

На правах рукописи

Мансуров Дмитрий Викторович

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБОТКИ
СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ
СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Специальность 05.13.06 - автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в машиностроении

Москва-2005г.

Работа выполнена на кафедре «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» Российского университета дружбы народов.

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор Рогов В.А.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Эстерзон М.А..
кандидат технических наук
Михайловский М.А.

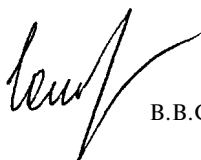
Ведущая организация - ФГУП «МП» «Звездочка» г.Северодвинск

Защита диссертации состоится 29 марта 2005 г. в 13 часов
на заседании диссертационного совета Д 212/203.16 в Российском
университет дружбы народов по адресу: 113090 г. Москва,
Подольское шоссе, д. 8/5 аудитория № 104.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке
Российского университета дружбы народов (117198 г.Москва, ул.
Михлухо-Маклая, д. 6)

Автореферат разослан 15 декабря 2005 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



В.В.Соловьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность проблемы. В современных условиях развитие большинства отраслей промышленности, в том числе и машиностроения, обуславливается разработкой и внедрением новых наукоемких технологий, основанных на полной или частичной автоматизации производственных процессов. Для передовых отраслей машиностроения, таких как судостроение, авиационная и автомобильная промышленность; станкостроение, турбостроение, компрессоростроение и другие характерна тенденция к сборке конструкций из отдельных крупногабаритных и значительных по весу блоков и модулей, характеризующихся высокой степенью наполнения коммуникациями и оборудованием. Что не менее важно, для современного машиностроения характерно использование сложнопрофильных и крупногабаритных пространственных деталей, форма которых определяется не сочетанием традиционных поверхностей типа плоскостей, цилиндров или конусов, а сочетанием поверхностей, которые задаются не аналитически, а совокупностью находящихся на них точек. Примером такого рода деталей, ограниченных точечно-заданными поверхностями, являются гребные винты (водяные и воздушные), турбинные лопатки, штампы для листовой штамповки, применяемые в автомобильной промышленности, части корпусных оболочек в судостроении и в самолетостроении, волноводы, различного рода копиры и т.п.

Вместе с тем существующий уровень автоматизации производственного процесса получения подобных деталей не позволяет **полностью автоматизировать** обработку.

Для решения этой **задачи** предлагается проведение необходимых исследований и создание специальной фотограмметрической системы с соответствующим математическим, алгоритмическим и программным обеспечением. Именно такого рода система может обеспечить неразрушающее бесконтактное измерение получаемой поверхности, реализацию сравнения фактических геометрических параметров обработанной поверхности с заданными, анализ результатов этого сравнения, принятие оперативных решений по проведению дальнейшей обработки и выработку управляющих сигналов для обработки.

Цель работы: Разработка научно обоснованной методики неразрушающего дистанционного контроля отклонения формы точно заданных сложнопрофильных поверхностей и крупногабаритных конструктивных элементов и создание на ее

основе стереофотограмметрической системы, и научных принципов формирования управляющего сигнала в системах автоматизированной обработки сложнопрофильных поверхностей.

Методы исследования. Для достижения поставленной цели использовались основные положения дифференциальной геометрии, теории проецирования, способы статистической обработки экспериментальных данных, а также методы современной компьютерной обработки сигналов.

Научная новизна.

- произведен анализ методов и технических средств автоматизации управления обработкой сложных поверхностей, что позволило сформулировать требования к современным методам дистанционного неразрушающего контроля для целей автоматизации обработки точно заданных сложнопрофильных поверхностей и крупногабаритных конструктивных элементов;
- произведена разработка методики бесконтактного активного контроля для целей автоматизации технологических процессов механической обработки точно заданных сложнопрофильных поверхностей и крупногабаритных конструктивных элементов;
- разработано геометрическое обеспечение оценки точности изготовления поверхностей точно заданных сложнопрофильных поверхностей и крупногабаритных конструктивных элементов;
- создана и экспериментально апробирована система автоматизации обработки точно заданных сложнопрофильных поверхностей и крупногабаритных конструктивных элементов, основанная на стереофотограмметрировании.

