
МОДЕЛИ РАЗЛИЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФИГУР РАЗНОГО РАЗМЕРА

Ю.А. Чудина

Кафедра социальной и дифференциальной психологии
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198

В статье описаны результаты двух экспериментов, в которых в качестве стимулов использовали цветные геометрические фигуры разного размера. На основе полученных экспериментальных данных были построены конфигуративная и категориальная модели различения, отличающиеся формальными и содержательными характеристиками. Они отражают разные способы формирования образа: на основе аддитивного и неаддитивного принципов объединения мозговых механизмов, анализирующих зрительные признаки изображения.

Ключевые слова: многомерное шкалирование, субъективные оценки попарных различий, цветные геометрические фигуры разного размера, двухканальный модуль, сферическая модель различения стимулов, зрительный образ.

Изучение формирования зрительного образа в рамках концепции векторного кодирования основано на моделировании нейронных механизмов различения зрительных стимулов [4]. В предыдущих исследованиях экспериментально было показано наличие двух способов распознавания изображений, отличающихся принципами анализа внешней стимуляции [2].

Первый способ предполагает выделение зрительных признаков изображения и их количественную оценку. Такие зрительные признаки, как цвет, яркость, ориентация границы, размер, форма, направление движения, анализируются специализированными нейронами-детекторами [6; 7]. Результатом такого детекторного способа различения изображения является поэлементное описание его конфигурации. Совместная активация нейронов-детекторов признаков позволяет отдельно «рассмотреть» все зрительные характеристики предмета. Известно, что нейронные каналы, анализирующие разные зрительные признаки, имеют разный приоритет [8] и скорость срабатывания [5]. Первоначально анализируются цветовые и яркостные характеристики изображения, затем — ориентация, направление движения, форма. В данном случае детекторные механизмы объединяются аддитивно — путем простого сложения [2]. Зрительные признаки обрабатываются функционирующими параллельно двухканальными нейронными модулями [1]. Детектирование зрительных признаков осуществляет дорзальная функциональная система зрения [9].

Второй способ распознавания изображений реализуется на основе различения зрительных категорий и формирует целостное представление о предмете. В данном случае субъект «не видит» признаки изображения, а «схватывает» изображение целиком. Это происходит путем введения дополнительного средства различения — зрительной категории, которая напрямую не связана с каждым признаком, но является их интегральной производной. Основой категориального

способа анализа изображения является неаддитивное объединение детекторных механизмов [2]. Зрительная категоризация осуществляется преимущественно вентральной системой зрения [9], свойства которой делают возможным целостное восприятие объектов.

Два описанных способа восприятия лежат в основе формирования зрительного образа. Первый способ носит непосредственный характер, напрямую зависит от зрительного опыта, закономерностей строения и условий формирования зрительной системы. Второй способ носит опосредованный, возможно, языковой характер и требует использования обобщающих признаков, выступающих средством интеграции и группировки элементов видимой сцены. Эти особенности детерминируют реализацию детекторного принципа при различении конфигурации изображения и языкового — при его категоризации [2; 8].

В данной работе сравнивали два способа различения изображений. Для этого провели две серии эксперимента, в которых использовали практически одинаковые стимулы и идентичные процедуры их предъявления.

В эксперименте приняли участие две группы здоровых испытуемых по 6 человек, в состав каждой из которых входили и мужчины, и женщины в возрасте 27—40 лет. Испытуемые первой группы принимали участие в первой серии эксперимента, а испытуемые второй группы — во второй серии.

Стимулы представляли двумерные геометрические фигуры, варьирующие по цвету и размеру (табл. 1). Использовали 30 изображений, из которых пять наборов по 6 фигур имели одинаковый цвет и яркость. Наборы стимулов для второй серии отличались от такого набора для первой серии наличием дополнительных знаков (табл. 1, крайняя правая графа). Во второй серии все 30 изображений с помощью двух знаков были разделены на три группы по 10 изображений. В первую группу вошли стимулы со знаком «круг», в центре которых изображался белый заполненный кружок. Ко второй группе относились фигуры со знаком «черта», которые были разделены белой вертикальной линией пополам. Третья группа была образована фигурами без знака.

