Рис. 5. Внешний вид **Vision Assistant** с загруженным проектом

Обрабатываемое изображение располагается в центре экрана. Оно будет изменяться по мере того, как над изображением будут осуществляться те или иные операции. Внизу экрана справа располагается окно **Script**, в котором путём выбора пиктограмм операций составляется сценарий обработки исходного изображения. В левой нижней части экрана располагается набор палитр программных инструментов – виртуальных приборов, с помощью которых можно производить обработку изображения. Все инструменты сгруппированы по нескольким палитрам, в зависимости от их функциональности. Чтобы использовать тот или иной инструмент из палитры, достаточно выбрать левой кнопкой мыши пиктограмму данного инструмента, в открывшемся диалоговом окне настроить его параметры и нажать кнопку **OK**. Изображение выбранного инструмента добавится к списку выполняемых процедур.

В демонстрируемом проекте выполнение задачи происходит за 6 последовательных шагов-операций:

1. **Convolution Highlight Details** – выделение ярко освещенных объектов (деталей);
2. **Threshold** – выделение деталей по определенному порогу яркости;
3. **Remove borders objects** – удаление границ объектов;
4. **Fillholes** – заполнение пустот и отверстий;
5. **Particle Filter** – фильтрация частиц по размеру;
6. **Particle Analysis** – проведение анализа частиц.

Изображение пиктограммы введенной в окно *Script* последовательности операций по решению поставленной задачи показано на [рис. 6](#).

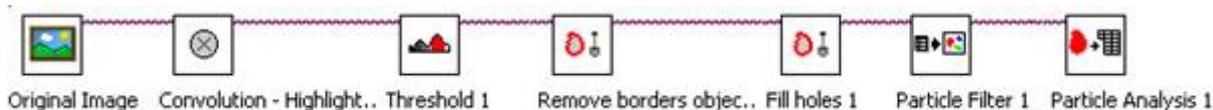
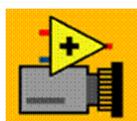


Рис. 6. Изображение последовательности операций в окне *Script*

После отладки сценария обработки изображения в *Vision Assistant* для продолжения работы над проектом можно экспортировать готовый код в программную среду *LabVIEW*. Для этого в меню *Tools* необходимо выбрать пункт *Create LabVIEW VI* и указать путь сохранения и имя файла.

В результате будет создан виртуальный прибор, на блок-диаграмме которого будут располагаться виртуальные инструменты, аналогичные тем, что были использованы в *Vision Assistant*.

3. КОМПОНЕНТЫ МОДУЛЯ NI Vision В СРЕДЕ LabVIEW



Модуль *NI Vision Development Module* имеет в своем составе библиотеку более чем из 200 виртуальных приборов, выполняющих функции обработки изображений [[3, с. 44–50](#)]. Они находятся на палитре, которая называется *Vision and Motion*.

Эта палитра имеет большое число уровней вложенности, различаемых по функциональному назначению ([рис. 7](#)). Можно считать, что палитры самого верхнего уровня представляют собой группы методов, далее каждая группа содержит собственно палитры, а в каждой палитре уже находятся отдельные инструменты и функции.



Рис. 7. Состав палитры *Vision and Motion*

Палитры групп *NI-IMAQ*, *NI-IMAQ* и *NI-IMAQ I/O* предназначены главным образом для организации связи с аппаратными средствами систем технического зрения. Палитры групп *Vision Utilities*, *Image Processing* и *Machine Vision* содержат основные функции по обработке изображений. В [табл. 2](#) представлены названия некоторых из палитр, наиболее часто используемых на практике.

Имеющиеся в палитре групп функции *Vision Express* являются наиболее удобным средством для создания готового к применению виртуального прибора.

Таблица 2

Основные группы функций обработки изображений

Группа	Палитра	Функциональное назначение
Vision Utilities	Pixel Manipulation	Управление растровыми изображениями и графическими примитивами
	Calibration	Функции калибровки изображений для работы с метрической точностью и пространственным разрешением
Image Processing	Processing	Функции гистограммной обработки изображения
	Filters	Фильтрация изображения в пространственной области, корреляция, выделение контуров
	Morphology	Бинарная и полутоновая морфология, удаление областей, сегментация, разбиение
	Analysis	Функции сбора статистики и анализа по областям, гистограммы
	Color Processing	Цветовая гистограммная обработка и пороговая сегментация
	Operators	Алгебраические операции над изображениями
Machine Vision	Coordinate System	Определение систем координат, связанных с примитивами
	Measure Intensities	Функции яркостных измерений
	Measure Distances	Функции 2D-измерений
	Locate Edges	Выделение геометрических примитивов
	Find Patter	Функции привязки эталонов
	Caliper	Функции работы с краями профиля
	Instruments Readers	Функции считывания

Проводя все настройки в диалоговом режиме, они позволяют быстро связать источник изображения с элементами индикации.

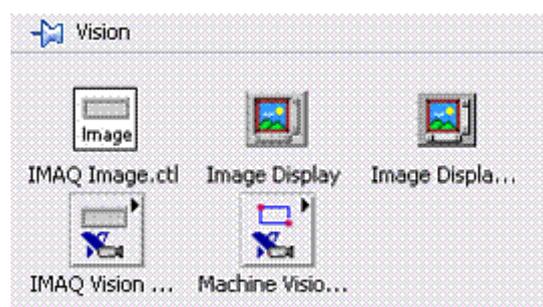


Рис. 8. Элементы индикации изображений модуля *Vision*

В группу *Vision Express* входят две функции: *Vision Assistant* и *Vision Acquisition*. Первая из этих функций вызывает помощника по разработке кода в окне *Script* модуля *Vision Assistant*, процедура создания которого была рассмотрена в [разделе 2](#). Вызов функции *Vision Acquisition* приводит к появлению диалоговых окон, уточняющих алгоритм считывания и представления изображения.

Элементы индикации и контроля, входящие в состав модуля *Vision*, находятся на палитре средств управления

Controls (рис. 8). Здесь имеются различные графические дисплеи для вывода изображения на переднюю панель виртуальных приборов, а также соответствующие средства контроля и управления над источником изображения и самим изображением.

Таким образом, функциональные возможности среды визуального программирования **LabVIEW** с внедренной в неё платформой **NI Vision**, разнообразие готовых к применению виртуальных приборов и функций позволяют достаточно быстро и успешно решить многие задачи, связанные с проектированием и практическим созданием систем технического зрения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *LabVIEW для всех*. Джеффри Тревис / Пер. с англ. Клушин Н.А. – М.: ДМК Пресс; Прибор Комплект, 2004. – 544 с.
2. Суранов А.Я. *LabVIEW 8.20: Справочник по функциям*. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
3. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржин А.В. *Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision*. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. <http://www.ni.com/> Сайт компании National Instruments.
2. <http://www.labview.ru/> Сайт Российского отделения компании National Instruments.

СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НА ПЛАТФОРМЕ NI Vision

- 1. [ПОРЯДОК СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В NI Vision](#)
- 2. [ПРИМЕРЫ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ](#)
 - [Литературные источники](#)
 - [Ссылки на Интернет-ресурсы](#)

1. ПОРЯДОК СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ В NI Vision

До начала создания виртуальных приборов и приложений с использованием модуля *NI Vision*, предполагающих сбор, анализ и обработку изображений, необходимо установить соответствующее оборудование и программное обеспечение. Выбор и настройка оборудования зависят от характера среды проведения измерений, а также применяемых методов анализа. Чтобы получить необходимую информацию без потерь, система обработки изображений должна получать данные с максимально возможным качеством.

Существенным компонентом системы ввода видеоизображения является соответствующее программное обеспечение, поставляемое разработчиками совместно с устройствами ввода изображений в компьютер. Неотъемлемой составной частью этого программного обеспечения являются *драйвера*, т.е. специальные библиотеки, обеспечивающие связь устройства ввода изображения с источником изображения в соответствии с установленным протоколом.

В операционной системе *Windows* существуют стандартные протоколы обмена видеоданными. Для потокового видеовхода с видеокамер обычно используется протокол *Video for Windows (VFW)*. Среда программирования *LabVIEW* имеет собственное средство для установки периферийных видеоустройств и непосредственной работы с ними – *Hardware Navigator*. Именно этот протокол фирма *National Instruments* рекомендует использовать при построении устойчиво работающих систем технического зрения и создании программ управления источниками изображения в среде *LabVIEW*.

Поэтому при создании приложений в среде программирования *LabVIEW* рекомендуется следующий порядок и последовательность действий:

1. подключить систему технического зрения к вычислительному комплексу с установленной на нем средой программирования *LabVIEW*, имеющей в своём составе модули *NI Vision* и *Vision Acquisition*;
2. провести калибровку системы технического зрения и вычислительного комплекса на соответствие реальным координатам каждого отображаемого элемента изображения;
3. ввести изображение в вычислительный комплекс из системы технического зрения;
4. осуществить сбор данных о введённом изображении, т.е. составить библиотеку признаков для дальнейшего распознавания исследуемого объекта или физического явления на изображении и ввести эту библиотеку в вычислительный комплекс;
5. провести коррекцию и первичную обработку исходных данных с использованием функций *IMAQ* в модуле *NI Vision*;
6. осуществить анализ введённого изображения и отобразить результаты анализа.

Таблица 1

Виртуальные приборы и функции *LabVIEW* модуля *Vision*, предназначенные для организации ввода и считывания изображений

Виртуальный прибор	Функциональное назначение
IMAQ Create 	Создать изображение
IMAQ Snap.vi 	Захват фрагмента изображения
IMAQ Grab Setup.vi 	Настройка захвата изображения
IMAQ Grab Acquire.vi 	Сбор данных видеопотока
IMAQ Sequence.vi 	Покадровое считывание изображения
IMAQ Close.vi 	Завершение считывание изображений
IMAQ Dispose 	Освобождает память, ранее занятую изображением

Виртуальные приборы и функции *LabVIEW* модуля *Vision*, предназначенные для организации ввода и считывания изображений, приведены в [табл. 1](#).

Для того чтобы в разрабатываемой программе виртуального прибора ввести изображение, используется функция *IMAQ Create*, расположенная в палитре *Vision Utilities*. При использовании этой функции следует указать источник и тип принимаемых данных. Источником данных может быть: видеокамера, файл, данные из двумерного массива и др.

Однократный сбор данных об изображении можно осуществить с помощью функции *IMAQ Snap* – захват фрагмента изображения. После вызова данной функции инициализируется работа источника изображения и считывается видеофрагмент.

Для непрерывного сбора данных необходимо применять захват видеоизображения. В этом случае чтение выполняется в цикле и данные пишутся в буфер. Применяемые для этой задачи функции *IMAQ Grab Setup* (настройка), *Grab Acquire* (сбор) и *IMAQ Close* (остановка) предназначены соответственно для установки параметров видеозахвата, сбора данных и завершения выполнения кода. Использование указанных функций позволяет выполнять чтение видеоизображения с достаточно высокой скоростью.

Для чтения фиксированного числа фрагментов изображения используется функция *IMAQ Sequence*. В случае применения данной функции происходит сбор данных до тех пор, пока количество считанных фрагментов не станет равным числу, запрошенному оператором.

Для чтения и обработки изображений из файлов применяются виртуальные приборы и функции, расположенные в палитре *Vision Utilities*. С помощью расположенных здесь функций можно

обрабатывать такие форматы изображения, как *bmp*, *tiff*, *jpeg*, *png*, а также видеоизображения в формате *avi*.

Для конвертации данных из двумерного изображения предназначены функции *IMAQ ArrayToImage* и *IMAQ ImageToArray*. Данные отображаются на экране с помощью графических экранов *Image*, расположенных на панели инструментов *Controls/Vision*. После чтения и отображения данных проводится их анализ в соответствии с поставленной задачей. Предварительно можно определить, является ли качество изображения достаточным для выполнения задачи. Для этих целей используются функции *IMAQ Histogram* (Гистограмма) и *IMAQ LineProfile* (Профиль линии).

Гистограмма позволяет получить информацию о насыщенности и контрастности изображения, а профиль линии – о распределении точек вдоль заданной линии. Кроме того, можно также определить распределение точек в заданном контуре с помощью функции *IMAQ ROIProfile*. Все эти функции находятся в палитре *Image Processing/Analysis* (рис. 1).

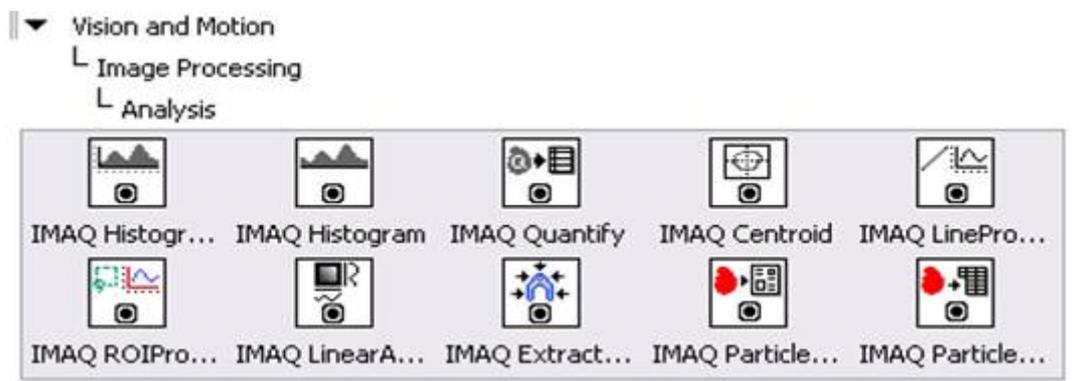


Рис. 1. Состав палитры *ImageProcessing/Analysis*

Информация, полученная при анализе, может быть использована для улучшения качества изображения. В модуле для разработки систем технического зрения для этого используются различного рода виртуальные приборы фильтров, расположенные на палитре *Image Processing/Filters* (рис. 2).

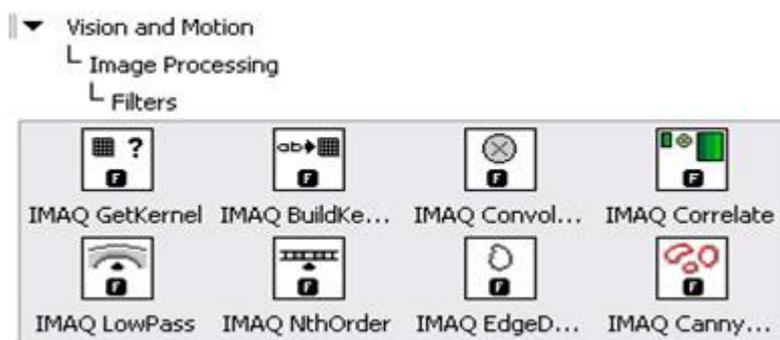


Рис. 2. Состав палитры *Image Processing/Filters*

Для выполнения монохромных измерений предназначены виртуальные приборы измерения яркости, расположенные на палитре *Machine Vision/Measure Intensities* (рис. 3).

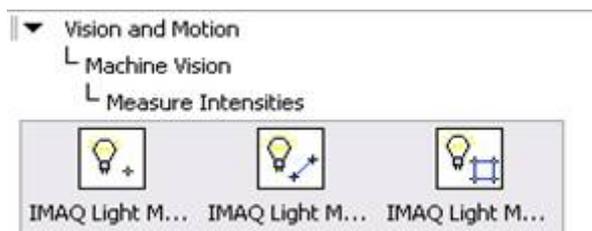


Рис. 3. Состав палитры *Machine Vision/Measure Intensities*

Для анализа и обработки цветных изображений используются виртуальные приборы, расположенные на палитре *Vision Utilities/Color Utilities* (рис. 4).