Практическая ценность работы. Созданная система фотограмметрирования и методика ее использования позволяют автоматизировать производственные процессы изготовления точно заданных сложнопрофильных и крупногабаритных деталей, таких, например, как гребные винты или элементы судовых корпусных конструкций и др., что было практически использовано для автоматизации производственных процессов на Северодвинском судостроительном заводе.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на заседаниях кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» РУДН в 2001 - 2004 гг., а также на научно-технических конференциях

Публикации. По результатам проведенных исследований и разработок опубликованы 6 статей.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения четырех глав, заключения и общих выводов, списка использованной

литературы (72 наименований) и 2-х приложений. Работа содержит 114 страниц машинописного текста, 45 рисунков, 9 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности выбранной темы диссертации и основные направления исследований.

В 1-ой главе работы проведен анализ отечественных и зарубежных публикаций в области теории и практики автоматизации получения точно заданных сложнопрофильных и крупногабаритных поверхностей.

Установлено, что для целей автоматизации производственных процессов механической обработки такого рода поверхностей наиболее подходят методы, основанные на применении принципов стереофотограмметрии.

Однако для практического применения подобных методов оказалось необходимым предварительно решить ряд научно-технических задач, а именно:

- создать сравнительно недорогие и удобные в эксплуатации системы бесконтактного неразрушающего активного контроля, обладающие необходимой точностью;
- в максимально возможной степени обеспечить применение цифровых методов с целью исключения влияния помех, потери точности и дрейфа нуля;
- разработать методику обработки цифровых изображений с учетом наличия аппаратуры, доступной пользователю;
- разработать и реализовать для системы обработки цифровых изображений и для использования полученных результатов соответствующее программное обеспечение;
- разработать для общего случая методику совмещения фактически получаемой поверхности с математической (теоретической) моделью, а также методику оценки точности такого совмещения; указанные методики должны найти свою программную реализацию;
- разработать методику передачи результатов наблюдений в устройства ЧПУ для последующей обработки заданных поверхностей согласно технологическому процессу.

Во 2-ой главе на основе теории проецирования разрабатывается методика бесконтактного активного контроля для автоматизации технологических процессов механической обработки точно заданных сложнопрофильных и крупногабаритных поверхностей. С

этой целью прежде всего разрабатывается методика определения положения маркированных точек и их границ.

Решение поставленной таким образом задачи производится в два этапа:

- идентификация наблюдаемых точек;
- определение координат идентифицированных точек.

Цифровое изображение каждой точки, состоящее из строчек и столбцов, запоминается для дальнейшей обработки.

Известно, что обычно воспринимаемая освещенность объекта складывается из низкочастотных пространственных составляющих, для каждой из которых коэффициент отражения приблизительно можно считать зеркальным. Связь между коэффициентом отражения и освещенностью, с одной стороны, и получаемым изображением - с другой, может выражаться не произведением, а суммой, если интенсивность плотности яркости получаемого изображения прологарифмировать. При фильтрации логарифма изображения так называемым режекторным фильтром, настроенным на нулевую частоту компонента, характеризующая освещенность объекта, будет подавлена. С этим связан относительный подъем высоких частот, что улучшает различаемость изображения. При последующем потенцировании отфильтрованное изображение возвращается в пространство плотностей яркости. В качестве такого режекторного фильтрования при разработке математических основ метода предлагается использовать разложение в ряд Фурье. Соответствующий метод обработки изображения относится к классу гомоморфных. Последовательность предлагаемой гомоморфной обработки изображения представлена на рис.1.

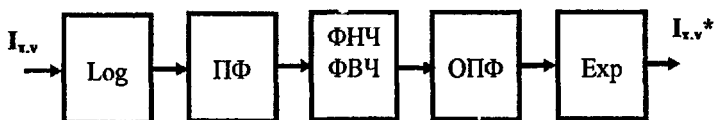


Рис. 1. Гомоморфная обработка изображения.