Таблица 1

Характеристики фигур, используемых в качестве стимулов

№ стимула	Цвет	Цветовые координаты МКО 31		Длина волны, нм	Яркость, кд/м ²	Форма	Площадь фигуры, см ²	Знак
		X	Y					
1	Красный	557	331	610	12	Треугольник	23	Круг
2						Квадрат	13	Круг
3						Прямоугольник	5	—
4						Круг	30	Черта
5						Ромб	11	Круг
6						Овал	3	Черта
7	Зеленый	313	548	560	30	Треугольник	11	Круг
8						Квадрат	7	—
9						Прямоугольник	30	Круг
10						Круг	15	Черта
11						Ромб	4	—
12						Овал	16	Черта

№ стимула	Цвет	Цветовые координаты МКО 31		Длина волны, нм	Яркость, кд/м ²	Форма	Площадь фигуры, см ²	Знак
		X	Y					
13	Синий	166	174	480	9	Треугольник	4	—
14						Квадрат	34	Круг
15						Прямоугольник	13	—
16						Круг	5	Черта
17						Ромб	25	Круг
18						Овал	7	Черта
19	Желтый	406	476	570	40	Треугольник	24	Круг
20						Квадрат	13	—
21						Прямоугольник	5	—
22						Круг	30	Черта
23						Ромб	12	—
24						Овал	3	Черта
25	Серый	397	476	—	37	Треугольник	11	Круг
26						Квадрат	6	—
27						Прямоугольник	32	Круг
28						Круг	15	Черта
29						Ромб	4	—
30						Овал	16	Черта

Процедура предъявления стимулов. Каждый испытуемый оценивал различия между 435 парами стимулов из расчета $n(n - 1) / 2$, где $n = 30$, при этом одинаковые стимулы в паре не использовали. Пары стимулов предъявляли на экране компьютера в течение 500 мс в квазислучайном порядке. После предъявления каждой пары на экране появлялась маска, совпадающая по цвету и яркости с фоном, в течение экспозиции которой испытуемый оценивал различие. Оценка различий осуществлялась по 9-балльной шкале, на которой 1 соответствовала минимальному различию, 9 — максимальному, остальные значения использовали для промежуточных оценок. Число, соответствующее оценке различия, вводилось в память компьютера путем нажатия на цифровую клавишу.

В результате для каждого испытуемого была получена индивидуальная матрица попарных субъективных различий между 30 стимулами. После проверки индивидуальных матриц на коррелированность, их усреднили по группам и получили две треугольные матрицы различий между цветными фигурами (рис. 1).

Обработка результатов. Усредненные по группам матрицы обработали с помощью неметрического метода многомерного шкалирования [3; 10], в результате получили два геометрических пространства: в первом точками представлены стимулы без дополнительных знаков, а во втором — стимулы со знаками. С целью выявления формальной и содержательной структуры этих пространств вычислили их сферичность и минимальную размерность.