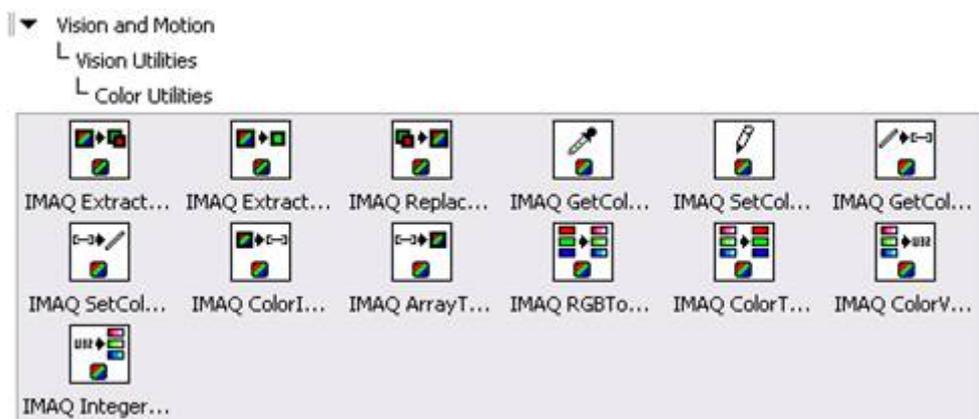


Рис. 4. Состав палитры *Vision Utilities/Color Utilities*

Таким образом, имеющиеся в *IMAQ Vision* виртуальные приборы и функции позволяют обрабатывать как чёрно-белые изображения, так и цветные, обеспечивают геометрические преобразования, фильтрацию изображения, взвешивание, коррекцию, построение распределений, калибровку, а также поиск и выделение краев объектов, определение геометрических параметров объектов и их классификацию, а также проведение статистического и морфологического их анализа.

2. ПРИМЕРЫ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Рассмотрим некоторые практические примеры создания виртуальных приборов в среде *NI LabVIEW*, позволяющие считать и проанализировать введенное изображение.

2.1. Считывание и вывод изображения из файла

Пусть стоит задача средствами *LabVIEW* и модуля *NI Vision* считать ранее записанный файл изображения и вывести это изображение на экран. Поставленная задача может быть решена несколькими способами.

Первый способ. Он является наиболее простым. В нём используется *Vision Express* функции *Vision Acquisition*. Для вызова этой функции достаточно после запуска *LabVIEW* в окне блок-диаграмм разрабатываемого виртуального прибора выбрать палитру *Vision Express* и перетащить значок функции *Vision Acquisition* на поле программирования – окно блок-диаграмм. Далее в

появившемся диалоговом окне необходимо за четыре шага сконфигурировать процедуру ввода и вывода изображения.

- **Первый шаг.** На закладке *Select Acquisition Sources* указывается, что представляет собой источник изображения: *FolderofImages* (папка с файлами изображений) или *AVI* (видеофайл формата *avi*). После указания типа источника изображения (в данном случае это папка с файлами изображений) надо нажать кнопку *Next* и перейти к следующей закладке.
- **Второй шаг.** На закладке *Select Acquisition Type* выбирается порядок ввода изображения:
 - *Single Acquisition with procession* – однократный ввод изображения;
 - *Continuous Acquisition with inline procession* – непрерывный многократный ввод изображения;
 - *FiniteAcquisitionwithinlineprocession* – многократный ввод ограниченного количества изображений.
- **Третий шаг.** На закладке *Configure Acquisition Setting* указывается путь и местоположение файла изображения, который необходимо ввести. При необходимости можно провести тестовый ввод и вывод изображения на экран компьютера с помощью кнопки *Test*.
- **Четвёртый шаг.** Конфигурируются терминальные входы и выходы создаваемого виртуального прибора, т. е. отмечаются устройства управления и индикации.

При нажатии на кнопку *Finish* формируется виртуальный прибор с заданными функциями. Пример полученного программного кода и лицевой панели созданного виртуального прибора показан на [рис. 5](#).

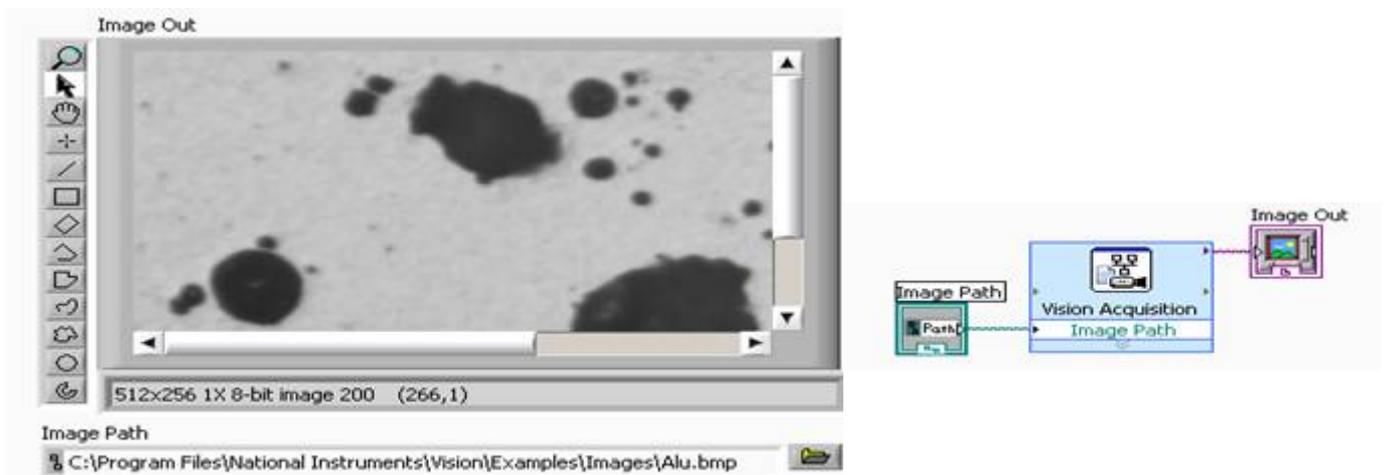


Рис. 5. Блок-диаграмма и лицевая панель программы считывания изображения с использованием экспресс-функции *Vision Acquisition*

Блок-диаграмма содержит всего одну функцию *Vision Acquisition*, указатель пути расположения файла изображения *Image Path* и экран дисплея для вывода изображения *Image Out*.

Второй способ. Поставленная задача по считыванию и выводу изображения может быть решена также с использованием имеющихся в *NI-IMAQ* функций низшего уровня. В качестве примера на [рис. 6](#) приведен возможный вариант программного кода и лицевая панель такого виртуального прибора.

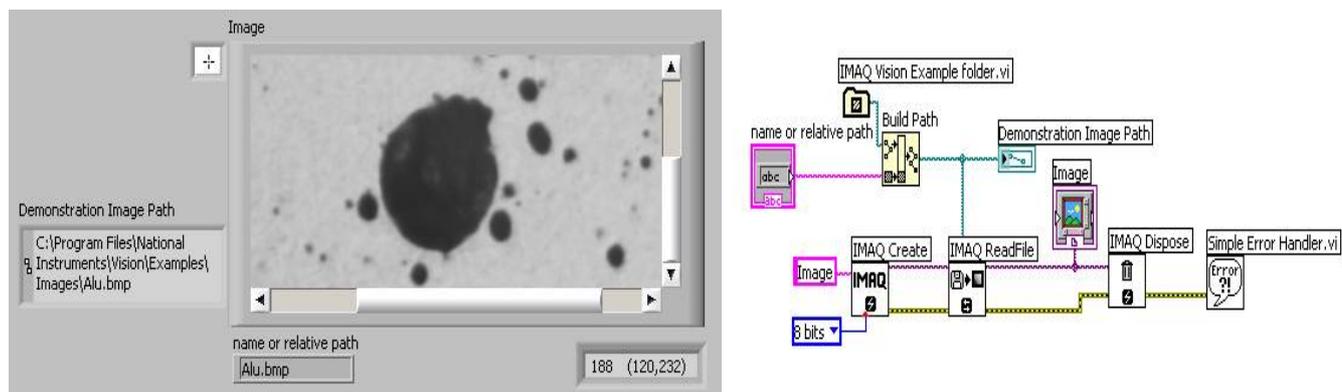


Рис. 6. Блок-диаграмма и лицевая панель программы считывания изображения с использованием функций *IMAQ Vision*

При создании блок-диаграммы здесь задействованы следующие функции палитры *Vision IMAQ*:

- **Create** – функция резервирования памяти для ввода изображения, расположена на палитре *Vision Utilities/Image Management*. На соответствующем входном терминале этой функции обязательно должно быть указано идентификационное имя вводимого изображения, например, *Image*.
- **ReadFile** – функция чтения изображения из файла, расположена на палитре *Vision Utilities/Files*. В качестве обязательного параметра здесь указывается полный путь расположения считываемого файла.
- **Dispose** – функция освобождения зарезервированной под изображение памяти, расположена на палитре *Vision Utilities/Image Management*.

Дополнительные элементы, функции и виртуальные приборы, использовавшиеся при разработке программного кода для решения поставленной задачи, обеспечивают ввод в программу всей необходимой информации о файле изображения.

2.2. Практические примеры анализа изображений

Гистограммный анализ изображения

Гистограмма представляет собой график одномерной функции, с помощью которой можно оценить яркость изображения и его контраст. Благодаря своей высокой эффективности методы гистограммных преобразований широко применяются при решении задач обработки изображений. Гистограммная обработка позволяет определить на плоскости изображения местоположения отдельных областей и объектов, соответствующих тем или иным диапазонам значений яркости. При необходимости, используя методы гистограммных преобразований, можно осуществить качественное контрастирование, т.е. выделение на общем фоне мелких деталей изображения.

Важным этапом при использовании гистограммных методов преобразований является корректное построение гистограммы распределения яркостей элементов изображения. Для полутонового, чёрно-белого изображения гистограмма представляет собой одномерный целочисленный массив из 256 элементов, соответствующий уровню 8-битного числа.

Блок-диаграмма и лицевая панель виртуального прибора, осуществляющего построение гистограммы распределения яркостей элементов чёрно-белого изображения, приведены на [рис. 7](#).

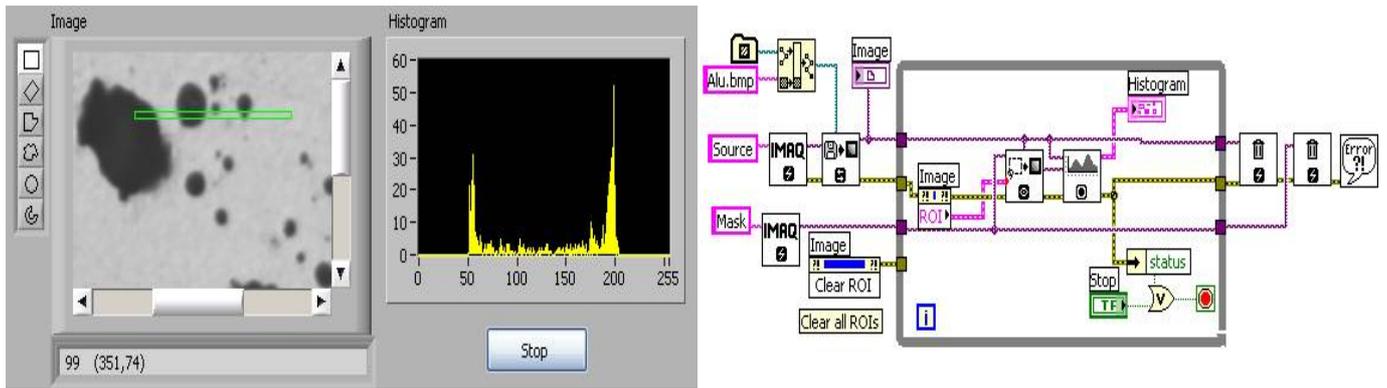


Рис. 7. Блок-диаграмма и лицевая панель виртуального прибора, осуществляющего построение гистограммы изображения

При построении блок-диаграммы использовались известные по предыдущему заданию функции считывания изображения из файла. Обработка введённых данных изображения производится в цикле.

На языке *LabVIEW* цикл представляет собой замкнутую структуру, для выхода из которой требуется определённое условие. В представленной программе этим условием является нажатие на кнопку **Stop**. Кроме того, в тело цикла введён условный логический оператор для корректного завершения и выхода из цикла в случае возникновения по какой-либо причине ошибки при выполнении программы. Путь прохождения сигнала об ошибке на блок-диаграмме обозначен жёлтой линией.

Операция построения и визуализация гистограммы осуществляется в программе виртуальным прибором *IMAQ Histogram*. На блок-диаграмме этот прибор изображен в виде значка



. Входными параметрами этого ВП являются [1, с. 125]:

- исходное изображение *Image*;
- область интереса на изображении *Image Mask*;
- диапазон яркостей *Interval Rang*, внутри которого производится сбор гистограммы;
- число ячеек гистограммы – *Number of Classes*.

На выходе *IMAQ Histogram* имеется терминал *Histogram Graph*, к которому подключается экран для отображения графика гистограммы.

Область интереса на изображении, для которой необходимо провести анализ и построить гистограмму, задается с помощью дополнительного виртуального прибора *IMAQ ROIToMask*. На



блок-диаграмме этот прибор изображен в виде значка . Входными параметрами прибора являются:

- ссылка на исходное изображение, для которого следует выделить область интереса;
- параметры, описывающие область интереса.

В представленном программном коде область интереса задается путём выделения с помощью курсора участка непосредственно на выводимом на дисплее изображении. Для этого предварительно в памяти компьютера резервируется память под специально выделенный участок – маску, а затем маска и изображение программно связываются друг с другом.

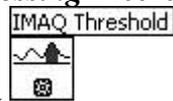
При нажатии на кнопку **Stop** действие программы в цикле прекращается, с помощью функций **IMAQ Dispose** освобождается зарезервированная ранее память и программа завершается.

Бинаризация полутоновых изображений

В обработке изображений часто используется процедура пороговой бинаризации, т.е. разбиение изображения на две области, одна из которых содержит все элементы изображения со значением ниже некоторого порога, а другая содержит все элементы изображения со значением выше этого порога [1, с. 127].

Для реализации бинаризации можно самостоятельно разработать программу, используя для этих целей, например, гистограмму яркости изображения. Однако в среде программирования **LabVIEW** уже имеются готовые к применению виртуальные приборы, позволяющие значительно облегчить процедуру программирования и сократить время на разработку соответствующего программного кода.

На палитре **Image Processing/Processing** имеется функция **IMAQ Threshold** (на палитре эта



функция изображена в виде значка (), которая как раз и производит бинаризацию изображения исходя из заданных значений минимального и максимального порогов. Блок-диаграмма и лицевая панель ВП, осуществляющая бинаризацию изображения с использованием указанной функции, приведены на [рис. 8](#).

Как видно из представленного на блок-диаграмме программного кода, сначала с помощью функции **IMAQ Create** резервируется память под изображение, а затем указывается источник изображения или путь расположения файла с изображением, после чего в цикле производится обработка введенных данных функцией **IMAQ Threshold**.

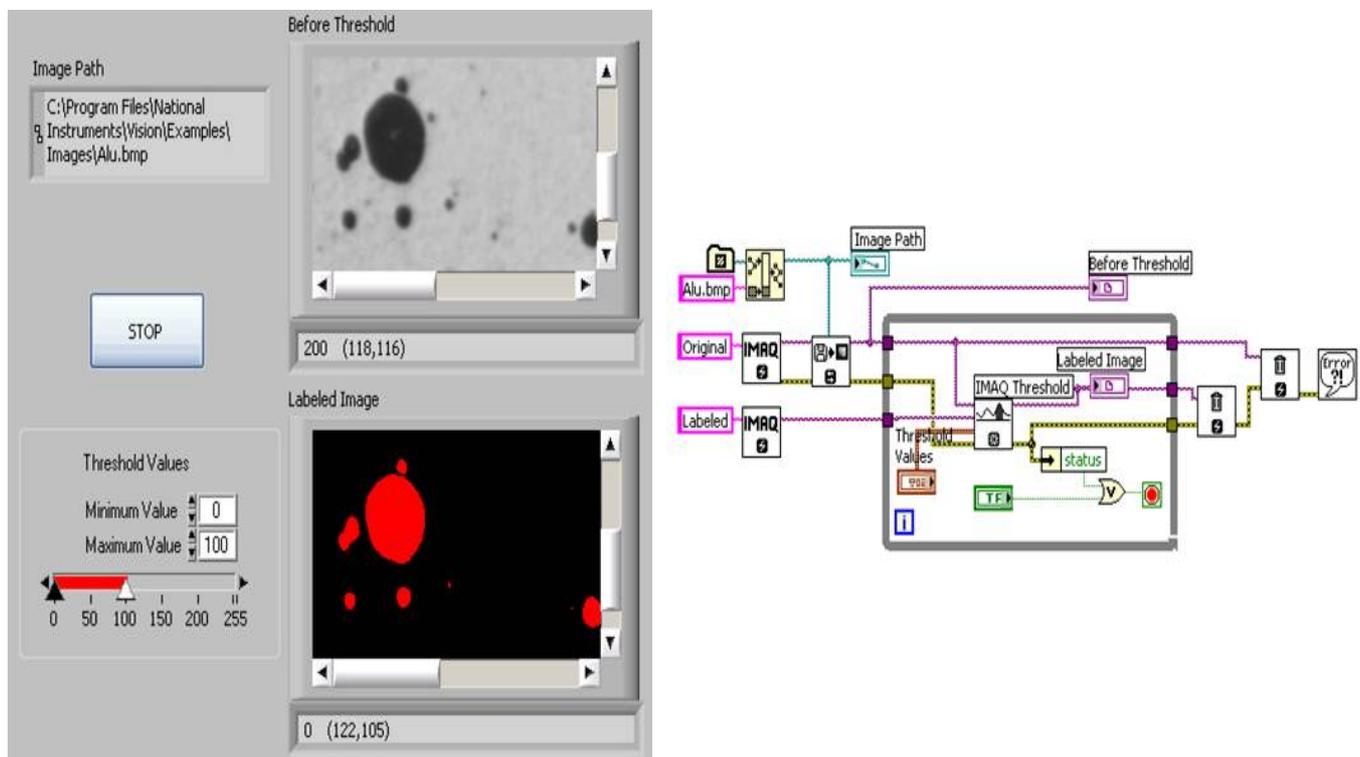


Рис. 8. Блок-диаграмма и лицевая панель виртуального прибора, осуществляющего бинаризацию изображения

Для удобства работы оператора лицевая панель созданного прибора имеет два экрана. На первый экран (*BeforeThreshold*) выводится исходное изображение, а на второе (*Labeled Image*) – обработанное. Пороги уровней бинаризации регулируются ползунковыми регуляторами с выводом значений порогов на цифровые дисплеи. Для закрытия программы обработки предназначена кнопка *Stop*, после нажатия на которую происходит выход из цикла обработки изображения и освобождение памяти.