На этом рисунке $I_{x,y}$ - исходная интенсивность плотности яркости изображения точки, $I_{x,y}^*$ - преобразованная интенсивность плотности яркости изображения точки, ПФ ФНЧ и ФВЧ - соответственно, фильтры низкой и высокой частоты, ОПФ - обратное преобразование Фурье, Log и Exp - соответственно, операторы логарифмирования и потенцирования.

Дискретное преобразование Фурье, используемое для перевода изображения в частотную область, осуществляется по формуле

$$F(u, v) = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{x=0}^{N_x-1} \sum_{y=0}^{N_y-1} z(x, y) e^{-i2\pi(ux/N_x + vy/N_y)}, \quad (0)$$

где N_x, N_y - число пикселей в направлении осей x и y соответственно, u, v - дискретные индексы Фурье: $u = 0, 1, 2, \dots, N_x - 1$ и $v = 0, 1, 2, \dots, N_y - 1$.

После перевода изображения в спектральную плоскость, можно произвести фильтрацию частот, что выражается в приравнении нежелательных компонент разложения Фурье нулю. Возвращение отфильтрованного изображения в исходное пространство плотностей яркостей осуществляется с помощью обратного преобразования Фурье по формуле

$$F(u, v) = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{x=0}^{N_x-1} \sum_{y=0}^{N_y-1} F(u, v) e^{i2\pi(ux/N_x + vy/N_y)} \quad (2)$$

Все указанные преобразования проводятся построчно.

Полученное в результате фильтрации цифровое изображение состоит из подлежащих дальнейшему использованию частей, называемых компонентами изображения точки и фона. Для дальнейшего использования полученных данных с целью автоматизации технологического процесса механической обработки точно заданных сложнопрофильных поверхностей каждый из элементов изображения должен быть отнесен либо к компонентам изображения точки, либо к фону. Этот процесс отнесения элементов изображения к одному из двух указанных классов принято называть сегментацией.

Для использования с целью автоматизации технологических процессов стереофотограмметрических датчиков рекомендуется применять статистические методы сегментации. Так как цифровое изображение точки представляет собой квадратную матрицу размерности $N \times N$, то задачу обнаружения границ области, представляющей точку, предлагается рассматривать как задачу обнаружения скачкообразных изменений среднего значения интенсивности плотности яркости по строкам и по столбцам цифрового изображения. При этом должно проверяться совпадение средних значений выборки, представительность сделанной выборки, а также изменение знака первой производной. Зависимости координат центра тяжести изображения точки от строки и от столбца аппроксимируются многочленами вида:

$$\begin{aligned} Y_{цт} &= a_1 + b_1 X_{стр} + c_1 X_{стр}^2 + d_1 X_{стр}^3 + e_1 X_{стр}^4 \\ X_{цт} &= a_2 + b_2 Y_{стб} + c_2 Y_{стб}^2 + d_2 Y_{стб}^3 + e_2 Y_{стб}^4 \end{aligned}$$

Коэффициенты аппроксимирующих многочленов выбираются по методу наименьших квадратов.

После создания стереофотограмметрической системы и до ее практического применения необходимо провести ее калибровку, то есть установить зависимости между 3-х мерными координатами определяемых точек и параметрами этой системы

Основными параметрами стереофотограмметрической системы являются:

- B - расстояние между камерами;
- $F_{л}, F_{п}$ - фокусные расстояния, соответственно, левого и правого объективов.

К второстепенным параметрам стереофотограмметрической системы относятся углы $\alpha_{л}, \omega_{л}, \chi_{л}, \alpha_{п}, \omega_{п}, \chi_{п}$, соответственно, характеризующие положение левого и правого снимков по отношению к фокальным плоскостям объективов. В диссертации предложена соответствующая методика.