Показателем сферичности является отклонение экспериментальных данных от уравнения сферы — коэффициент вариации. Минимальную размерность определяли с помощью мер различия (стресс s) и сходства (коэффициент корреляции r) между экспериментальными и модельными данными. Все показатели, представленные в табл. 2, указывают на то, что первое пространство представлено шестимерной сферой, а второе — двухмерной сферой. Интерпретация полученных пространств в терминах сферической модели различения стимулов [4] позволяет рассматривать их как модели различения изображений.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	0	2,5	9	8	3	8,5	4	8,5	2,5	8,5	8,5	9	9	2,5	8	9	2,5	8	1,5	8	8,5	8,5	8,5	8,5	2	8,5	2	9	9	9	
2	4,8	0	9	8	2	8,5	2,5	8,5	2,5	8,5	8,5	8,5	8	3	8,5	8	2,5	8	1,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	2	9	5,5	8,5	8	8	
3	4,8	4,3	0	8	8,5	8	8,5	2,5	8,5	8	5,5	8,5	2	8	2,5	9	8	9	8,5	2,5	2	9	2,5	7,5	8	2,5	7,5	8,5	5	8	
4	4,3	4,7	4,7	0	8,5	2	8	8,5	8,5	2	9	3	9	8,5	9	2,5	9	2	8,5	8,5	8,5	5,5	8,5	6	9	9	8	2,5	8,5	2	
5	4,8	4,1	4,7	4,4	0	8,5	5	9	2,5	9	8,5	8,5	8,5	2,5	7,5	9	2	8,5	3	8	8,5	8	8	8	3	9	2,5	9	8,5	9	
6	4,9	5	4	5,1	4,6	0	9	8,5	8,5	2	8	2,5	8,5	8,5	8	1,5	9	1,5	8,5	8,5	7,5	1,5	8,5	2,5	8,5	8,5	8	1,5	8	2	
7	6,9	7,6	8	7,8	7,8	7,8	0	9	2	8,5	9	8,5	8	2,5	8,5	9	3	8,5	3,5	8,5	8,5	8,5	9	8,5	2,5	8,5	1,5	8	2,5	8	8,5
8	8,3	6,3	7	8,3	7,4	7,7	4,8	0	9	7,5	2,5	4,5	1,5	7,5	3	8	8,5	8,5	9	2,5	2	8,5	2,5	8,5	8	2,5	9	9	5,5	8	
9	7,6	6,8	7	7,6	7,8	8,5	4,6	4,5	0	8,5	8,5	8,5	8,5	2	8,5	9	1,5	9	5	8,5	8,5	9	8,5	9	2,5	8,5	2,5	8,5	9	8,5	
10	8	6,9	8,2	5,8	7,3	8	4,9	4,4	4,8	0	7	2	8	8,5	8	5,5	8,5	5,5	8,5	8,5	8,5	2	8,5	5,5	8,5	8	8	3	8,5	2,5	
11	8,4	7,6	6,7	8,6	6,6	7,1	4,6	3,8	4,9	4,8	0	8,5	2,5	8	2	8	8	8	8	2	2,5	8,5	2	8	7,5	2,5	8,5	8	1,5	8,5	
12	7,8	7,8	7,8	6,9	8,4	7,3	5,1	4,4	4,5	4,5	4,6	0	8,5	9	8	5	8	2	8	8	8	2,5	8,5	2,5	8	9	8,5	3	8	1,5	
13	7,3	7,6	7,2	8,8	7,8	7,6	6,2	6,3	8,2	7,6	6,5	7,8	0	8,5	2,5	8	7	5	7,5	5	2,5	9	2	8	7	2,5	8	8,5	2,5	9	
14	6,7	6,8	7,9	7,3	7,8	8,6	7,8	7,7	6,6	7,8	8,4	7,8	5,3	0	8,5	9	2	7,5	3	8,5	8	8,5	8,5	8,5	2	9	2	8	8	8,5	
15	8,1	7,3	6,3	8,5	7,9	8	7,5	6,3	6,4	7	7,6	7,3	4,8	4,3	0	5	8,5	9	8,5	2	2,5	8,5	2,5	8	8,5	2	8,5	8,5	2,5	8,5	
16	8,6	7,7	7,3	7,6	8	6,9	7,8	7	8,4	5,9	6,7	7,9	4,3	4,8	4,8	0	8,5	2,5	8	9	8,5	2,5	8,5	2,5	9	8,5	8	5,5	8	3	
17	7,7	7,4	8,3	7,7	6,9	8,8	7,9	7,7	6,7	7,8	7,7	7,9	4,9	3,9	4,4	4,8	0	8,5	2	9	9	9	6	8	8	5,5	8,5	5	8	7,5	8
18	8,5	8	7,3	7,8	7,3	6,7	7,9	7,2	8,2	7,1	7,8	6,8	4,6	4,3	5,3	4,3	4,7	0	8,5	8,5	8,5	3	8	3	8	8,5	8	2	8,5	2,5	
19	5,4	7,8	8,1	6,8	7,8	8,5	5,6	8,2	7	7,3	8,6	7,2	7,1	7	8,3	8,7	7,7	7,9	0	7,5	8,5	8,5	8	8	2,5	8,5	1,5	8,5	9	8,5	
20	7,8	4,8	6,9	8	5,9	7,6	7,3	5,5	6,9	7,3	7,4	7,5	7,5	6,4	6,8	7,2	7,3	8,1	4,8	0	1	8,5	1,5	8	8,5	3,5	8	8	4,5	8,5	
21	8,6	7,1	5,2	8,3	7,3	7	7,6	6,9	6,9	7,4	6,8	7,9	7,3	8,1	6,2	7,3	8,4	7	4,9	4,3	0	5	2	8	8,5	2,5	8,5	8	2,5	8,5	
22	7,5	7,9	8,3	4,4	7,7	8	7,1	8,3	7,2	6	8	7,1	8,1	7,3	7,9	7,9	6,7	8	4,5	4,8	5	0	8,5	2,5	8,5	9	9	2,5	8,5	2	
23	7,5	6,4	7,5	7,9	4,7	8	6,9	6,8	7,3	7	6	6,8	7,9	7,8	7,6	7,7	6,3	7,7	5	3,6	4,6	4,9	0	7	8,5	2,5	7,5	9	2,5	7,5	
24	8,8	8,1	7	8,5	7,3	4,8	7,6	7,4	8,3	7,2	6,4	7,3	7,4	8,6	8,2	6,7	8,6	6,3	4,9	4,6	4,5	5,3	4,6	0	8	8,5	8	2,5	8	3	
25	6,5	7,3	8,3	7,7	7,5	7,7	5,2	7,6	7,5	7,1	7,5	7,4	5,9	7,3	7,2	7,8	7,1	7,6	5,9	6,9	7,8	7,7	6,9	7,7	0	8	3	9	8	7,5	
26	8,3	5,6	6,5	8,3	6,8	6,8	8,1	4,5	6,8	7,5	6,3	7,7	6,8	7	6,7	5,7	7,7	6,4	8,1	5,5	6,9	7,9	6,3	7,3	4,3	0	8	9	2	8,5	
27	7,5	6,6	6,3	7,5	7,5	8,4	7,3	7	4,8	7,4	8,2	7,2	7,8	6,3	6,5	7,4	7,3	7,8	7,4	6,7	7	6,9	7,3	8,1	4,6	4,3	0	8	8,5	9	
28	7,9	7,3	8	5,4	7	7,1	7	7,7	7,6	4,6	7,3	7,7	7,1	6,8	7,7	5,6	7,8	7,2	7,8	7	7,8	5,9	6,8	7,4	4,1	4,3	4,3	0	9	2,5	
29	8,3	7,5	6,6	8,2	6,2	6,6	7,7	5,8	8,3	7,4	5	7,9	6,2	8,3	7,1	6,6	6,5	7,4	8,3	6,6	6,2	8,6	6,3	6,9	4,3	3,6	4,7	4,3	0	8,5	
30	7,6	7,4	7,7	7,3	7,2	6,8	7,8	7,5	7,2	7,3	7,8	5,3	7,8	7,3	7,3	7,7	8	7	7,8	7,3	7,8	6,8	7,8	7,1	4,8	4,8	5,1	4,5	4,4	0	