Морфологический анализ изображений

Морфологический анализ осуществляет обработку изображений с учётом формы и размера имеющихся на изображении областей. Наиболее распространённая задача морфологического анализа – это выделение мелкоразмерных объектов, границ и характерных точек на изображении. Виртуальные приборы *NI Vision* среды *LabVIEW*, позволяющие проводить разнообразный морфологический анализ, приведены на панели *Image Processing/Morphology* (рис. 9).

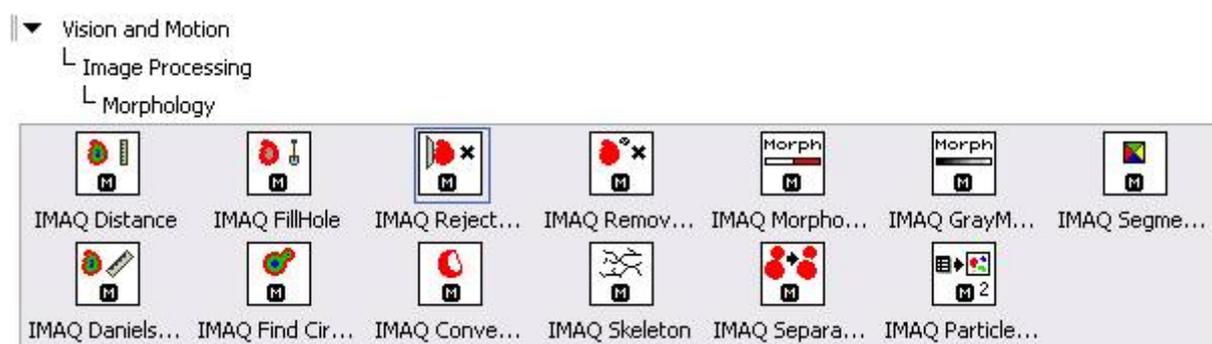


Рис. 9. Состав палитры *Image Processing/Morphology*

Операции полутоновой математической морфологии может реализовать виртуальный прибор *IMAQ Gray Morphology* [1, с. 241–250]. На вход данного ВП подается исходное обрабатываемое изображение и указывается тип применяемой морфологической операции:

- медиана *AutoM*;
- закрытие областей *Close*;
- открытие области *Open*;
- дилатация (расширение) *Dilate*;
- эрозия (сжатия) *Erode*.

Выбор конкретной операции и алгоритма морфологической обработки во многом зависит от самого изображения и имеющихся на нём объектов и деталей, а также фоновой обстановки. Чтобы в процессе обработки не исказить информацию о размерах объектов, рекомендуется последовательно проводить несколько операций закрытия и открытия, дилатации и эрозии областей с одними и теми же параметрами маски. В *IMAQ Gray Morphology* имеется возможность задать в качестве типа выполняемой морфологической операции цикл из семи последовательных операций закрытия и открытия (*PClose*) или цикл из семи последовательных операций открытия и закрытия (*POpen*) областей.

После морфологических операций выходное изображение можно подвергнуть последующей обработке и анализу. Предположим, что на изображении необходимо обнаружить объекты круглой формы определенного, заданного минимального и максимального радиуса. Для выполнения поставленной задачи можно воспользоваться виртуальным прибором *IMAQ Find Circles*. Этот прибор отделяет на изображении круглые частицы и классифицирует их по радиусу, периметру и площади поверхности. В комментариях по применению этого ВП утверждается [2,

с. 5–41], что он способен определять центр и радиус частиц, даже когда они многократно перекрываются.

Пример реализации виртуального прибора, осуществляющего морфологический анализ и выделение на изображении частиц круглой формы заданного радиуса, с использованием описанных выше функций приведен на рис. 10. Видно, что, как и во всех предыдущих случаях, с помощью функции *IMAQ Create* сначала резервируется необходимая память под изображение, затем указывается источник изображения, после чего в цикле производится обработка введенных данных. С помощью функции *IMAQ Threshold* проводится бинаризация исходного изображения, а затем морфологическая обработка функцией *IMAQ Gray Morphology*, и осуществляется поиск объектов круглой формы функцией *IMAQ Find Circles*.

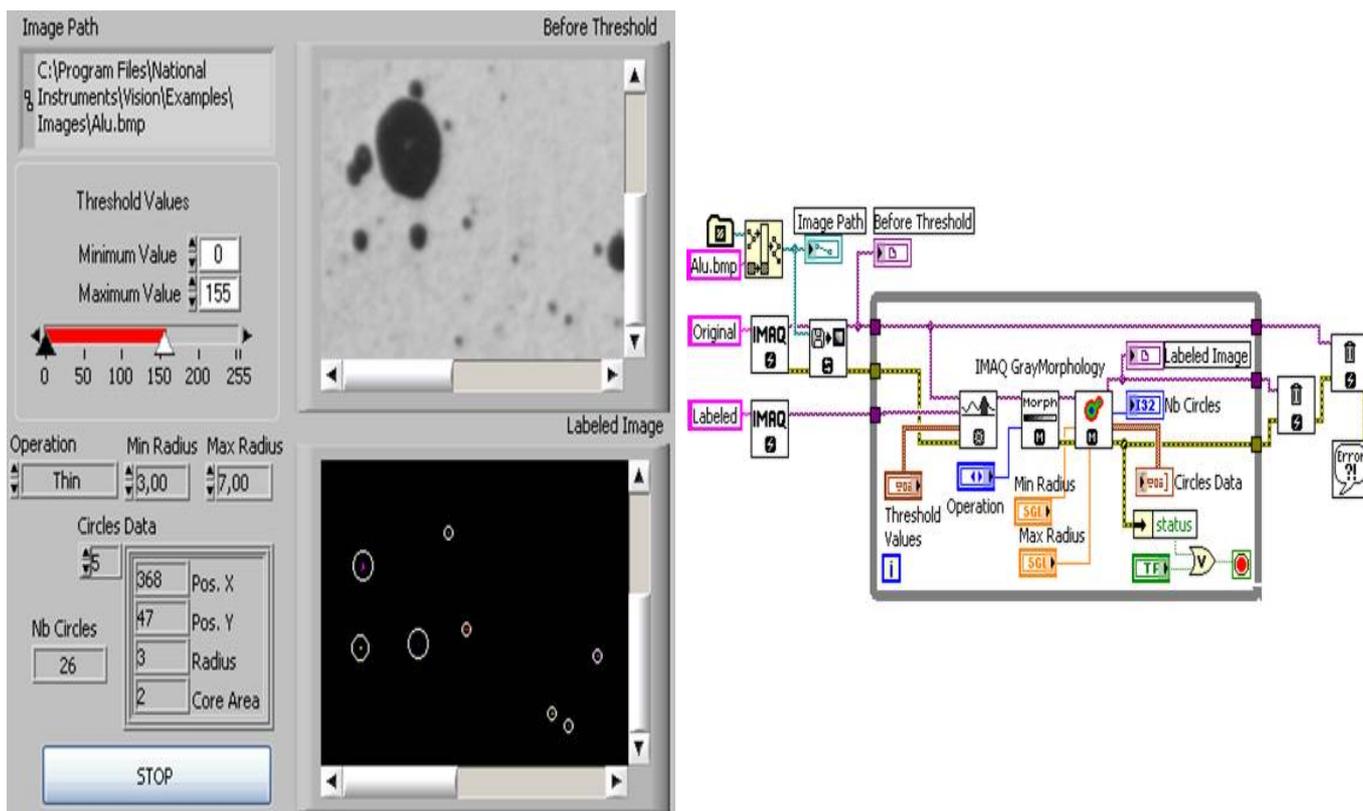


Рис. 10. Блок-диаграмма и лицевая панель виртуального прибора, осуществляющего поиск на изображении объектов заданного радиуса

В результате проведённых операций на экран выводятся все объекты, отвечающие заданным критериям. На лицевую панель прибора выводится также информация о количестве найденных объектов, их местоположении на изображении и параметрах.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржгин А.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.
2. *NI Vision Concepts Manual*. USA, Austin, National Instruments Corp., 2007. – 441 p.

Ссылки на Интернет-ресурсы

1. <http://www.ni.com/> Сайт компании National Instruments.
2. <http://www.labview.ru/> Сайт Российского отделения компании National Instruments.

На лабораторных занятиях студенты выполняют лабораторные работы, количество которых определено учебным планом по конкретной дисциплине.

Лабораторная работа №1. "Изучение графической среды программирования LabVIEW и виртуальных приборов модуля NI Vision".

- Запуск и настройка среды программирования LabVIEW;
- Окно лицевой панели управления, окно программного кода и окно проекта;
- Панель рабочих инструментов редактирования;
- Палитра функций и палитра инструментов управления виртуальных приборов;
- Палитра виртуальных приборов модуля NI Vision;
- Разбор практического примера с использованием виртуальных приборов модуля NI Vision.

Лабораторная работа №2. "Изучение основных функций обработки изображения с помощью приложений IMAQ Vision Assistant"

- Запуск и настройка модуля программирования IMAQ Vision Assistant;
- Методы ввода и считывания изображения;
- Инструменты обработки изображений модуля IMAQ Vision Assistant;
- Алгоритмы обработки изображений;
- Разбор практического примера обработки изображения с использованием инструментов модуля NI Vision.

Лабораторная работа №3. "Гистограммный анализ изображений"

- Организация ввода и считывания изображения для гистограммного анализа;
- Операция выделения области интереса;
- Обработка изображения с помощью виртуального прибора *IMAQHistogramh*;
- Вывод и протоколирование результата гистограммного анализа.

Лабораторная работа №4. "Компьютерная фильтрация изображений"

- Организация ввода и считывания изображения для его обработки и компьютерной фильтрации;
- Обработка и ранговая фильтрация изображения с помощью виртуального прибора *IMAQNthOrder*;
- Обработка и линейная гауссовская фильтрация изображения с помощью виртуального прибора *IMAQConvolute*;
- Обработка изображения с помощью виртуального прибора низкочастотной сглаживающей фильтрации *IMAQLowPass*;
- Вывод и протоколирование результатов фильтрация изображений.

Лабораторная работа №5. "Выделение краев и преобразование полутоновых изображений".

- Организация ввода и считывания изображения для его последующей обработки;
- Выделение контуров изображения с помощью операторов функций виртуального прибора ***IMAQEdgeDetection;***
- Выделение контуров изображения с помощью операторов функций виртуального прибора ***IMAQConvolute;***
- Вывод и протоколирование результатов обработки изображения.

Лабораторная работа №6. " Выделение и анализ связанных областей изображений"

- Организация ввода и считывания изображения для его последующей обработки;
- Разметка связанных областей;
- Сегментация изображения с помощью прибора ***IMAQSegmentation;***
- Фильтрация, анализ и подсчет связанных областей изображений;
- Вывод и протоколирование результатов обработки изображения.

Лабораторная работа №7. "Обнаружение на изображении объектов заданных эталонами"

- Организация ввода и считывания изображения для его корреляционной обработки;
- Выделение примитивов на изображении;
- Применение функций привязки эталонов;
- Корреляционный алгоритм обработки изображений
- Вывод и протоколирование результатов обработки изображения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторное занятие в составе лабораторного практикума - это практическое учебное занятие, проводимое в специализированной учебной лаборатории с целью углубления знаний и приобретения навыков постановки и проведения эксперимента в области изучаемой дисциплины. Объектом изучения при проведении лабораторных занятий настоящей дисциплины является моделирование в программно-аппаратных средствах отдельных элементов систем технического зрения и систем обработки изображения в целом. На лабораторных занятиях студенты выполняют лабораторные работы, количество которых определено учебным планом по конкретной дисциплине.

Лабораторная работа - конкретное учебное задание (перечень упражнений), необходимых для выполнения на лабораторном занятии, включающее в себя теоретическое описание, изложение и изучение которых предусмотрено рабочей программой, объект изучения, средства изучения (аппаратные или программные средства), используемые для наблюдения, контроля, измерений и расчетов. Лабораторные работы выполняются студентами согласно установленного в начале семестра расписания. Лабораторная работа выполняется исследовательской группой, не превышающей 2 человека. Количество лабораторных работ, выполняемых за учебное занятие, не должно превышать одну работу. Перенос выполнения назначенной лабораторной работы допускается только в пределах расписания по согласованию с преподавателем.

Основными целями проведения и выполнения лабораторных занятий являются:

- более углубленное освоение студентами теоретических положений предлагаемых учебным планом изучаемой дисциплины;
- получение практических навыков постановки и проведения экспериментальных исследований, путем изучения закономерностей и особенностей функционирования конкретных объектов исследования;
- освоение методов и способов, а также средств диагностики (наблюдения, измерения и контроля) используемых при постановке лабораторных работ;
- изучение методов и способов обработки полученных экспериментальных результатов;
- овладение формами представления и интерпретации результатов проведенных исследований;
- приобретение практических навыков выбора, настройки, регулировки, отладки аппаратных и программных средств исследования.

Перед выполнением лабораторных работ студенты проходят необходимое тестирование на знание теоретического материала, особенностей функционирования лабораторных установок и порядка проведения экспериментальных исследований.

В процессе подготовки и выполнения на лабораторных занятиях лабораторных работ студенты должны:

- понять смысл, содержание и значимость целей каждой предлагаемой для выполнения лабораторной работы;
- усвоить и понимать положения теории, относящиеся к особенностям изучения объекта исследования;
- **понять особенности методов (моделей) применяемых для наблюдения, контроля, измерений и вычислений в ходе выполнения лабораторной работы;**

- **понять обоснованность применения в лабораторной работе конкретных средств наблюдения, измерения, контроля и моделей.**

Лабораторная работа считается выполненной после соответствующего оформления, обсуждения и защиты работы с обоснованием полученных результатов лабораторных исследований.