В 3-ей главе решаются вопросы геометрического обеспечения оценки точности изготовления точно заданных поверхностей сложнопрофильных и крупногабаритных деталей. Под этим подразумевается виртуальное совмещение реального изделия и его математической модели, что сводится к совмещению фактически полученной поверхности с ее математической моделью.

Если имеются математическая G и изготовленная с практически достижимой точностью физическая S модели поверхности, а начала собственных систем координат физической модели O математической модели O_1 смещены друг относительно друга на вектор P , и, кроме того, координатные оси O_1X_1, O_1Y_1, O_1Z_1 системы S повернуты относительно координатных осей OX, OY, OZ системы G на углы α, β и γ , то на математической модели, задаваемой рядом характерных точек a_i , производится определение соответствующих им точек b_i на физической модели ($i = 1, 2, \dots, N$). Число точек N и их расположение зависят от конкретной формы модели и определяются конструктором данной детали. Совместить изделие с его математической моделью это значит найти такое преобразование R , которое переводило бы систему координат с началом в точке O_1 в систему координат с началом в точке O таким образом, чтобы сумма квадратов расстояний от преобразованных фактически определенных точек b_i до соответствующих им точек математической модели a_i , представляющих собой величины $c^i = R(b_i)$ была бы минимальной. Преобразование значений координат контролируемой точки b_i в матричной форме записывается следующим образом:

$$c^i = [R](b_i + P)$$

где $[R]$ - матрица, определяющая поворот осей системы координат $O_1X_1Y_1Z_1$ на углы α, β и γ .

Поскольку P_x, P_y, P_z, β и γ достаточно малы, в линейном приближении $\sin \alpha \cong \alpha, \text{ а } \cos \alpha \cong 1$.

Если углы поворота координатных осей α, β и γ больше 2° , то при дифференцировании соответствующей функции Лагранжа будет получена система нелинейных уравнений. Для решения такой системы в диссертации используется приближенный метод Ньютона.

Для совмещения контрольных обводов математической модели и результатов реальных замеров сначала находятся точки $c^{(0)}$, лежащие на многоугольнике, сторонами которого являются отрезки прямых линий, соединяющих точки b^i , исходя из условия, что расстояние от точки b^i до точки $c^{(0)}$ минимально. Затем последовательно определяются расстояния от точки a^i до каждого из этих отрезков, то есть до отрезков $[b^j, b^{j+1}]$, $j = 1, \dots, M - 1$. С этой целью находятся векторы $(a^i, -d)$, перпендикулярные этому отрезку прямой и проходящие через точку a^i .

Однако, определенная таким образом точка $d(t^*)$ может оказаться за пределами отрезка $[b^j, b^{j+1}]$, поэтому в окончательном виде точку d , соответствующую минимальному расстоянию от данной точки a^i до ближайшей стороны многоугольника, соединяющего точки b^i , нужно находить следующим образом:

$$d = \begin{cases} b^j, & t < 0; \\ d(t^*), & 0 \leq t \leq 1; \\ b^{j+1}, & t > 1 \end{cases}$$

Результаты совмещения исходной и математической моделей по описанной методике приводятся в таблице 1

Таблица 1

ИЗМЕНЕНИЯ КООРДИНАТ ПРИ СОВМЕЩЕНИИ ИСХОДНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНОПРОФИЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ					
$\Delta x =$	$\Delta y =$	$\Delta z =$	$\alpha =$	$\beta =$	$\gamma =$
0,209 мм	0,127 мм	0,000 мм	-0,074°	-0,096°	-0,084°
ОТКЛОНЕНИЯ ОТ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СЛОЖНОПРОФИЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ					
$d_x =$	$d_y =$	$d_z =$	$s_x =$	$s_y =$	$s_z =$
0,001мм	0,001мм	0,001мм	0,001°	0,012°	0,001°

Как видно из этой таблицы, результаты расчета показывают, что предложенная методика совмещения исходной и математической модели сложнопрофильной поверхности дает хорошие результаты.