Рис. 1. Матрицы усредненных субъективных различий между стимулами, полученные в первой (нижний треугольник) и во второй (верхний треугольник) серии эксперимента
Номера строк и столбцов матрицы соответствуют номерам стимулов в табл. 1.

Таблица 2

Показатели пространственных моделей попарных различий между фигурами, полученные в двух сериях эксперимента

Показатель	Размерность пространства					
	1	2	3	4	5	6
<i>Первый эксперимент</i>						
Стресс <i>s</i>	0,57	0,33	0,26	0,23	0,16	0,11
Коэффициент корреляции <i>r</i>	0,19	0,53	0,64	0,69	0,73	0,79
Коэффициент вариации, %	—	11,57	7,69	4,72	4,62	3,63
<i>Второй эксперимент</i>						
Стресс <i>s</i>	0,47	0,17	0,12	0,1	0,09	0,07
Коэффициент корреляции <i>r</i>	0,45	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95
Коэффициент вариации, %	—	3,65	3,05	2,81	2,44	2,22

Модель различения фигур без знаков представлена шестимерным сферическим пространством. Это значит, что стимулы в этом пространстве характери-

зуются шестимерными векторами одинаковой длины и разной направленности [4; 8], компоненты которых отражают активность нейронов-детекторов, объединенных в двухканальные модули.

Для выявления свойств двухканальных модулей [1] необходимо спроецировать стимульные точки на двумерные плоскости декартовых координат, сферические координаты которых соответствуют субъективным характеристикам стимулов [4].