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

1. Титульный лист;
2. Аннотацию - краткое содержание работы, включающее цель работы, объект исследований и используемый метод.
3. Краткое теоретическое рассмотрение изучаемого явления и краткий обзор литературы по изучаемому вопросу.
4. Описание эксперимента. В данном разделе, относящемся к постановке эксперимента, необходимо дать подробное описание используемых методов, последовательности операций, способов и приемов, которые характеризуют технологию эксперимента.
5. Методика измерений: описывается основная идея эксперимента и дается детальное описание методики измерений, средств измерений и диагностики. Алгоритм и программный код измерения.
6. Описание установки: дается подробное описание экспериментальной установки. Особое внимание уделяется тем ее элементам, которые могут влиять на результаты измерений.
7. Результаты измерений: приводится полный спектр первичных результатов измерений в виде таблиц и/или графиков. Детально описаны условия, при которых они получены.
8. Анализ результатов измерений, включающий:
 - обработку результатов - описываются используемые алгоритмы обработки результатов измерений;
 - оценку погрешностей - приводятся погрешности измеряемых величин и результатов измерений; описываются методики, с помощью которых определялись погрешности.
9. Обсуждение полученных результатов лабораторных исследований. Основной акцент дается на главный результат. Указывается область варьируемых параметров эксперимента, в которых полученный результат устойчив. Проводится сравнение полученных результатов с теоретическими выводами, обсуждаются их расхождения, и делается попытка их объяснения.
10. Выводы и заключение. Отмечается суть выполненной работы, делаются выводы. Приветствуются оригинальные подходы к решению поставленной задачи, критические замечания по улучшению методики проведения эксперимента.
11. Список используемой литературы. В разделе указывается используемая при выполнении работы основная и дополнительная литература.

Объем отчета по лабораторной работе должен, как правило, составлять порядка 8 - 10 стр. Текст набирается на компьютере и печатается на принтере.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



ГРОШЕВ ИГОРЬ ВЛАДИМИРОВИЧ

к.т.н., доцент кафедры радиофизики факультета физико-математических и естественных наук РУДН

Родился **15 марта 1947 года** в городе Москве.

В 1974 году окончил Московский Электротехнический институт связи, получив квалификацию «Радиоинженера».

В 1984 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Исследование и разработка методов спектрально-энергетической калибровки прецизионных телевизионных систем».

Преподавательской деятельностью занимаюсь с **1974 года** сначала во Всесоюзном заочном электротехническом институте связи, а затем в Московском техническом университете связи и информатики. **В РУДН** преподаю на кафедре радиофизики с **1992 года** дисциплины «Основы электроники» и «Основы телевидения».

Область моих научных интересов метрологическая аттестация телевизионных систем прикладного назначения в широком оптическом диапазоне. Под моим руководством защитили диссертации **два** выпускника кафедры радиофизики. За время работы мною опубликовано более **70** научных и научно-методических работ.

Электронный почтовый адрес: e-mail: din-giv@yandex.ru



КОРОЛЬКОВ ВЛАДИСЛАВ ИВАНОВИЧ

к.ф.-м.н., доцент кафедры радиофизики факультета физико-математических и естественных наук РУДН

Родился **13 апреля 1955** года в городе Полтава.

В **1978** году окончил Университет дружбы народов по специальности «Физика».

В **1990** году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «Акустооптические взаимодействия в волноводных структурах на непьезоэлектрических подложках».

В настоящее время работаю заведующим лабораторией «Радиоаппаратура и радиоизмерения» кафедры Радиофизики Российского университета дружбы народов, преподаю дисциплины «Основы электроники» и «Радиотехнические измерения».

Являюсь сертифицированным специалистом корпорации National Instruments. Область научных интересов: акусто и оптоэлектроника, датчики и измерительные системы, программирование на языке LabVIEW. Мною подготовлено и опубликовано более **50** научных и научно-методических работ.

Электронный почтовый адрес: e-mail: vkorolkov@sci.pfu.edu.ru

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА

Условия и критерии выставления оценок:

Для успешного освоения дисциплины от студентов требуется посещение лекций и практических лабораторных занятий, своевременное выполнение заданий преподавателя, обязательное участие в аттестационных испытаниях. Оценка по дисциплине выставляется на основании промежуточных оценок, полученных студентами в течение всего семестра.

После изучения курса студент должен знать:

- основные понятия об изображении, способах его формирования и передачи;
- физические основы преобразования оптических изображений;
- методы и способы обработки и фильтрации изображений;
- методы управления процессами обработки и анализа изображений.

После изучения курса студент должен уметь:

- построить систему технического зрения, исходя из условий физического эксперимента;
- применять методы предварительной обработки изображений;
- проводить экспериментальные исследования и обработку результатов физического эксперимента с целью получения новых параметров и характеристик изучаемого процесса.

Контроль освоения студентом дисциплины осуществляется в соответствии с балльно-рейтинговой системой. По результатам промежуточной и итоговой аттестации студенту выставляется «**балльная оценка**» в утвержденной в РУДН системе баллов, характеризующая качество освоения знаний в рамках данной дисциплины, и общепринятая в системе высшего образования «**дифференцированная оценка**» с указанием трудоемкости дисциплины в зачетных единицах.

Балльная структура оценки:

Балльная система оценки определяет совокупность баллов, которые могут быть получены студентом за различные виды академической деятельности в течение всего периода обучения:

- Выполнение и защита лабораторных работ (7 работ в течение семестра)– 35 баллов (за каждую лабораторную работу – 5 баллов, из них 1 балл – допуск к выполнению работы, 1 балл – выполнение, 3 балла – оформление и сдача работы);
- Индивидуальная контрольная практическая работа – 25 баллов;
- Внутри-семестровая контрольная работа – 10 баллов;
- Итоговая контроль знаний – 30 баллов.

Максимальная оценка по дисциплине составляет 100 баллов.

Шкала оценок:

Устанавливается следующее соответствие между балльно-рейтинговой системой, традиционной дифференцированной системой оценок и системой оценок по европейскому образовательному стандарту:

Сумма баллов	Дифференцированная оценка	Оценка по европейскому образовательному стандарту
---------------------	----------------------------------	--

93 - 100	«5» отлично	A	«Отлично»
84 - 92	«4» хорошо	B	«Очень хорошо»
74 - 83		C	«Хорошо»
63 - 73	«3» удовлетворительно	D	«Удовлетворительно»
51 - 62		E	«Посредственно»
31 - 50	«2» неудовлетворительно	FX	«Условно неудовлетворительно»
0 - 30		F	«Безусловно неудовлетворительно»

Положительными оценками, при получении которых учебный курс (дисциплина) засчитывается студенту как успешно пройденный, являются оценки **A, B, C, D** и **E**.

В соответствии с установленным в РУДН правилами, студент, получивший оценку **FX** по курсу основной образовательной программы, обязан, после консультаций с преподавателем, в течение 10 календарных дней после окончания семестра, успешно выполнить требуемый минимальный объем учебных работ, предусмотренных программой обучения, и представить результаты этих работ. Если качество работ будет признано **удовлетворительным**, то итоговая оценка **FX** повышается до **E** или **D**.

Неудовлетворительная оценка **F** пересмотрена быть не может.

Пояснение оценок:

«Отлично» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

«Очень хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения большинства из них оценено числом баллов, близким к максимальному.

«Хорошо» - теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

«Удовлетворительно» - теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнены, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

«Посредственно» - теоретическое содержание курса освоено частично, некоторые практические навыки работы не сформированы, многие предусмотренные программой обучения учебные

задания не выполнены, либо качество выполнения некоторых из них оценено числом баллов, близким к минимальному.

«Условно неудовлетворительно» - теоретическое содержание курса освоено частично, необходимые практические навыки работы не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, либо качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному; при дополнительной самостоятельной работе над материалом курса возможно повышение качества выполнения учебных заданий.

«Безусловно неудовлетворительно» - теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практические навыки работы не сформированы, все выполненные учебные задания содержат грубые ошибки, дополнительная самостоятельная работа над материалом курса не приведет к какому-либо значимому повышению качества выполнения учебных заданий.

Аберрация – это искажения изображений возникающие в оптических системах, и приводит к тому, что точка воспроизводится в виде некоторого кружка и две близко расположенные светлые точки на объекте сливаются в одну на изображении.

Абсолютно чёрное тело – это полый излучатель (излучатель Планка) спектральное распределение энергии которого зависит только от величины температуры.

Амплитудная (энергетическая, световая) характеристика – представляет собой зависимость величины сигнала, вырабатываемого приёмником излучения (изображения), от величины потока излучения падающего на чувствительный слой этого приёмника.

Апертурная характеристика – зависимость глубины модуляции от размера элемента изображения.

Апертурные искажения – приводят к размытию резких границ, контуров на изображении, уменьшению резкости и размаха сигнала от мелких деталей, что приводит к ухудшению чёткости изображения.

Апертурный коэффициент отражения – представляет собой отношение потока излучения, отраженного в направлениях, заключённых внутри определённого конуса с вершиной в данной точке объекта, к потоку излучения отраженному в пределах того же конуса идеальным рассеивателем, и освещённым в точности так же.

Ахроматический цвет – есть цвет не имеющий определённого цветового тона называют ахроматическим или нейтральным.

Байт – (*byte*) единица измерения количества информации. По умолчанию байт считается равным восьми битам (в этом случае может принимать 256 различных значений).

Бит – (*binarydigit*) наименьший обрабатываемый объём информации в вычислительной технике. Может принимать только два взаимоисключающих значения: да или нет, 1 или 0, включено или выключено.

ВП – виртуальный прибор (англ. *VirtualInstrumentation*) концепция, в соответствии с которой организуются программно-управляемые системы сбора данных и управления техническими объектами и технологическими процессами. Система организуется в виде программной модели некоторого реально существующего или гипотетического прибора, причем программно реализуются не только средства управления (рукоятки, кнопки, лампочки и т. п.), но и логика работы прибора. Связь программы с техническими объектами осуществляется через специальные интерфейсные узлы.

Временная дискретизация – по Котельникову В.И. это временная выборка значений амплитуд из аналогового сигнала для формирования цифрового сигнала.

Гистограмма – одномерный массив какой-либо величины.

Градационные искажения – являются характерной особенностью приёмников изображения с накоплением энергии и преобразователей сигнал/свет (синтезирующих устройств) поскольку у них заведомо нелинейные характеристики преобразования, вследствие чего появляются искажения в передаче градаций яркости наблюдаемого объекта.

Глубина резкости – это глубина воспроизводимого пространства, для которого максимально допустимый диаметр кружка размытия равен линейному размеру одного элемента разложения изображения.

ГОСТ – нормативно-правовой акт, устанавливающий комплекс норм, правил и требований к объекту стандартизации, в котором устанавливаются характеристики продукции, правила осуществления и характеристики процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг.

Динамический диапазон – определяет диапазон работы по освещённости входного зрачка системы.

Дискретизация – это процесс замены непрерывного аналогового сигнала последовательностью отдельных во времени отсчётов этого сигнала.

Дифференциальная крутизна преобразования – это чувствительность, определяющая величину сигнала, вырабатываемую приёмника излучения или изображения, при облучении входного зрачка малым синусоидально-модулированным потоком излучения.

Диффузное излучение – это есть поверхности, у которых энергетическая яркость во всех направлениях имеет одинаковую величину.

Источник излучения – представляет собой устройство испускающие или передающие энергию в окружающее пространство.

Инерционность – замедленная реакция на внешнее воздействие.

Интегральная чувствительность приёмника излучения (изображения) – это реакция этого приёмника на поток от *абсолютно чёрного тела* или другого эталонного *источника излучения*.

Квантование – квантование заключается в замене полученных после дискретизации мгновенных значений отсчётов ближайшими значениями из набора отдельных фиксированных уровней.

Коэффициент яркости – коэффициент яркости объекта есть отношение его яркости к яркости совершенного отражающего рассеивателя, коэффициент отражения которого равен единице, и который рассеивает падающую на него световую энергию равномерно по всем направлениям.

Монохроматическое излучение – это энергия излучения, характеризуемая одним значением частоты электромагнитного колебания.

МКО – международный комитет по освещенности.

МОП – структура металл – окисел – полупроводник.

Оптическое изображение – представляет совокупность большого числа элементов конечного размера с различной яркостью.

Освещённость – это есть отношение светового потока в точке поверхности, падающего на бесконечно малый элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента.

Относительное отверстие объектива – определяется отношением диаметра его входного зрачка к фокусному расстоянию объектива.

Площадной источник (излучатель) – излучатель имеет конечные размеры меньше поля зрения оптической системы.

Поверхностная плотность потока излучения – это поток излучения, приходящийся на единицу площади источника или приёмника излучения.

ПЗИ – прибор с зарядовой инжекцией.

ПЗС – прибор с зарядовой связью.

Пороговая чувствительность приёмника излучения (изображения) – это абсолютное значение чувствительности этого приёмника на фиксированных длинах волн, при которых отношение сигнал шум равно единице.

Потенциальный рельеф – это распределение потенциалов по поверхности.

Поток излучения (мощность излучения) – это энергия излучения, испускаемая или поглощаемая некоторой поверхностью, или переносимую через эту поверхность за единицу времени.

Приёмник излучения – представляет собой одноэлементное устройство в которых используются фотонные, тепловые, волновые и другие виды взаимодействия оптического излучения с веществом преобразуя его в электрический сигнал.

Приёмник изображения – представляет собой многоэлементное устройство в которых используются фотонные, тепловые, волновые и другие виды взаимодействия оптического излучения с веществом преобразуя его в электронное изображение и электрический видеосигнал.

Пространственная дискретизация – изображения заключается в разбиении всего анализируемого изображения на конечное число отдельных элементов.

Протяжённый источник (излучатель) – представляет собой источник излучения, размеры которого соизмеримы с расстоянием до приёмника излучения, т.е. имеющий конечные размеры меньше поля зрения оптической системы

Разрешающая способность – оценивается в количестве пар линий в одном миллиметре, воспроизводимых на изображении.

Развёртка изображения – называется перемещение развёртывающего элемента в процессе анализа и синтеза изображения по определённому периодическому закону.

Реальный масштаб времени – представляет собой время нервной и мышечной реакции человеческого глаза, оно составляет 0,1 ... 0,2 с и хорошо согласуется с временем накопления световой информации сетчаткой глаза.

Свет – есть энергия излучения, способная вызывать зрительное ощущение у человека-наблюдателя.

Световая эффективность – это энергии излучения есть отношение светового потока к соответствующему потоку излучения.

Световой поток – называют величину, определяющую ту часть потока излучения, которая действует на приёмник, спектральная чувствительность которого выражается спектральной функцией относительной световой эффективности.

Светимость – это есть отношение светового потока в точке поверхности, испускаемого бесконечно малым элементом поверхности, содержащим рассматриваемую точку, к площади этого элемента.

Сегментации изображения – подразумевает разбиение изображения на семантические области, которые имеют строгую корреляцию с объектами или областями наблюдаемой трёхмерной сцены.

Сила света – энергетическая или фотометрическая сила света (источника в данном направлении) есть частное от деления потока излучения, испускаемого точечным источником (или бесконечно малым элементом протяжённой поверхности) в бесконечно малый телесный угол, содержащий указанное направление, к величине этого телесного угла.

Сквозная характеристика спектральной чувствительности – представляет собой характеристику, учитывающую все потери во всех элементах системы по оптическому спектру.

СТЗ – система технического зрения.

Спектральная плотность или функции спектрального распределения – называют отношение количества энергетической или фотометрической величины для волн, сосредоточенных в бесконечно малом спектральном интервале вокруг данной длины волны, к ширине этого интервала.

Спектральная характеристика чувствительности – представляет собой зависимость величины сигнала, вырабатываемого приёмником излучения (изображения), от длины волны падающего потока излучения на чувствительный слой этого приёмника.

Спектральный диапазон чувствительности системы или приёмника излучения

(изображения) – определяет коротковолновую λ_{\min} и длинноволновую λ_{\max} границу диапазона спектральной чувствительности, как наименьшая и наибольшая длина волны *монохроматического излучения*, при которых чувствительность приёмника равна 0,1 от её максимального значения.

Стандартный фотометрический наблюдатель – определяется функцией относительной

световой эффективности $V(\lambda)$ колбочкового зрения нормального наблюдателя с удельными координатами цвета $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$ и $\bar{z}(\lambda)$ монохроматических стимулов постоянной мощности.

ТПИ – телевизионный приёмник изображения.

Телесный угол – это часть пространства, ограниченная прямыми, проведёнными из одной точки (вершины) ко всем точкам какой-либо замкнутой кривой.

Точечный источник (излучатель) – это *источник излучения*, размеры которого настолько малы по сравнению с расстоянием до приёмника излучения, что ими можно пренебречь в вычислениях, и он характеризуется *энергетической силой света I*.

Угол зрения – это ограниченная часть пространства, определяемая пространственным углом.

Угловой плотностью потока излучения – см. энергетическая сила света.

Фильтр – устройство осуществляющее функцию преобразования по определённому наперед заданному закону.

Фильтрация изображения – это процедура обработки изображения, при которой из одного растрового изображения формируется другое растровое изображение с измененными параметрами и характеристиками в соответствии с функцией преобразующего устройства, называемого *фильтром*.