В 4-ой главе описываются разработка системы автоматизации обработки сложнопрофильных и крупногабаритных поверхностей и

экспериментальные результаты ее апробирования. Для дистанционного неразрушающего «ощупывания» обрабатываемого объекта в созданной стереофотограмметрической системе используются серийно выпускаемые цифровые камеры либо видеокамеры, а также серийное программное обеспечение используемых в этой системе персональных компьютеров (ПЭВМ). Цифровые камеры, в отличие от видеокамер, позволяют непрерывно наблюдать изображение контролируемого объекта, и с помощью платы сопряжения (фраймграбер), и это изображение в цифровом, виде записывается в оперативную память ПЭВМ.

В предлагаемой стереофотограмметрической системе рекомендуется применять цифровые камеры, использующие матрицы с размерностью 2 000 x 2 000 пикселей, порогом чувствительности, не превышающим 0,02 лк и основными размерами пикселя, составляющими, обычно, у серийных цифровых камер величины 8,6 x 8,3 мкм.

Дополнительным требованием к применяемым цифровым камерам является ограничение на отношение полезного сигнала к шуму. Это отношение не должно быть меньше, чем 50 ДБ.

Обычно для современной оптики, например, для отечественных объективов типа «Гелиос» производства красногорского оптико-механического завода дифракционная разрешающая способность лежит в пределах 200 линий/мм, что при размере пикселя 8,6 x 8,3 мкм удовлетворяет требованиям контролируемых систем. Однако необходимо учитывать, что разрешающая способность объективов практически из-за различного рода аберраций оказывается заметно ниже паспортной. Надо учитывать также, что многим объективам присуща так называемая дисторсия, то есть подушкообразное искажение геометрии изображения, хотя для большинства объективов с фокусным расстоянием, превышающим 20 мм, значение дисторсии оказывается вполне приемлемым. Программное обеспечение созданной стереофотограмметрической системы состоит из трех общедоступных проблемно-ориентированных программ:

- основной программы Stereo;
- графического редактора iPhoto Deluxe;
- программы для работы с изображением Magisof

Основная программа используется для анализа цифровых изображений и для идентификации точек на них. После определения контролируемых точек данная программа позволяет переписать их координаты в специально отведенный файл, где их можно сравнить с требуемыми координатами точек и выдать рекомендации по дальнейшей обработке детали. Так как

практически точка в общем случае представляет собой «размытое» пятно, то определение ее координат сводится к определению координат центра тяжести изображающей ее фигуры. Общая блок-схема программного обеспечения созданной стереофотограмметрической системы представлена на рисунке 2.