Проекция точек на плоскость, образованную двумя первыми координатами, представлена на рис. 2, на котором все точки объединились в группы и расположились в зависимости от цветового тона фигуры. Это демонстрирует график зависимости первой сферической координаты от длины волны (рис. 3). Первый двухканальный модуль анализирует цветовой тон на основе взаимодействия двух хроматических нейронных каналов: красно-зеленого и сине-желтого.

Проекция стимульных точек на плоскость третьей и четвертой координаты (рис. 4) показывает, что все стимульные точки расположились в зависимости от яркости стимула. Это подтверждается графиком зависимости второй сферической координаты от яркости фигуры (рис. 5). Второй двухканальный модуль специализируется на анализе яркости стимула, которая вычисляется с помощью двух ахроматических каналов: светового и темного [8].

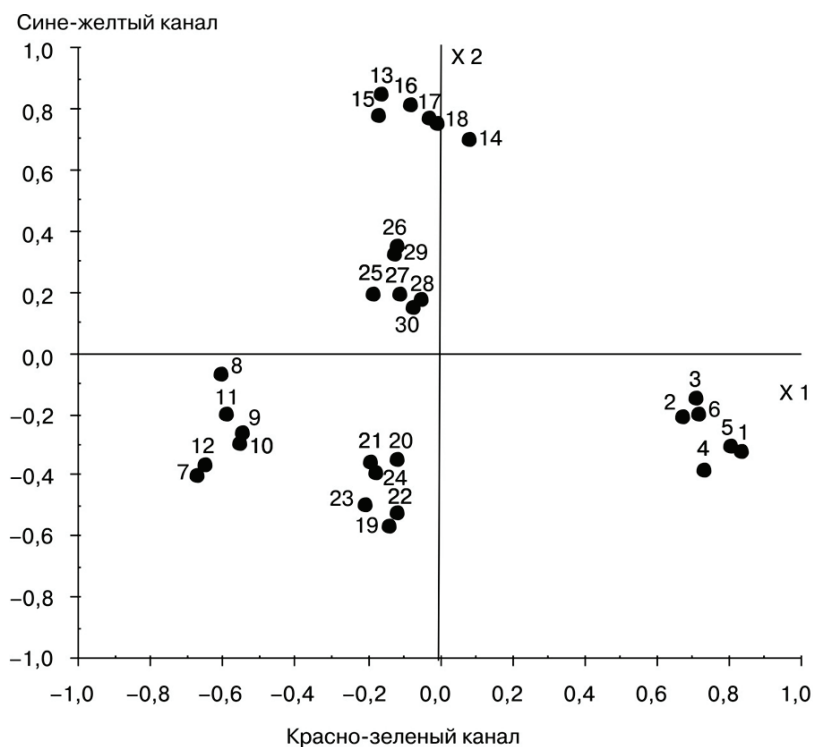


Рис. 2. Проекция точек-стимулов на горизонтальную плоскость конфигуративного пространства

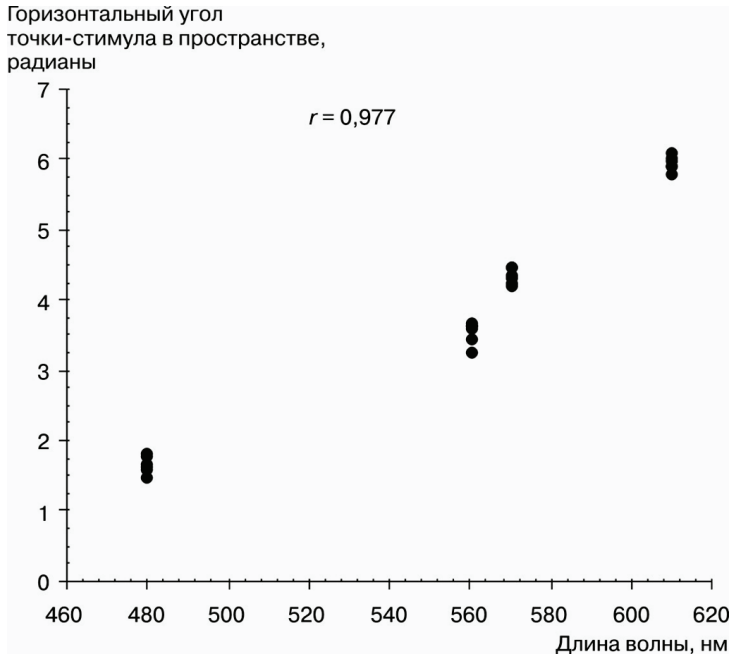


Рис. 3. График зависимости первой сферической координаты пространства от длины волны