Фокусное расстояние – это расстояние от центра объектива (оптической системы) до вообразаемой точки (фокусная плоскость), в которой собираются лучи света и формируют изображение.

Фотометрия – это система понятий и единиц, описывающая видимый диапазон оптического излучения и связана с понятием *свет*, т.е. с энергией излучения способной вызывать зрительное ощущение у оператора человека-наблюдателя.

Фотометрическое тело энергетической силы света – это источник излучения излучающая поверхность которого представляет собой сферу.

Фотометрическое тело энергетической яркости – это источник излучения излучающая поверхность которого представляет собой полусферу.

Цветность – это термин предполагает корреляцию с чувствительно - воспринимаемой величиной, характеризуемой цветовым тоном (доминирующей длиной волны) и насыщенностью (чистотой цвета).

Частотная характеристика – она определяет инерционные свойства приёмника излучения (изображения) в зависимости от частоты модуляции потока излучения, облучающего чувствительную поверхность приёмника излучения (изображения).

Частотно-контрастная характеристика – определяется двумя способами – она определяется нахождением преобразования **Фурье** функции $R(x)$, характеризующей пространственное распределение чувствительности приёмника изображения или определяется как реакции системы на входной сигнал с определённой пространственной частотой и синусоидальным распределением освещённости, нормализованной к реакции на сигнал с нулевой пространственной частотой.

Чёткость оптического изображения – она характеризуется качеством воспроизведения мелких деталей, и определяться разрешающей способностью.

Чистота цвета – это свобода цвета от белого цвета.

Шумовая характеристика – представляет собой зависимость спектральной плотности шума приёмника излучения (изображения) от частоты.

Электронное изображение – представляет собой электронный аналог оптического сигнала при взаимодействии оптического излучения с веществом чувствительной поверхности приёмника изображения.

Энергетическая освещённость – представляет собой отношение потока излучения в точке поверхности, падающего на бесконечно малый элемент поверхности, содержащий рассматриваемую точку, к площади этого элемента.

Энергетическая светимость – это есть частное от деления потока излучения в точке поверхности, испускаемого бесконечно малым элементом поверхности, который содержит данную точку, к площади этого элемента.

Энергетическая сила света (угловая плотность потока излучения) – представляет собой отношение потока излучения, испускаемого *точечным источником* или бесконечно малым элементом протяжённой поверхности в бесконечно малом *телесном угле*, содержащем указанное направление, к величине этого телесного угла

Энергетическая фотометрия (радиометрия) – это система понятий и единиц, описывающая оптически диапазон электромагнитного излучения.

Энергетическая яркость – эта величина, определяемая в точке поверхности и в данном направлении, есть отношение *энергетической силы света*, создаваемой в данном направлении бесконечно малым элементом поверхности, содержащим указанную точку, к площади ортогональной проекции этого элемента поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению.

Энергия излучения – представляет собой энергию, распространяющуюся (в свободном пространстве и некоторых материальных средствах) в виде электромагнитных волн или потоков частиц (фотонов).

ЭОП – электронно-оптический преобразователь.

Яркость – это энергетическая или фотометрическая яркость в точке поверхности и в данном направлении есть отношение силы света, созданной в данном направлении бесконечно малым элементом поверхности, содержащим указанную точку, к площади ортогональной проекции этого элемента поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению.

DCT – дискретное косинусное преобразование.

IMAQ – (Image Acquisition) технология захвата, обработки и анализа изображений.

HSV – (Hue, Saturation, Value – цветовой тон, насыщенность, мера яркости) цветовая модель ориентированная на человека и обеспечивающая возможность задания требуемого оттенка цвета.

JPEG – (Joint Photographic Experts Group) формат сжатия статических цветных изображений учитывающий пространственную корреляцию.

LabVIEW – (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) среда визуального программирования на графическом языке программирования «G» фирмы National Instruments (США).

LUT – (Look-Up-Table) таблица отображения яркости.

MPEG – (Moving Picture Experts Group) формат записи и передачи цифровых синхронных потоков от различных источников видео, аудио и другой информации.

NI – американская фирма National Instruments.

NTSC – (National Television System Committee) американская система цветного телевидения.

PAL – (Phase Alternation Line) европейская система цветного телевидения.

RGB – (Red, Green, Blue – красный, зелёный, синий) цветовая модель аппаратно-ориентированная для аддитивного формирования оттенков самосветящихся объектов.

SECAM – (Sequentiel Couleur a Memoire) российско-французская система цветного телевидения.

ВОПРОСЫ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

1. Чем определяется математическое описание объекта передачи?
2. Какие энергетические параметры определяют поверхностную плотность потока излучения?
3. Что представляет собой фотометрическое тело энергетической яркости?
4. Какими параметрами описываются диффузно излучающие поверхности?
5. Как уменьшается энергетическая освещённость поверхности с увеличением расстояния от источника излучения?
6. В чём отличие в функциях относительной спектральной световой эффективности излучения для дневного и ночного стандартного фотометрического наблюдателя?
7. Чем отличается поток излучения P_e от светового потока F ?
8. Чем отличается оптическое изображение от электронного изображения?
9. Что представляет собой пространственная дискретизация изображения?
10. На каких фундаментальных принципах базируется телевидение?
11. Какой принцип движения сканирующего элемента в развёртке изображения нашел наибольшее распространение?
12. Какой вид развёртки изображения (детерминированный или не детерминированный) используется в телевидении?
13. Какой вид развёртки изображения (детерминированный или не детерминированный) используется в системах технического зрения?
14. Какой вид развёртки (детерминированный или не детерминированный) использует режим поиска и слежения?
15. Что следует понимать под реальным масштабом времени?
16. Из какой характеристики приёмника излучения можно вычислить дифференциальную крутизну преобразования?
17. Сколько видов значений крутизны преобразования различают для приёмника излучения?
18. Чем отличаются друг от друга стандартные излучатели – типа А, В и С?
19. Какому закону подчиняется спектральное распределение излучения абсолютно чёрного тела?
20. Каково основное отличие приёмников излучения от приёмников изображения?
21. Чем отличаются эталонные источники излучения в фотометрии, от эталонных источников в энергетической фотометрии?
22. Какой вид электронной коммутации (внешняя или внутренняя) используют вакуумные приёмники изображения?
23. Сколько видов фотоэффекта нашли широкое распространение при построении приёмников излучения и изображения?
24. Для каких целей использовался диск Нипкова?
25. Какой метод сканирования используется в диссекторах?
26. В чём заключается принцип накопления заряда?
27. Что представляет собой потенциальный рельеф?
28. Какие составляющие инерционности определяют параметры и характеристики видикона?
29. Что следует понимать под понятием потенциальная яма?
30. С помощью какой схемы можно осуществлять направленный перенос зарядовых пакетов?
31. Сколькими элементами МОП структуры вдоль строки формируется один элемент изображения в ПЗС?
32. Какой способ организации переноса информационных зарядовых пакетов получил наибольшее распространение в матричных ПЗС?
33. Чем отличается структура построения матричных ПЗИ от матричных ПЗС?
34. Что представляет собой усилитель яркости?
35. Где в приёмнике изображения осуществляется докоммутационное усиление от слабосветящихся объектов наблюдения?
36. Какой элемент системы технического зрения определяет основные спектрально-

энергетические параметры и характеристики?

37. Какой сигнал несёт большую информацию об объекте наблюдения аналоговый или цифровой?

38. В чём отличие при формировании изображения трёхмерной сцены в компьютерной графике и при обработке изображения?

39. Чем отличаются системы технического зрения второго поколения от систем технического зрения первого поколения?

40. Какой способ освещения (стационарный или стробирующий) лучше использовать для анализа движущихся объектов наблюдения?

41. Чем отличаются спектрозональные системы от систем цветного телевидения?

42. Какие группы проблем являются основополагающими при построении системы технического зрения?

43. В чём оценивается разрешающая способность системы технического зрения?

44. Сколькими способами можно определить частотно-контрастную характеристику системы технического зрения?

45. Какие потери по спектру учитывает сквозная характеристика спектральной чувствительности системы технического зрения?

46. Для каких целей проводится энергетический расчёт оптической системы?

47. Для каких случаев пространственного распределения энергии излучателя целесообразно проводить энергетический расчёт?

48. Сколько этапов необходимо провести для составления основного энергетического уравнения?

49. На какой стадии энергетического расчёта учитывается пространственно-частотная характеристика отдельных звеньев системы технического зрения?

50. Чем определяются параметры и характеристики системы технического зрения, использующие зрительное восприятие объектов исследования?

51. Чем определяется разрешающая способность глаза человека?

52. Зависит ли критическая частота мелькания изображения от яркости этого изображения и как?

53. При каком виде развёртки полоса видеосигнала будет больше – при прогрессивной или при чересстрочной развёртки?

54. От чего зависит верхняя граница спектра в структуре видеосигнала?

55. Что называют апертурной характеристикой?

56. Что определяет градационная характеристика?

57. Что означает сжатие без потерь?

58. Для каких целей используется алгоритм сжатия *JPEG*?

59. Для каких целей используется алгоритм сжатия *MPEG*?

60. Сколько форматов сжатия используются в алгоритме *JPEG*?

61. Является ли квантование источников потерь в алгоритме *JPEG*?

62. Какие форматы *MPEG* используются для телевизионного вещания?

63. Для каких изображений (подвижных, неподвижных) дифференциально-импульсная кодовая модуляция даёт хорошее предсказание?

64. Что такое одномерный массив гистограмм?

65. Что называют профилем изображения?

66. Что называют проекцией изображения?

67. Каким видом функции яркости описываются яркостные преобразования изображения?

68. Какая процедура называется яркостной нормализацией?

69. Что под собой подразумевает понятие сегментация изображения?

70. Какая модель представления цветового пространства используется при обработке изображений в системах технического зрения ориентированных на человека оператора?

71. Что называется фильтрацией изображения?

72. Что представляет собой оконная фильтрация?

73. Для каких целей используется оконная процедура фильтрации?

74. Сколько видов линейной фильтрации работающей в пространственной области получили наибольшее распространение?

75. На чём основаны линейные методы фильтрации в частотной области?
76. Для каких целей используется метод сенсорных пар?
77. Какой оператор – Собела, Лапласа или Марра используется для выделения краёв на изображении?
78. В чём заключается сущность статистических методов распознавания?
79. Какой из критериев обнаружения или распознавания называется критерием минимального риска?
80. Какой из критериев обнаружения или распознавания является критерием для идеального наблюдателя?
81. В каких случаях используется критерий заданного превышения?
82. В каких случаях используется критерий Неймана – Пирсона?
83. Для какого количества объектов распознавания используется критерий минимального риска?
84. В чём заключается сущность критерия суммарного превышения?
85. Что называется связанностью элементов изображения?
86. Сколько видов соседства элементов изображения используются при анализе этого изображения?
87. В чём заключается сущность метода «Лесной пожар»?
88. Для каких видов изображений используется метод «Лесной пожар»?
89. При выполнении, какого условия работает метод слияния областей?
90. В чём сущность метода разбиения областей?
91. В чём сущность метода слияния – разбиения областей?
92. Что положено в основы корреляционного алгоритма обработки изображений?
93. Что представляет собой метод нормированной метрики?
94. В каких случаях проявляются недостатки корреляционного алгоритма обработки изображения?
95. В чём заключается суть морфологического метода анализа изображений?
96. В чём заключается преимущество использования морфологического коэффициента корреляции?
97. Что называют морфологическим коэффициентом корреляции?
98. Чем отличается нормированная взаимная корреляционная функция от коэффициента морфологической корреляции, и какова их геометрическая интерпретация?
99. Какая из теорий информации нашла более широкое распространение для описания моделей процессов и их управления?
100. Что является основными понятиями в теории информации?
101. Сколько видов энтропии используется в статистической теории при формировании моделей процессов в системах наблюдения?
102. Эквивалентны ли понятия информационность источника и информативность сообщения?
103. Чем характеризуется информативность источника сообщений?
104. Чем характеризуется информативность сообщения?
105. Что подразумевается под работоспособностью системы технического зрения?
106. В чём преимущество оптических методов обработки изображений?
107. Сколько необходимо провести этапов преобразований для получения изображения голографическим методом?
108. Из каких элементов состоит голографический коррелятор?
109. При построении согласованного оптического фильтра, сколько нужно применить Фурье-преобразования и в какой последовательности их необходимо провести?
110. Сколько мерное изображение может сформировать оптическая система с входным зрачком в виде кольца?
111. Какой из процессоров работает быстрее – оптический или цифровой?
112. Какую задачу позволяет решить использование интерфотометрии в голографическом методе?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ПО КУРСУ

Глава 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1. *Джадд Д., Вышецки Г.* Цвет в науке и технике. / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
2. *Мирошников М.М.* Теоретические основы оптико-электронных приборов. Учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 600 с.
3. *Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония.* – М.: Горячая линия -Телеком, 2004. с. – 640 с.

Глава 2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1. *Мирошников М.М.* Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 600 с.
2. *Джадд Д., Вышецки Г.* Цвет в науке и технике / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
3. *Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского.* – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.
4. *Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония.* – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. – 640 с.
5. *Батраков А.С., Плисов С.Л.* Формирователи видеосигнала на ПЗС //Зарубежная радиоэлектроника. – 1986. – № 1. – С.42–67
6. *Цифровое преобразование изображений: Учеб. Пособие для вузов / Р.Е. Быков, Р. Фрайер, К.В. Иванов, А.А. Манцветов; Под ред. профессора Р.Е. Быкова.* – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 228 с.

Глава 3. СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

1. *Телевидение: Учебник для вузов / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония.* – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 640 с.
2. *Жаботинский Ю.Д., Сердцев А.А.* Системы технического зрения для промышленных роботов // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – № 12. – С. 23–33.
3. *Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н.Писаревского, А.Ф. Чернявского.* – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.
4. *Квиринг Г.Ю.* Прикладное телевидение: Учеб. пособие. – М.: МИС, 1989. – 90 с.
5. *Многозональные аэрокосмические съемки Земли.* – М.: Наука, 1981. – 304 с.
6. *Якушенков Ю.Г.* Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для вузов. – М.: Советское радио, 1980. – 392 с.
7. *Якушенков Ю.Г.* Оптические системы фотоэлектрических устройств. – М.: Машиностроение, 1966. – 160 с.

Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1. *Цифровое преобразование изображений: Учеб. пособие для вузов / Р.Е. Быков, Р. Фрайер, К.В. Иванов, А.А. Манцветов; Под ред. профессора Р.Е. Быкова.* – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 228 с.

2. *Телевидение: Учебник для вузов* / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. – 640 с

Глава 5. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

1. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржсин А.В.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на *LabVIEW IMAQ Vision*. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.
2. *Джадд Д., Вышецки Г.* Цвет в науке и технике / Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. – 592 с.
3. *Ким Н.В.* Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.

Глава 6. ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

1. *Дуда Р., Харп П.* Распознавание образа и анализа сцен. – М.: Мир, 1976. – 511 с.
2. *Ким Н.В.* Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.
3. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н. и Моржсин А.В.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на *LabVIEW IMAQ Vision*. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.

Глава 7. АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

1. *Ким Н.В.* Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. – 164 с.
2. *Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение)* / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. – 424 с.

Приложение 1. ГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ *LabVIEW* И ПЛАТФОРМА *NI Vision*

1. *LabVIEW для всех.* Джеффри Тревис / Пер. с англ. Клушин Н.А. – М.: ДМК Пресс; Прибор Комплект, 2004. – 544 с.
2. *Суранов А.Я.* *LabVIEW 8.20: Справочник по функциям.* – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.
3. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржсин А.В.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на *LabVIEW* и *IMAQ Vision*. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.

Приложение 2. СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРИБОРОВ НА ПЛАТФОРМЕ *NI Vision*

1. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржсин А.В.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на *LabVIEW* и *IMAQ Vision*. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 464 с.
2. *NI Vision Concepts Manual.* USA, Austin, National Instruments Corp., 2007. – 441 p.

Организационно-методическое построение курса.

Изучение данной дисциплины основывается на знаниях и практических навыках, полученных студентами при предварительном изучении в бакалавриате следующих дисциплин: "Общая физика", "Математика", "Информатика", "Техника физического эксперимента". Курс состоит из лекций, практических (лабораторных) занятий и курсовой или самостоятельной работы по выбору.