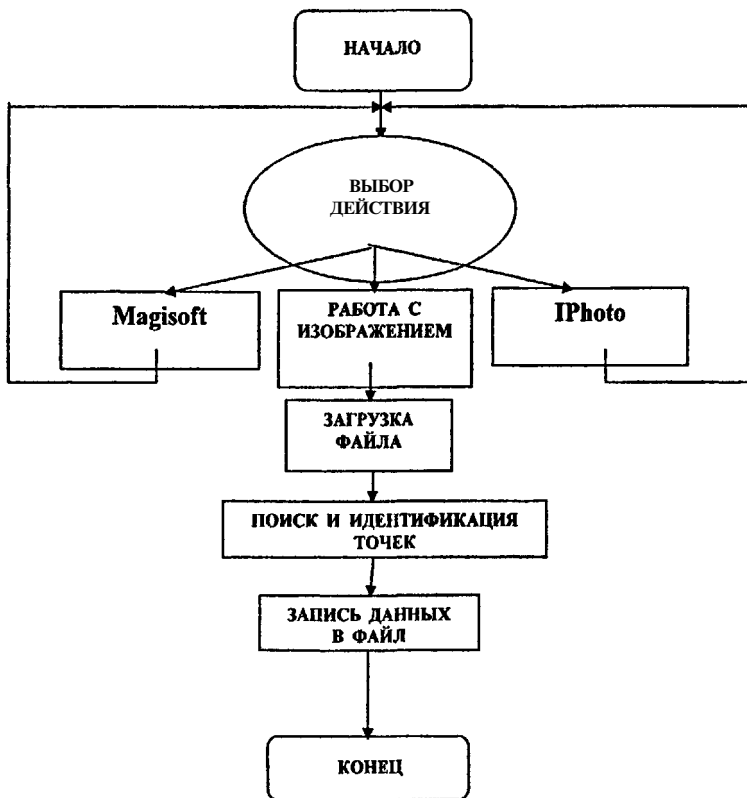


Рис.2. Общая блок-схема программного обеспечения стереофотограмметрической системы

Для вычисления координат определяемых точек в созданной стереофотограмметрической системе используются элементы матрицы ПЗС (приборов с зарядовой связью). Для таких матриц характерны нерегулярность пространственного расположения и нестабильность чувствительности по фоточувствительному слою, что обусловлено свойствами технологического процесса

изготовления такой матрицы. По литературным данным в большинстве случаев для ПЗС-матриц такая нестабильность составляет 5-10%. Для цифровых видеокамер, использующих объективы с постоянным фокусным расстоянием специального назначения в том числе и измерительные объективы, эта нестабильность чувствительности может составлять 0,1-2%. Для определения влияния нестабильности чувствительности на точность определения пространственных координат точки, нужно иметь набор видеокамер с различной нестабильностью, произвести с их помощью ряд определений пространственных координат точки, и обработать полученные результаты применен метод специального моделирования. Суть этого метода состоит в том, что на цифровое изображение идеальной точки накладываются цифровые изображения случайного шума. Эти случайные шумы следует считать нормально распределенными и с одними и теми же средними значениями, но с различными процентами отклонения от этого среднего значения. Для генерации случайного шума можно, как известно, воспользоваться программными генераторами равномерного распределения, а затем получить нормальное распределение с требуемыми параметрами:

Для моделирования ПЗС-матрицы были использованы данные видеокамеры, которая практически применялась для отработки методики определения пространственных координат точки.

Результаты моделирования нестабильности чувствительности, (при 4-х кратном повторении опытов с последующим усреднением), приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты моделирования нестабильности видеокамеры

ПРОЦЕНТ ОТКЛОНЕНИЯ	Y (пиксель)	X (пиксель)	dY (пиксель)	dX (пиксель)	dY мм	dX мм
0	122,5	511,5	0	0	0	0
0,1	122,5005	511,4983	0,0005	0,0017	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$
0,5	122,4952	511,4974	0,0048	0,0026	$5,2 \cdot 10^{-5}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$
1,0	122,5526	511,4942	0,0474	0,0058	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$4,7 \cdot 10^{-5}$
3,0	122,4521	511,5659	0,0479	0,0659	$0,2 \cdot 10^{-4}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$
5,0	122,3139	511,4694	0,1807	0,0306	$0,2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$

В проведенных экспериментах положение стереопары однозначно задавалось программой Magisoft и обрабатывалось программой Stereo по методике, описанной выше. Обработка полученных результатов предусматривала калибровку полученных снимков, то есть их ориентирование по методу наименьших

квадратов и определение необходимой базы. С целью обеспечения достоверности экспериментальных данных определение пространственных координат точек производилось путем усреднения по 4-м полученным снимкам.

Работоспособность созданной стереофотограмметрической системы проверялась также путем определения формы поверхности лопасти гребного винта. Математическая модель точно заданной поверхности гребного винта была создана путем непосредственного измерения. В качестве базовой поверхности была выбрана плоскость ступицы. На рис.3 представлена пара стереоснимков контролируемого гребного винта. Задача состояла в том, чтобы совместить точки, фактически полученные на поверхности обрабатываемой детали, с математической моделью этой детали. Подобное совмещение производилось по методике, предложенной в главе 3 диссертации.



Рис. 3. Пара стереоснимков контролируемого гребного винта.