Лекция – систематическое устное изложение учебного материала. Лекции по данной дисциплине проводятся с использованием компьютерного мультимедийного проектора с демонстрацией иллюстративного видеоматериала и слайдов на экране.

Лабораторное занятие - практическое учебное занятие, проводимое в учебных лабораториях с целью углубления знаний и приобретения навыков постановки и проведения эксперимента в области изучаемой дисциплины. Объектом изучения при проведении лабораторных занятий настоящей дисциплины является моделирование в программно-аппаратных средствах отдельных элементов систем технического зрения или систем обработки изображения. На лабораторных занятиях студенты выполняют лабораторные работы, количество которых определено учебным планом по конкретной дисциплине.

Лабораторная работа - конкретное учебное задание (перечень упражнений), необходимых для выполнения на лабораторном занятии, включающее в себя теоретическое описание, изложение и изучение которых предусмотрено рабочей программой, объект изучения, средства изучения (аппаратные или программные средства), используемые для наблюдения, контроля, измерений и расчетов. Лабораторные работы выполняются студентами согласно установленного в начале семестра расписания. Лабораторная работа выполняется исследовательской группой, не превышающей 2 человека. Количество лабораторных работ, выполняемых за учебное занятие, не должно превышать одну работу. Перенос выполнения назначенной лабораторной работы допускается только в пределах расписания по согласованию с преподавателем.

К выполнению работы **не допускаются учащиеся**, которые:

- не прошли аттестацию по технике безопасности;
- грубо нарушают правила внутреннего распорядка в лаборатории;
- не подготовились для выполнения лабораторной работы;
- опоздали к началу занятий;
- не защитили отчёт по предыдущей работе;
- пропустили два и более занятия без уважительной причины.

Лабораторные работы проводятся с использованием специализированных лабораторных установок, оснащенных компьютерными измерительными станциями и лабораторными стендами с рабочим макетным полем для макетирования исследуемых элементов системы технического зрения или системы обработки изображения.

Лабораторный стенд (численный или виртуальный эксперимент) – это технические средства (математическая модель, компьютерная программа), объединяющее в одно целое объект изучения, средства управления его состоянием (поведением), а также средства наблюдения, контроля, измерения и программного обеспечения.

Основными целями проведения и выполнения лабораторных занятий являются:

- более углубленное освоение студентами теоретических положений предлагаемых учебным планом изучаемой дисциплины;
- получение практических навыков постановки и проведения экспериментальных исследований, путем изучения закономерностей и особенностей функционирования конкретных объектов исследования;
- освоение методов и способов, а также средств диагностики (наблюдения, измерения и контроля) используемых при постановке лабораторных работ;
- изучение методов и способов обработки полученных экспериментальных результатов;
- овладение формами представления и интерпретации результатов проведенных исследований;
- приобретение практических навыков выбора, настройки, регулировки, отладки аппаратных и программных средств исследования.

Перед выполнением лабораторных работ студенты проходят необходимое тестирование на знание теоретического материала, особенностей функционирования лабораторных установок и порядка проведения экспериментальных исследований. Лабораторная работа считается выполненной после соответствующего оформления, обсуждения и защиты работы с обоснованием полученных результатов лабораторных исследований.

Курсовая работа. По данной дисциплине студенты могут выполнить курсовую работу по выбору. Курсовая работа представляет собой квалификационное исследование, содержащее реферативно-аналитическое освещение научной или технической проблемы по избранной теме. Выполнение курсовой работы должно способствовать углубленному усвоению студентами теоретических основ изучаемой дисциплины, а также приобретение ими навыков самостоятельной исследовательской деятельности. Написание курсовых работ составляет основу специализации студентов и является подготовкой к написанию ими выпускной квалификационной работы. Рекомендуется выбирать тему курсовой работы, которая соответствует выбранному научному направлению.

Курсовая работа ставит перед студентом решение следующих задач:

- самостоятельный поиск и изучение научной литературы по избранной теме, включая периодические издания;
- самостоятельная постановка (разработка и изготовление узлов физических стендов, разработка программного обеспечения) исследований;
- самостоятельный выбор диагностических методик, методов моделирования, теоретического изучения, для изучения поставленной темы;
- приобретение практических навыков работы с привлекаемыми для решения поставленной задачи методами, аппаратными и программными ресурсами;
- овладение методами анализа, обработки и интерпретации результатов проведенных исследований;
- привлечение современных методов и форм представления научных результатов;

Рекомендуется следующий порядок выполнения курсовых работ:

- выбор темы курсовой работы;
- поиск литературы и ее изучение;
- проведение расчетов, аналитических выводов и, если это предусмотрено, проведение экспериментальных исследований;
- написание первого варианта курсовой работы и представление ее научному руководителю;
- исправление и доработка текста на основе замечаний руководителя;

- представление окончательного текста курсовой работы и ее защита перед учебной комиссией кафедры.

Ряд исследований при выполнении экспериментальной части курсовой работы требуют разработки программного, программно-аппаратного обеспечения или изготовления узлов, устройств или приспособлений для существующих в лаборатории по данному курсу электрофизических стендов.

Часть работ выполняется студентом самостоятельно в технологической лаборатории, оснащенной соответствующим инструментарием и станками. Узлы, требующие квалифицированного изготовления, могут быть изготовлены в научно-производственных или стеклодувных мастерских университета. В этом случае чертежи, самостоятельно подготовленные студентом, утверждаются преподавателем, и оформляется заказ согласно установленных в университете правил для их изготовления.

Защита курсовых работ осуществляется перед экспертной учебной комиссией и представляет собой публичное научное сообщение по результатам работы, должным образом оформленное с использованием мультимедийных средств.

Следует особо отметить, что обязательным требованием при выполнении экспериментальной части как лабораторных, так и курсовых работ является наличие у студентов удостоверения о сдаче в начале учебного года минимума по технике безопасности. Студенты обязаны строго выполнять «Основные правила проведения экспериментальных исследований (лабораторных и курсовых работ) в учебных лабораториях, а так же выполнять установленные требования и правила по эксплуатации энергоустановок с напряжением до 1000 В. Надзор за выполнением указанных требований осуществляется курирующим преподавателем.

По пройденному теоретическому и практическому (экспериментальному) материалу дисциплины проводятся рубежные тестовые (контрольные) испытания.

Рекомендации по изучению теоретического материала по главам

Глава 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Целью данной главы является – формирование системы понятий о: математическом представлении изображений, способах оценки этих изображений с помощью системы энергетических и фотометрических параметров и характеристик, а также со способами и методами формирования и анализа изображения.

В данной главе рассматриваются две темы:

- – «Система параметров и характеристик оптического излучения»,
- – «Формирование и анализ оптического изображения».

При изучении обозначенных выше тем лекционных занятий, Вам надо усвоить основные (базовые) термины и понятия, изложенные в тексте электронного учебно-методического комплекса (УМК) и в его глоссарии. Особое внимание надо уделить параметрам и характеристикам энергетической фотометрии (радиометрии). Также надо определить, чем они отличаются от фотометрических параметров и характеристик видимого диапазона оптического излучения.

Изучение темы посвящённой формированию и анализу оптического и электронного изображений следует начинать с понимания того, что такое элемент изображения и как он определяет качество формируемого с его помощью оптического и электронного изображения, а также где этих изображения формируются.

Задания для самостоятельной работы: Изучение материала по темам следует начинать с изучения теоретического материала изложенного в данном гипертекстовом электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений». Для более углублённого изучения данных тем следует воспользоваться литературой, приведенной ниже.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Системы технического зрения* (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. с. 9-29
2. *Телевидение: Учебник для вузов* /В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. 14-40
3. *Мирошников М.М.* Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учебное пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. с. 241-273
4. *Джадд Д., Вышецки Г.* Цвет в науке и технике /Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. с. 508-517

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Якушенков Ю.Г.* Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для вузов. – М.: Советское радио, 1980. с. 21-76
2. *Мешков В.В.* Основы светотехники: Учебное пособие для вузов. – М.: Энергия, 1979. с. 5-137
3. *Акаев А.А., Майоров С.А.* Оптические методы обработки информации. – М.: Высшая школа, 1988. с. 7-30

ИНТЕРНЕТ РЕСУРСЫ:

- http://www.nsk.su/~vvef/Gener_View_Djvu/Example/R_content_prett.txt.htm
- <http://vestnik.sci.pfu.edu.ru/archiv-cs/articles-cs/2004-3-1/pdf/miroshkin-2004.pdf>
- <http://dsp-book.narod.ru/dspimage/chapter2.pdf>
- <http://www.impb.ru/pdf/MonoGSAM.pdf>
- http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5
- http://aco.ifmo.ru/student/disciplines/comp_modeling_progr.html
- <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/1.htm>
- http://www.mai.ru/~apg/Volume2/Number2/kdv22/kdv_22.htm

Требования к уровню усвоению содержания главы: Проведя самостоятельное изучение теоретических положений по материалам, изложенным в электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений», а также по рекомендованной литературе. Вы сможете определить уровень усвоения предложенного Вам материала.

Знания, умения и навыки

Успешное изучение главы позволит:	Уровни усвоения знаний	
	1. Иметь представление	<ul style="list-style-type: none">• о способах получения информационного сигнала об объектах наблюдения (передачи)
	2. Понимать - Знать	<ul style="list-style-type: none">• основные отличия величин энергетической фотометрии от фотометрии, используемой в видимом диапазоне оптического излучения• принципы формирования оптического и электронного изображения
	3. Уметь	<ul style="list-style-type: none">• вычислять основные параметры и характеристики оптического излучения во всём спектральном диапазоне
	4. Владеть	<ul style="list-style-type: none">• ключевыми понятиями: энергия излучения; мощность излучения; источник и приёмник оптического излучения; энергетические и фотометрические – сила света, поток излучения, освещённость, светимость, яркость, коэффициент яркости; поверхностная и спектральная плотность потока излучения; функции спектрального распределения; функции относительной дневной и ночной эффективности; оптическое и электронное изображение; фундаментальные принципы построения телевизионных систем; пространственная и временная дискретизация; развертка изображения; детерминированная и не детерминированная развёртка изображения.

Глава 2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Целью данной главы является – рассмотрение физических основ преобразования оптического излучения в приёмниках излучения и телевизионных приёмниках изображения, изучение системы параметров и характеристик, описывающих их, а также овладение способами считывания изображения в различных типах приёмников оптического изображения.

В данной главе рассматриваются три темы:

- – «Физические основы преобразования оптического излучения»,
- – «Вакуумные приёмники изображения»,
- – «Твёрдотельные приёмники изображения».

При изучении обозначенных выше тем лекционных занятий, Вам надо усвоить основные (базовые) термины и понятия, изложенные в тексте электронного учебно-методического комплекса (УМК) и в его глоссарии. Особое внимание следует уделить способам вычисления параметров и характеристик приемников оптического излучения. Понять физику их работы и способы поэлементного считывания информационных сигналов об объектах наблюдения.

Задания для самостоятельной работы: Изучение материала по темам следует начинать с изучения теоретического материала изложенного в данном гипертекстовом электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений». Для более углублённого изучения данных тем следует воспользоваться литературой, приведенной ниже.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Мирошников М.М.* Теоретические основы оптико-электронных приборов: Учебное пособие для вузов. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. с. 274-316
2. *Системы технического зрения* (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. с. 9-40
3. *Телевидение: Учебник для вузов* / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. 23-41
4. *Батраков А.С., Плисов С.Л.* Формирователи видеосигнала на ПЗС. //Зарубежная радиоэлектроника. – 1986, – № 1. с. 42-67

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Якушенков Ю.Г.* Теория и расчет оптико-электронных приборов: Учебник для вузов. – М.: Советское радио, 1980. с. 140-203
2. *Быков Р.Е., Гуревич С.Б.* Анализ и обработка цветных и объемных изображений. – М.: Радио и связь, 1984. с. 6-29
3. *Акаев А.А., Майоров С.А.* Оптические методы обработки информации. – М.: Высшая школа, 1988. с. 7-30

ИНТЕРНЕТ РЕСУРСЫ:

- http://www.ssga.ru/AllMetodMaterial/metod_mat_for_ioot/metodichki/tymkul_01/gl_01_06.

- <http://b2blogger.com/pressroom/release/238.html>
- http://www.sickautomation.ru/catalog/sensors/complex/sensor_video.html
- <http://www.fos.ru/fisika/12182.html>
- <http://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/109/535.htm>
- http://www.ssga.ru/eossib/oep_yak/g79.htm
- <http://aco.ifmo.ru/science/03-bmv.html>
- <http://vova1001.narod.ru/00003935.htm>
- <http://www.ess.ru/publications/articles/nikulin2/nikulin.htm>

Требования к уровню усвоению содержания главы: Проведя самостоятельное изучение теоретических положений по материалам, изложенным в электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений», а также по рекомендованной литературе. Вы сможете определить уровень усвоения предложенного Вам материала.

Знания, умения и навыки

Успешное изучение главы позволит:	Уровни усвоения знаний	
	1. Иметь представление	<ul style="list-style-type: none"> • о приёмниках оптического излучения и принципах считывания с них информационного сигнала • о способах оценки параметров и характеристик приёмников оптического излучения и телевизионный приёмник изображения – ТПИ
	2. Понимать - Знать	<ul style="list-style-type: none"> • отличия между параметрами и характеристиками приёмников излучения и ТПИ • принципы накопления информационных зарядов и способы их переноса в приемниках оптического излучения
	3. Уметь	<ul style="list-style-type: none"> • вычислять основные параметры и характеристики приёмника излучения ТПИ
	4. Владеть	<ul style="list-style-type: none"> • ключевыми понятиями: приёмник оптического излучения; реальный масштаб времени; эталонный источник излучения; абсолютно чёрное тело; интегральная, дифференциальная, спектральная, пороговая и др. виды чувствительности приёмника излучения и ТПИ; потенциальный рельеф; ПЗС и ПЗИ структуры; трёхфазный регистр; электронно-оптические преобразователь.

Глава 3. СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Целью данной главы является – получение знаний о принципах построения систем технического зрения и способах моделирования их структуры для решения конкретных задач, а также

изучение параметров и характеристик, описывающих эти системы, и методики энергетического их расчёта.

В данной главе рассматриваются две темы:

- «Общие принципы построения и функционирования систем технического зрения»,
- «Основные параметры и характеристики воспроизведения изображений».

При изучении обозначенных выше тем лекционных занятий, Вам надо усвоить основные (базовые) термины и понятия, изложенные в тексте электронного учебно-методического комплекса (УМК) и в его глоссарии. Особое внимание следует уделить принципам построения одноканальных и многоканальных (спектрозональных) систем технического зрения (СТЗ). Понять физику их работы и принципы воспроизведения ими изображений. Следует изучить методику предварительного и окончательного энергетического расчёта СТЗ и понять, как в ней учитывается подбор элементной базы оптико-электронного узла систем.

Задания для самостоятельной работы: Изучение материала по темам следует начинать с изучения теоретического материала изложенного в данном гипертекстовом электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений». Для более углублённого изучения данных тем следует воспользоваться литературой, приведенной ниже.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Системы технического зрения* (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. с. 9-40
2. *Телевидение: Учебник для вузов* /В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. 14-40
3. *Квиринг Г.Ю.* Прикладное телевидение: Учеб. пособие. – М.: МИС, 1989. с. 18-63
4. *Ким Н.В.* Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. с. 5-20

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Быков Р.Е., Гуревич С.Б.* Анализ и обработка цветных и объемных изображений. – М.: Радио и связь, 1984. с. 24-74
2. *Михалков К.В.* Основы телевизионной автоматики. – Л.: Энергия (Ленинград. отд-ние), 1967. с. 5-94
3. *Жаботинский Ю.Д., Сердцев А.А.* Системы технического зрения для промышленных роботов. // Зарубежная радиоэлектроника, – 1985. – № 12, с. 23–33.

ИНТЕРНЕТ РЕСУРСЫ:

- http://www.rusnauka.com/NPM_2006/Tecnic/2_shutilov.doc.htm
- <http://www.5ballov.ru/referats/preview/70634>
- <http://psylib.org.ua/books/vekk101/txt07.htm>
- http://ezhe.ru/data/vgik/zhv-cvet_kontrast_1.html

Требования к уровню усвоению содержания главы: Проведя самостоятельное изучение теоретических положений по материалам, изложенным в электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений», а также по рекомендованной литературе. Вы сможете определить уровень усвоения предложенного Вам материала.

Знания, умения и навыки

Успешное изучение главы позволит:	Уровни усвоения знаний	
	1. Иметь представление	<ul style="list-style-type: none">• о структуре построения системы технического зрения• о назначении каждого элемента и влиянии его на формирование информационного сигнала• о системе параметров и характеристик воспроизведения изображения
	2. Понимать - Знать	<ul style="list-style-type: none">• состав одноканальной и многоканальной структуры построения системы технического зрения, а также назначение каждого элемента и влияние его на параметры и характеристики всей системы в целом
	3. Уметь	<ul style="list-style-type: none">• составлять основное энергетическое уравнение• вычислять основные параметры и характеристики системы технического зрения
	4. Владеть	<ul style="list-style-type: none">• <i>ключевыми понятиями:</i> аналоговый и цифровой сигнал, временная дискретизация и квантование сигнала, компьютерная графика, обработка изображения, спектральная система, разрешающая способность системы, частотно-контрастная характеристика, абсолютно чёрное тело, серый излучатель

Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Целью данной главы является – ознакомление с особенностями зрительного восприятия оптического излучения и овладение способами формирования изображения, изучение структуры и спектра видеосигнала, а также оценка апертурных и градационных искажения, возникающие при его формировании, получение представлений о методах сжатия статических и динамических цифровых изображений.

В данной главе рассматриваются две темы:

- «Формирование изображения в системах технического зрения»,
- «Методы сжатия цифровых изображений».

При изучении обозначенных выше тем лекционных занятий, Вам надо усвоить основные (базовые) термины и понятия, изложенные в тексте электронного учебно-методического комплекса (УМК) и в его глоссарии. Особое внимание, при изучении теоретического материала, следует уделить принципам формирования аналогового и цифрового изображения. Необходимо также познакомиться со зрительным аппаратом человека и его параметрами и характеристиками, которые влияют как на оценку изображения, так и на структуру построения системы технического

зрения. Следует уяснить природу возникновения апертурных и градационных искажений возникающих при формировании видеосигнала.

Рассматривая цифровые методы формирования информационного сигнала следует обратить внимание на погрешности воспроизведения видеосигнала на синтезирующем устройстве, по сравнению с оригиналом сформированным аналоговым способом, а также сравнить алгоритмы сжатия статических и динамических изображений.

Задание для самостоятельной работы: Изучение материала по темам следует начинать с изучения теоретического материала изложенного в данном гипертекстовом электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений». Для более углубленного изучения данных тем следует воспользоваться литературой, приведенной ниже.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Телевидение: Учебник для вузов* / В.Е. Джакония, А.А. Гоголь, Я.В. Друзин и др.; Под общ. ред. В.Е. Джакония. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. 41-55, 326-376
2. *Системы технического зрения* (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. с. 9-40
3. *Цифровое преобразование изображений: Учеб. пособие для вузов* / Р.Е. Быков, Р. Фрайер, К.В. Иванов, А.А. Манцветов; Под ред. профессора Р.Е. Быкова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. с. 147-199
4. *Джадд Д., Вышецки Г. Цвет в науке и технике* /Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина. – М.: Мир, 1978. с. 15-119

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учебное пособие.* – М.: Изд-во МАИ, 2001. с. 20-37
2. *Смирнов А.В., Пескин А.Е. Цифровое телевидение: от теории к практике.* – М.: Горячая линия-Телеком, 2005. с. 90-162
3. *Пескин А.Е., Труфанов В.Ф. Мировое вещательное телевидение. Стандарты и системы: Справочник.* – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. с. 75-173

ИНТЕРНЕТ РЕСУРСЫ:

- <http://nauka.relis.ru/05/0409/05409054.htm>
- <http://www.icpt.su/?fl=336&doc=887>
- <http://www.nnt.ru/content/198.htm>
- <http://www.ferra.ru/online/video/s18200/>
- http://device.com.ru/material/video_4.shtml
- <http://www.intuit.ru/department/graphics/compression/>
- <http://kainsk.tomsk.ru/g2003/other26/zifr.htm>
- <http://www.shocker.ru/articles/18.html>

Требования к уровню усвоению содержания главы: Проведя самостоятельное изучение теоретических положений по материалам, изложенным в электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений», а также по рекомендованной литературе. Вы сможете определить уровень усвоения предложенного Вам материала.

Знания, умения и навыки

Успешное изучение главы позволит:	Уровни усвоения знаний	
	1. Иметь представление	<ul style="list-style-type: none"> о принципах формирования изображения в системах технического зрения о зрительном аппарате человека об основных методах цифрового сжатия изображения
	2. Понимать - Знать	<ul style="list-style-type: none"> от чего зависит спектр цифрового и аналогового видеосигнала причины возникновения апертурных и градационных искажений, возникающих при формировании видеосигнала
	3. Уметь	<ul style="list-style-type: none"> по оптическому изображению формировать временную диаграмму видеосигнала вычислять полосу частот видеосигнала, в зависимости от составляющих изображения
	4. Владеть	<ul style="list-style-type: none"> ключевыми понятиями: видеосигнал, полный видеосигнал, геометрические искажения, апертурные искажения, градационные искажения, спектр видеосигнала, алгоритмы сжатия JPEG и MPEG

Глава 5. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

*Целью данной главы является – изучение основных положений теории обработки чёрно-белых и цветных изображений, рассмотрение методов предварительной и последующей обработки бинарных и полутоновых изображений, формирование навыков работы в визуальной среде программирования **LabVIEW** с библиотеками средств обработки и анализа изображений **IMAQVision**.*

В данной главе рассматриваются две темы:

- «Предварительная обработка изображений»,
- «Методы обработки изображений».

При изучении обозначенных выше тем лекционных занятий, Вам надо усвоить основные (базовые) термины и понятия, изложенные в тексте электронного учебно-методического комплекса (УМК) и в его глоссарии. Особое внимание следует уделить методам и способам обработки изображения. Уяснить отличие в методах предварительной и последующей обработки изображения. Научиться правильно, применять эти методы. Освоить среду визуального программирования **LabVIEW** с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений **IMAQVision**.

Задание для самостоятельной работы: Изучение материала по темам следует начинать с изучения теоретического материала изложенного в данном гипертекстовом электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений». Для более углублённого изучения данных тем следует воспользоваться литературой, приведенной ниже.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Системы технического зрения* (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. с. 215-292
2. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржсин А.В.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. с. 118-250
3. *Ким Н.В.* Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. с. 38-59

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Яне Б.* Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2007. с. 41-91
2. *Джадд Д., Вышецки Г.* Цвет в науке и технике /Пер. под ред. Л.Ф. Артюшина/. – М.: Мир, 1978. с. 120-442
3. *Многозональные аэрокосмические съемки Земли.* – М.: Наука, 1981. с. 211–276

ИНТЕРНЕТ РЕСУРСЫ:

- http://macedu.hoha.ru/edu/posob/inf_7_2.html
- <http://www.5ballov.ru/referats/preview/21408/1>
- <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/16.php>
- <http://www.geomatica.kiev.ua/training/DataCapture/RemoteSensing/chapter106.html>
- <http://www.unn.ru/vmk/graphmod/data/archive/imgalg.pdf>
- <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/1.htm>
- <http://www.ipsi.smr.ru/institute/structure/lmmoi/lmmoi.shtml>
- <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/68.html>

Требования к уровню усвоению содержания главы: Проведя самостоятельное изучение теоретических положений по материалам, изложенным в электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений», а также по рекомендованной литературе. Вы сможете определить уровень усвоения предложенного Вам материала.

Знания, умения и навыки

	Уровни усвоения знаний	
	Успешное изучение главы позволит:	1. Иметь представление
2. Понимать - Знать		<ul style="list-style-type: none"> • что такое гистограмма и гистограммная обработка

		<p>изображений</p> <ul style="list-style-type: none"> зачем нужна фильтрация изображений, и какие методы для этого используются
	3. Уметь	<ul style="list-style-type: none"> применять методы фильтрации при обработке изображений выделять контуры объектов на бинарных и на полутоновых изображениях использовать среду визуального программирования LabVIEW с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений IMAQVision
	4. Владеть	<ul style="list-style-type: none"> ключевыми понятиями: гистограмма, профили и проекции изображения, яркостные, геометрические и градационные искажения и их коррекция, мода, бимодальность и мультимодальность изображения, сегментация изображения

Глава 6. ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

*Целью данной главы является – ознакомление с основными методами теории обнаружения и распознавания объектов на изображениях, анализ критериев, по которым осуществляется распознавание, получение навыков выделения связанных областей на изображении и осуществление их предварительного анализа в визуальной среде программирования **LabVIEW** с библиотеками средств обработки и анализа изображений **IMAQVision**.*

В данной главе рассматриваются три темы:

- «Методы обнаружения и распознавания объектов на изображении»,
- «Выделение и анализ связанных областей»,
- «Корреляционный алгоритм обработки изображений».

При изучении обозначенных выше тем лекционных занятий, Вам надо усвоить основные (базовые) термины и понятия, изложенные в тексте электронного учебно-методического комплекса (УМК) и в его глоссарии. Особое внимание следует уделить методам обнаружения и распознавания объектов на изображении. Уяснить отличия в критериях распознавания. Научиться выделять связанные области в бинарных и полутоновых изображениях. Освоить среду визуального программирования **LabVIEW** с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений **IMAQVision**.

Задание для самостоятельной работы: Изучение материала по темам следует начинать с изучения теоретического материала изложенного в данном гипертекстовом электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений». Для более углубленного изучения данных тем следует воспользоваться литературой, приведенной ниже.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржин А.В. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. с. 118-346
2. Дуда Р., Харн П. Распознавание образа и анализа сцен. – М.: Мир, 1976. – 164 с.
3. Ким Н.В. Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. с. 56-108

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Яне Б. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2007. с. 445-543

ИНТЕРНЕТ РЕСУРСЫ:

- <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/2.htm>
- <http://articles.security-bridge.com/articles/80/11521/>
- http://www.keldysh.ru/papers/2003/prep46/prep2003_46.html
- <http://prodav.exponenta.ru/dsp/index.html>
- <http://allrefs.ru/prosmotr/9021-2960.htm>
- <http://www.osp.ru/text/233552/1336950/>
- <http://www.intuit.ru/department/se/compprog/4/>
- http://www.butovo.com/~zss/bw_morf.html
- <http://www.5ballov.ru/referats/preview/70634>
- <http://www.itp.nsc.ru/piv/piv.htm>
- <http://www.computer-museum.ru/histussr/dsp.htm>

Требования к уровню усвоению содержания главы: Проведя самостоятельное изучение теоретических положений по материалам, изложенным в электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений», а также по рекомендованной литературе. Вы сможете определить уровень усвоения предложенного Вам материала.

Знания, умения и навыки

Успешное изучение главы позволит:	Уровни усвоения знаний	
	1. Иметь представление	<ul style="list-style-type: none">• о методах обнаружения и распознавания объектов на изображениях• о корреляционном алгоритме обработке изображений
	2. Понимать - Знать	<ul style="list-style-type: none">• что такое критерии распознавания и как их применять
	3. Уметь	<ul style="list-style-type: none">• выделять связанные области в бинарных и полутоновых изображениях• использовать среду визуального программирования LabVIEW с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений IMAQVision
	4. Владеть	<ul style="list-style-type: none">• ключевыми понятиями: признаки объектов,

		плотность распределения вероятностей объекта, априорные данные, апостериорная вероятность, ошибки распознавания, средняя вероятность ошибки, коэффициент правдоподобия, связанная область
--	--	---

Глава 7. АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Целью данной главы является – формирование представлений о процессах управления обработкой и анализом изображений, представляя их в виде информационной модели, и рассмотрение оптических методов обработки изображений в системах технического зрения.

В данной главе рассматриваются две темы:

- «Управление процессами обработки и анализа изображений»,
- «Оптические методы обработки изображений в системах технического зрения».

При изучении обозначенных выше тем лекционных занятий, Вам надо усвоить основные (базовые) термины и понятия, изложенные в тексте электронного учебно-методического комплекса (УМК) и в его глоссарии. Особое внимание следует уделить методам и способам обработки изображений. Понять отличие в методах предварительной и последующей обработки изображения. Научиться правильно, применять эти методы. Освоить среду визуального программирования **LabVIEW** с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений **IMAQVision**.

Задания для самостоятельной работы: Изучение материала по темам следует начинать с изучения теоретического материала изложенного в данном гипертекстовом электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений». Для более углублённого изучения данных тем следует воспользоваться литературой, приведенной ниже.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Ким Н.В.* Обработка и анализ изображений в системах технического зрения: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МАИ, 2001. с. 103-158
2. *Системы технического зрения* (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение) / А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1988. с. 356-408
3. *Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Князь В.А., Ходарев А.Н., Моржин А.В.* Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision. – М.: ДМК Пресс, 2007. с. 391-441

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. *Оптическая обработка информации* / Абрамсон Н., Баласубраманиян Н., Кейсесент Д. и др.; Под ред. Д. Кейсесента / Пер. под ред. С.Б. Гуревича. – М.: Мир, 1980. с. 14-33, 75-114

ИНТЕРНЕТ РЕСУРСЫ:

- <http://www.dialog-21.ru/Archive/2004/Trusova.htm>
- <http://www.abbyy.ru/sdk/?param=60344>
- <http://systemling.narod.ru/image/knowbase.htm>
- <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/index.htm>
- <http://www.videoscan.ru/page/718>
- <http://www.bnti.ru/showart.asp?lvl=02.01.04.&aid=618>
- <http://www.bestreferat.ru/referat-67092.html>

Требования к уровню усвоению содержания главы: Проведя самостоятельное изучение теоретических положений по материалам, изложенным в электронном УМК или в учебном пособии «Системы технического зрения и обработки изображений», а также по рекомендованной литературе. Вы сможете определить уровень усвоения предложенного Вам материала.

Знания, умения и навыки

Успешное изучение главы позволит:	Уровни усвоения знаний	
	1. Иметь представление	<ul style="list-style-type: none"> • о предварительной и последующей обработке изображения • о бинаризации полутоновых изображений • о цветовой системе восприятия цветных изображений
2. Понимать - Знать	<ul style="list-style-type: none"> • что такое гистограмма и гистограммная обработка изображений 	
3. Уметь	<ul style="list-style-type: none"> • применять методы фильтрации при обработке изображений • использовать среду визуального программирования <i>LabVIEW</i> с использованием библиотеки средств обработки и анализа изображений <i>IMAQVision</i> 	
4. Владеть	<ul style="list-style-type: none"> • ключевыми понятиями: поиск и распознавание объекта, алгоритм обработки, информационная модель системы технического зрения, оптическая обработка изображения, голографическое изображение 	

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ

ВП	– виртуальный прибор
МКО	– международный комитет по освещенности
МОП	– структура металл – окисел – полупроводник
ПЗИ	– прибор с зарядовой инжекцией
ПЗС	– прибор с зарядовой связью
СТЗ	– система технического зрения
ТПИ	– телевизионный приёмник изображения
ЭОП	– электронно-оптический преобразователь
DCT	– дискретное косинусное преобразование
LUT	– Look-Up-Table (таблицы отображения яркости)
JPEG	– Joint Photographic Experts Group
MPEG	– Moving Picture Experts Group
RGB	– Red, Green, Blue (красный, зелёный, синий)
HSV	– Hue, Saturation, Value (цветовой тон, насыщенность, мера яркости)
PAL	– Phase Alternation Line
SECAM	– Sequentiel Couleur a Memoire
NTSC	– National Television System Committee
LabVIEW	– Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
NI	– National Instruments

Учебный тематический (календарный) план по курсу

Недели	Лекции	Число часов	Практические занятия	Число часов
1.	<u>Тема №1.</u> Система параметров и характеристик оптического излучения	2	Инструктаж по технике безопасности, правилам поведения в лаборатории. <u>Расчётное задание №1.</u> Исследование параметров оптического излучения	2
2.	<u>Тема №2.</u> Формирование и анализ оптического	2	Ознакомление с лабораторным оборудованием.	2