Полученные экспериментальные данные показывают, что стандартная ошибка в определении с помощью предложенной стереофотограмметрической системы пространственных координат точек обрабатываемой поверхности лопастей гребного винта не превышает 2 мм, что является вполне удовлетворительным для задач ее производственного использования. Сам факт возникновения этой ошибки объясняется тем, что радиус кривизны обрабатываемой поверхности на участке, прилегающем к маркированной точке, сравним с размером этой точки.

Созданная стереофотограмметрическая система может быть использована не только в качестве датчика дистанционного неразрушающего контроля для автоматизации производственных

процессов обработки точно заданных сложнопрофильных поверхностей, примером которых являются лопасти гребных винтов, но и для обработки и монтажа крупногабаритных пространственных конструкций. Примером такого рода изделий являются оболочки отсеков корпусов судов.

До последнего времени основными техническими средствами контроля формы крупногабаритных корпусных судовых конструкций являлись струны, отвесы, рулетки и тому подобные ручные средства. Методы контроля, основанные на их использовании, являлись трудоемкими и неоперативными. Точность определения соответствующих координат при этом зависит от субъективных факторов, не удовлетворяет возросшим требованиям современного машиностроительного производства, и, самое главное, не позволяет осуществлять активный технологический контроль и автоматизировать производственные процессы. Создание данной стереофотограмметрической системы является ответом на эти вопросы.

Общность подходов и характера использования полученных при этом результатов остается неизменной и для других конструкций такого рода.

Созданная стереофотограмметрическая система была использована для контроля контура крупногабаритной цилиндрической конструкции корпусного отсека, которая в дальнейшем для сборки всего корпуса использовалась в качестве свариваемого элемента. Конструктивно этот элемент судового корпуса представлял собой обечайку. По торцу этой обечайки устанавливались пассивные метки M_1, \dots, M_n . До начала сварки регистрировались координаты этих точек, соответственно, $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$. После окончания процесса сварки фиксировались новые координаты этих же точек, соответственно, $\delta_1(t), \delta_2(t), \dots, \delta(t)$.

Этим определяются приращения:

$$\Delta\delta_1(t) = \delta_1(t) - \delta_1;$$

$$\Delta\delta_2(t) = \delta_2(t) - \delta_2;$$

.....

$$\Delta\delta_n(t) = \delta_n(t) - \delta_n.$$

Тогда изменение начального радиуса окружности контролируемого изделия в полярных координатах будет иметь следующий вид:

$$\Delta R_1(t) = R_0 - \Delta\delta_1(t);$$

$$\Delta R_2(t) = R_0 - \Delta\delta_2(t);$$

.....

$$\Delta R_1(t) = R_0 - \Delta \delta_1(t);$$

$$\Delta R_2(t) = R_0 - \Delta \delta_2(t);$$

.....

$$\Delta R_n(t) = R_0 - \Delta \delta_n(t);$$

В заключении подводятся итоги проведенных исследований и определяются области рационального применения созданной стереофотограмметрической системы в машиностроении, прежде всего в судостроении, авиационной и автомобильной промышленности, станкостроении, турбостроении, компрессоростроении и других, что обуславливается разработкой и внедрением новых наукоемких технологий, основанных на полной или частичной автоматизации производственных процессов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ:

1. Разработана научно обоснованная методика неразрушающего дистанционного контроля отклонений формы сложнопрофильных точно заданных поверхностей, для обработки и сборки крупногабаритных конструктивных компонентов с использованием дистанционной стереофотограмметрии.
2. Разработаны научные принципы и апробированы методики гомоморфной обработки цифрового изображения точки, обеспечивающая точное определение его границ.
3. Разработана и предложена методика определения координат точки в плоскости ее изображения, использующая нахождение центра тяжести этого изображения.
4. Для ориентирования стереоснимков в базисной системе координат разработана и апробирована методика, основанная на использовании метода наименьших квадратов (МНК).
5. Разработана и апробирована методика совмещения контролируемой поверхности с ее математической моделью и определения возникающих при этом отклонений.
6. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований создана практически применимая стереофотограмметрическая система, базирующаяся на использовании серийных видеокамер, универсальных персональных компьютеров класса IBM и специально разработанного для этой задачи проблемно-ориентированного программного обеспечения.