	изображения		<u>Расчётное задание №2.</u> Математическое описание объектов передачи	
3.	<u>Тема №3.</u> Физические основы преобразования оптического излучения	2	Изучение графической среды визуального программирования LabVIEW и платформы NI Vision	4
4.	<u>Тема №4.</u> Вакуумные приёмники изображения	2		
5.		2		
6.	<u>Тема №5.</u> Твердотельные приёмники изображения	2	<u>Лабораторная работа №1.</u> Создание виртуальных приборов на платформе NI Vision	6
7.	<u>Тема №6.</u> Общие принципы построения и функционирования систем технического зрения	2		
8.		2	<u>Расчётное задание №3.</u> Изучение развертки раstra и спектра видеосигнала	2
9.	<u>Тема №7.</u> Основные параметры и характеристики воспроизведения изображений.	2	Внутри-семестровая контрольная работа	2
10	<u>Тема №8.</u> Формирование изображения в системах технического зрения	2	<u>Лабораторная работа №2.</u> Изучение основных функций обработки изображения с помощью приложений IMAQ Vision Assistant	4
11.	<u>Тема №9.</u> Методы сжатия цифровых изображений	2		
12.	<u>Тема №10.</u> Предварительная обработка изображений	2	<u>Расчётное задание №4.</u> Четкость изображения, его пространственные частоты	2
13.	<u>Тема №11.</u> Методы обработки изображений	2	<u>Лабораторная работа №3.</u> Гистограммный анализ изображений	2
14.	<u>Тема №12.</u> Методы обнаружения и распознавания объектов на изображении	2	<u>Лабораторная работа №4.</u> Фильтрация изображений	2
15.	<u>Тема №13.</u> Выделение и анализ связанных областей	2	<u>Лабораторная работа №5.</u> Преобразования полутоновых изображений	2
16.	<u>Тема №14.</u> Корреляционный алгоритм обработки изображений	2	<u>Лабораторная работа №6.</u> Выделение и анализ связанных областей	2
17.	<u>Тема №15.</u> Управление	2	<u>Лабораторная работа №7.</u>	2

	процессами обработки и анализа изображений		Корреляционный алгоритм обработки изображений.	
18.	Тема №16. Применение систем технического зрения	2	Защита лабораторных работ	2
19.	Сдача контрольного практического задания (курсовой)			2
20.	Итоговый контроль знаний			2

ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ И КУРСОВЫХ РАБОТ

1. Принципы построения систем технического зрения.
2. Принципы преобразования аналоговых сигналов в цифровые с устранением избыточности.
3. Методы и способы формирования цифрового видеосигнала.
4. Методы и способы дискретизации видеосигнала.
5. Квантование сигналов изображения.
6. Шумы квантования, сравнительный анализ различных типов квантователей.
7. Стандарты цифрового вещания в телевидение.
8. Цифровые методы обработки изображений.
9. Методы цифровой обработки сигналов и изображений, включая ортогональные преобразования.
10. Методы и характеристики цифрового кодирования.
11. Принципы помехоустойчивого кодирования в канале передачи видеoinформации.
12. Методы компенсации движения и цифровая фильтрация телевизионного сигнала.
13. Методы сжатия изображений.
14. Сравнительный анализ кодов при кодировании цифрового сигнала.
15. Временные преобразования цифровых сигналов.
16. Методы модуляции, используемые при передаче цифрового телевизионного вещания DVB.
17. Цифровые преобразователи стандартов.
18. Измерения в цифровых каналах.

Большая часть заданий на курсовую работу носит индивидуальный характер и связана с использованием соответствующих инструментальных средств поддержки процесса разработки и отладки отдельных узлов и блоков систем технического зрения или систем обработки изображения. Типовое задание на курсовую работу обычно предполагает:

- разработку темы, согласно техническому заданию;
- подбор компонентов для создания системы технического зрения используемой в физическом эксперименте;
- написание и отладка алгоритмов программы управления обработкой изображения в системе технического зрения.

Вопросы для самопроверки и обсуждений по темам

Глава 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1. Чем отличаются параметры оптического излучения от характеристики этого излучения?
2. Что такое доминирующая длина волны и в чём её отличие от чистоты цвета?
3. Какими параметрами описываются диффузно излучающие поверхности и какова их зависимость от угла между направлением излучения и нормалью к излучающей поверхности?
4. Что такое фотометрическое тело энергетической силы света и чем оно отличается от фотометрического тела энергетической яркости?
5. Каково отличие энергетических параметров и характеристик от фотометрических параметров и характеристик?
6. Какие источники излучения называются точечными, а какие протяжёнными и чем отличаются их параметры и характеристики?
7. Что называют относительной спектральной световой эффективностью излучения для дневного и ночного стандартного фотометрического наблюдателя?
8. Что такое оптическое изображение, как оно формируется и чем оно отличается от электронного изображения в системах технического зрения?
9. Что такое пространственная дискретизация и чем она отличается от временной дискретизации?
10. В чём заключаются два фундаментальных принципа построения телевизионных систем?
11. На какие виды по принципу движения сканирующего элемента можно подразделить развёртку изображения?
12. Чем отличаются детерминированные от не детерминированных развёрток изображения?

Глава 2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1. Что такое источник и приёмник оптического излучения и в чём их отличие?
2. Реальный масштаб времени: что это такое и чем он определяется?
3. Чем отличается система параметров и характеристик приёмников излучения от системы параметров и характеристик оптического излучения?
4. Каково отличие приёмников излучения от приёмников изображения и телевизионных приёмников изображения?
5. По каким параметрам и характеристикам оцениваются приёмники излучения, изображения и при каких условиях?
6. Что такое эталонные источники излучения в фотометрии и чем они отличаются от эталонных источников в энергетической фотометрии?
7. Чувствительность, спектральная чувствительность, спектральное распределение чувствительности, пороговая чувствительность: что это такое и в чём в них отличие?
8. Какие типы фотоэффектов вы знаете и какие из них получили наибольшее распространение в системах технического зрения?
9. Каково отличие в методах сканирования изображения, какие из них более перспективны в системах технического зрения?
10. Диск Нипкова: что это такое и для каких целей он был изобретён?
11. Чем отличается оптико-механическое сканирование от электронного и каковы их преимущества использования в системах технического зрения?
12. Какие преимущества имеют приёмники изображения диссекторного типа в образовании электронного изображения?
13. Что такое принцип накопления и в чём его преимущество по сравнению с другими приёмниками изображения?
14. Потенциальный рельеф: что это такое и где он образуется в телевизионных приёмниках изображения видиконного типа?

15. Каково отличие приборов с зарядовой связью от приборов с зарядовой инжекцией?
16. В чём заключается принцип организации потенциальных ям формирования зарядовых пакетов и их переноса?
17. МОП-структура: что это такое и какие физические процессы в ней происходят?
18. Что такое трёхфазовый регистр, как он работает и каково его преимущество по сравнению с двухфазовым?
19. Каковы способы организации переноса в матричных ПЗС-структурах, в чём их преимущества и недостатки?
20. Усилители яркости: как они устроены и для каких целей их используют?
21. Как устроены электронно-оптические преобразователь и в чём его преимущество по сравнению с другими преобразователями электромагнитного излучения оптического излучения?

Глава 3. СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

1. Какова структура построения системы технического зрения и чем она отличается от телевизионных систем?
2. Измерительные телевизионные системы, прикладные телевизионные системы, телевизионные автоматы и системы технического зрения: в чём отличие в их структурах построения?
3. Назовите отличия в построении аналогового, дискретного и цифрового видеосигнала.
4. Каково отличие в понятиях «компьютерная графика» и «обработка изображений»?
5. Чем отличаются системы технического зрения первого поколения от систем технического зрения второго поколения?
6. Объясните разницу в способах освещения объектов наблюдения и поясните, в каких случаях какой из видов освещения наиболее целесообразно использовать.
7. Что следует подразумевать под многозональными, спектрзональными и одноканальными системами технического зрения?
8. Что такое разрешающая способность оптической системы и разрешающая способность системы технического зрения?
9. Какие параметры описывает частотно-контрастная характеристика системы технического зрения и как она определяется?
10. Сквозная характеристика спектральной чувствительности: что это такое и какие параметры и характеристики она определяет в системах технического зрения?
11. Для какой цели проводится энергетический расчёт для трёх типов излучателей – точечного, площадного и протяжённого?
12. В чём заключается методика расчёта основных параметров системы технического зрения?

Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

1. В чём заключаются особенности зрительного восприятия излучения?
2. Какова связь между форматом кадра и числом строк?
3. Что такое критическая частота мелькания синтезирующего устройства и как она зависит от яркости наблюдаемого изображения?
4. Как осуществляется процесс формирования полного видеосигнала в системах технического зрения и что представляет собой сигнал синхронизации приёмника?
5. Чем отличается прогрессивная и чересстрочная развёртка изображения и где они используются?
6. Чем определяется максимальная частота видеосигнала и от каких параметров она зависит?
7. Апертурные искажения: что это такое, где они возникают и как их можно устранить?
8. Градационные искажения: что это такое, где они возникают и как их можно устранить?
9. В чём заключается принцип сжатия изображения и для чего это необходимо?
10. Назовите отличие алгоритма сжатия *JPEG* от алгоритма сжатия *MPEG* и область их применения.
11. Какие алгоритмы сжатия используются для статических и динамических изображений?
12. Какие алгоритмы сжатия используются в компьютерных мультимедийных приложениях, а какие в цифровом телевизионном вещании?

Глава 5. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

1. Что называют профилем и проекцией изображения?
2. В чём смысл гистограммной обработки изображений?
3. Какими видами функций описываются яркостные преобразования изображения?
4. Чем определяется процесс распознавания изображений?
5. Что такое яркостная нормализация и для чего она используется?
6. Как осуществляется бинаризация изображения и что подразумевается в алгоритмах адаптивной бинаризации, использующей локальную или глобальную гистограмму изображения?
7. Что подразумевается под понятием трёхмерного цветового пространства и какие цветовые модели используются в системах обработки изображений?
8. В чём заключается сущность фильтрации изображений?
9. Какие методы линейной фильтрации используются при обработке изображений и какие из них и в каких случаях более целесообразно использовать?
10. Что представляет собой оконная фильтрация и для каких целей она используется?
11. Как осуществляется выделение краёв и контуров объектов наблюдения?
12. Чем отличается линейная фильтрация в пространственной области от линейной фильтрации в частотной области?
13. Что такое выделение контуров в изображении и для каких целей оно используется?
14. Какие из дифференциальных операторов в настоящее время нашли более широкое распространение и в каких случаях их целесообразно использовать?

Глава 6. ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

1. В чём заключается сущность статистических методов распознавания?
2. Какие критерии обнаружения и распознавания используются в системах технического зрения?
3. В чём заключаются преимущества и недостатки различных критериев обнаружения и распознавания?
4. Какие виды соседства элементов изображения используются при анализе этого изображения?
5. В чём заключается сущность метода «Лесной пожар»?
6. Какие методы сегментации полутоновых изображений используются в системах технического зрения?
7. Что положено в основу корреляционного алгоритма обработки изображений?
8. В чём заключается сущность морфологического метода анализа изображений?
9. Чем отличается нормированная взаимная корреляционная функция от коэффициента морфологической корреляции и какова их геометрическая интерпретация?

Глава 7. АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

1. Какова структура комплексного алгоритма обработки и анализа изображений?
2. В чём сущность информационной модели процесса поиска и распознавания объектов исследования?
3. Каковы условия работоспособности систем технического зрения?
4. Назовите преимущество оптических методов обработки изображений.
5. На чём основан голографический метод получения изображений?

Коллекция ссылок на Интернет-ресурсы по темам.

Глава 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Тема 1 – Система параметров и характеристик оптического излучения

1. http://www.nsk.su/~vvef/Gener_View_Djvu/Example/R_content_prett.txt.htm
2. <http://vestnik.sci.pfu.edu.ru/archiv-cs/articles-cs/2004-3-1/pdf/miroshkin-2004.pdf>
3. <http://dsp-book.narod.ru/dspimage/chapter2.pdf>
4. <http://www.impb.ru/pdf/MonoGSAM.pdf>
5. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%B8%D0%B7%D0%BB%D1%83%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5

Тема 2 – Формирование и анализ оптического изображения

1. http://aco.ifmo.ru/student/disciplines/comp_modeling_progr.html
2. <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/1.htm>
3. http://www.mai.ru/~apg/Volume2/Number2/kdv22/kdv_22.htm

Глава 2. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Тема 3 – Физические основы преобразования оптического излучения

1. http://www.ssga.ru/AllMetodMaterial/metod_mat_for_ioot/metodichki/tymkul_01/gl_01_06.html
2. <http://b2blogger.com/pressroom/release/238.html>
3. http://www.sick-automation.ru/catalog/sensors/complex/sensor_video.html

Тема 4 – Вакуумные приёмники изображения

1. <http://www.fos.ru/fisika/12182.html>
2. <http://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/109/535.htm>

Тема 5 – Твёрдотельные приёмники изображения

1. http://www.ssga.ru/eossib/oep_yak/g79.htm
2. <http://aco.ifmo.ru/science/03-bmv.html>
3. <http://vova1001.narod.ru/00003935.htm>
4. <http://www.ess.ru/publications/articles/nikulin2/nikulin.htm>

Глава 3. СТРУКТУРА ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Тема 6 – Общие принципы построения и функционирования систем технического зрения

1. http://www.rusnauka.com/NPM_2006/Tecnic/2_shutilov.doc.htm
2. <http://www.5ballov.ru/referats/preview/70634>

Тема 7 – Основные параметры и характеристики воспроизведения изображений

1. <http://psylib.org.ua/books/vekk101/txt07.htm>
2. http://ezhe.ru/data/vgik/zhv-cvet_kontrast_1.html

Глава 4. ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Тема 8 – Формирование изображения в системах технического зрения

1. <http://nauka.relis.ru/05/0409/05409054.htm>
2. <http://www.icpt.su/?fl=336&doc=887>
3. <http://www.nnt.ru/content/198.htm>
4. <http://www.ferra.ru/online/video/s18200/>

Тема 9 – Методы сжатия цифровых изображений

1. http://device.com.ru/material/video_4.shtml
2. <http://www.intuit.ru/department/graphics/compression/>
3. <http://kainsk.tomsk.ru/g2003/other26/zifr.htm>
4. <http://www.shocker.ru/articles/18.html>

Глава 5. ОБРАБОТКА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Тема 10 – Предварительная обработка изображений

1. http://macedu.hoha.ru/edu/posob/inf_7_2.html
2. <http://www.5ballov.ru/referats/preview/21408/1>
3. <http://matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2/16.php>
4. <http://www.geomatica.kiev.ua/training/DataCapture/RemoteSensing/chapter106.html>
5. <http://www.unn.ru/vmk/graphmod/data/archive/imgalg.pdf>

Тема 11 – Методы обработки изображений

1. <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/1.htm>
2. <http://www.ipsi.smr.ru/institute/structure/lmmoi/lmmoi.shtml>
3. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/68.html>

Глава 6. ОБНАРУЖЕНИЕ И РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НАБЛЮДЕНИЯ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Тема 12 – Методы обнаружения и распознавания объектов на изображении

1. <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/2.htm>
2. <http://articles.security-bridge.com/articles/80/11521/>
3. http://www.keldysh.ru/papers/2003/prep46/prep2003_46.html
4. <http://prodav.exponenta.ru/dsp/index.html>

Тема 13 – Выделение и анализ связанных областей

1. <http://allrefs.ru/prosmotr/9021-2960.htm>
2. <http://www.osp.ru/text/233552/1336950/>
3. <http://www.intuit.ru/department/se/compprog/4/>

Тема 14 – Корреляционный алгоритм обработки изображений

1. http://www.butovo.com/~zss/bw_morf.html
2. <http://www.5ballov.ru/referats/preview/70634>
3. <http://www.itp.nsc.ru/piv/piv.htm>
4. <http://www.computer-museum.ru/histussr/dsp.htm>

Глава 7. АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Тема 15 – Управление процессами обработки и анализа изображений

1. <http://www.dialog-21.ru/Archive/2004/Trusova.htm>
2. <http://www.abbyy.ru/sdk/?param=60344>
3. <http://systemling.narod.ru/image/knowbase.htm>

Тема 16 – Оптические методы обработки изображений в системах технического зрения

1. <http://dvo.sut.ru/libr/rts/i143emdi/index.htm>
2. <http://www.videoscan.ru/page/718>
3. <http://www.bnti.ru/showart.asp?lvl=02.01.04.&aid=618>
4. <http://www.bestreferat.ru/referat-67092.html>

ГРАФИЧЕСКАЯ СРЕДА ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LabVIEW И ПЛАТФОРМА NI Vision

1. <http://www.ni.com/> Сайт компании National Instruments.
2. <http://www.labview.ru/> Сайт Российского отделения компании National Instruments.