7. Результаты работы использованы на предприятии и успешно прошли практические испытания в производственных условиях, обеспечив автоматизацию механической обработки точно заданных сложнопрофильных поверхностей типа гребных винтов и сварки крупногабаритных пространственных конструкций типа компонентов судовых корпусов.

Основное содержание диссертации отражено в следующих публикациях:

1. Макаров В.В., Мансуров Д.В., Куклин О.С., Черепенин Ф.В. «Метод, определения двумерных координат точек стереопар при использовании стереофотограмметрических систем контроля формы судовых конструкций»: «Судостроение».- СПб.- 2000.-№3.- С. 46-48.
2. Макаров В.В., Мансуров Д.В., Черепенин Ф.В. «К вопросу о совмещении реальной и теоретической поверхностей сложнопрофильных машиностроительных конструкций»././ «Юбилейный сборник трудов Академии инженерных наук».- СПб.- 2001.- С. 170-175.
3. Макаров В.В., Мансуров Д.В., Черепенин Ф.В. Тезисы доклада на НПК «Методика восстановления поверхности сложнопрофильных изделие судостроения»././Тез. регион, научн.-практ. конф. Молодых ученых «Ломоносова достойные потомки»- г.Архангельск: Поморский гос. ун-т, 2001.-С. 199-201
4. Черепенин Ф.В. Макаров В.В., Мансуров Д.В. « Заключительный отчет по теме Х-065. «Стереофотограмметрическая информационно-измерительная система контроля геометрических параметров крупногабаритных машиностроительных изделий». Рег. № ВНТЦ 020202 500908 г. Северодвинск, 2000г.
5. Мансуров Д.В., Черепенин Ф. В., Лаптева Е.Н. «Метод определения двумерных координат точек стереопар»././ Сборник статей, посвященный Ломоносовским чтениям. - Северодвинск: РИО Севмашвуза, 1999. - С. 14 - 17.
6. Мансуров Д.В., Черепенин Ф. В., Лаптева Е.Н. «К вопросу о калибровке видеограмметрической системы». // Вопросы технологии, эффективности производства и надежности. - Северодвинск: типография ГУП ПО СМП, 1999. - Вып. 17. ч. II. - С. 78-85.

Мансуров Дмитрий Викторович (Россия)

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАБОТКИ
СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ
СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Диссертация посвящена исследованию и разработке системы неразрушающего дистанционного контроля точно заданных сложнопрофильных поверхностей, а также крупногабаритных конструктивных элементов с целью автоматизации производственных процессов их механической обработки и сборки. Система создана на основе методов стереофотограмметрирования с соответствующим математическим обоснованием путем использования серийно выпускаемых видеокамер и средств вычислительной техники класса персональных компьютеров. Она апробирована в производственных условиях и рекомендована к применению в ряде отраслей современного машиностроения.

Mansurov Dmitry Victorovich (Russia)

THE INTRICATE SURFACES TREATMENT AUTOMATISATION AND
INVESTIGATION ON THE BASIS OF THE STEREOFOTOGAMMETRIC
SYSTEM

The thesis devotes to the investigation and the elaboration of the remote indestructible control system for the intricate surfaces determined by the points and also for the large scale constructive elements in order to automatize their mechanical treatment and assembling. The system is created on the basis of the stereofotogrammetric methods with corresponding software by the way of the serial videocameras and personal computers type hardware using. It approved in the industrial conditions and recommended for applying in the numbers of the modern mechanical engineering fields.

Отпечатано в ООО «Оргсервис-2000»
Тираж 100 экз. Заказ № 3/2-4Т
Москва, 115419, а/я 774, ул. Орджоникидзе, 3

05.12 - 05.13

22 АПР 2005

1144