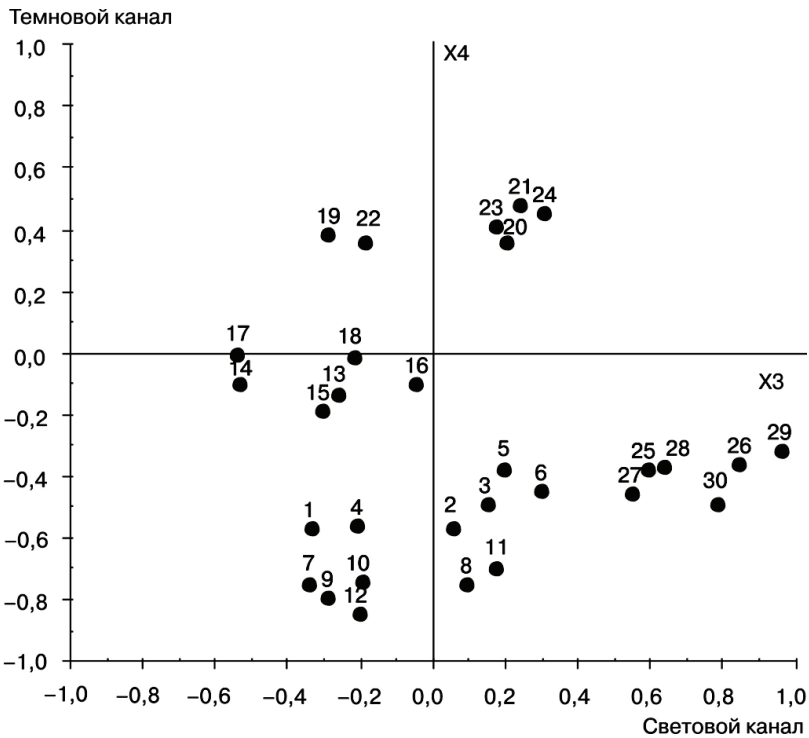


Рис. 4. Проекция точек-стимулов на вертикальную плоскость конфигуративного пространства

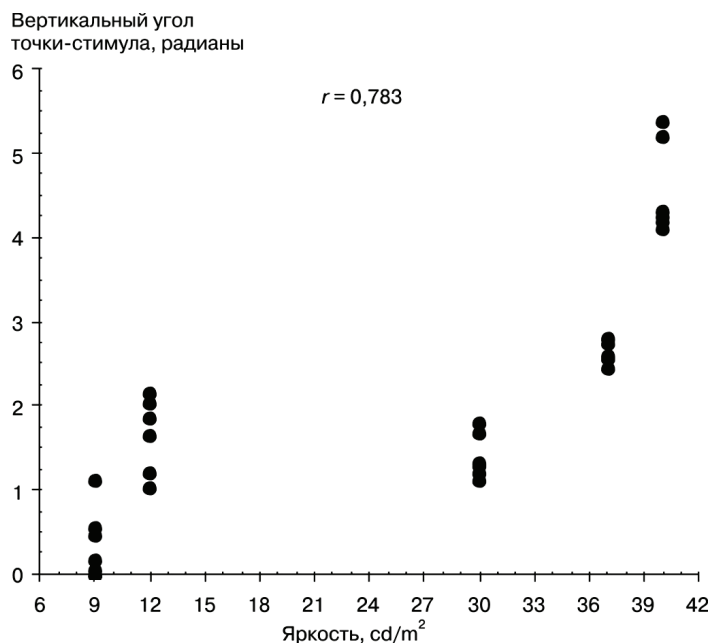


Рис. 5. График зависимости второй сферической координаты точки-стимула от яркости фигуры

Проекция стимульных точек на плоскость пятой и шестой декартовых координат представлена на рис. 6. Интерпретация сферической координаты точек в этой плоскости оказалась невозможной, были проанализированы характеристики декартовых координат.

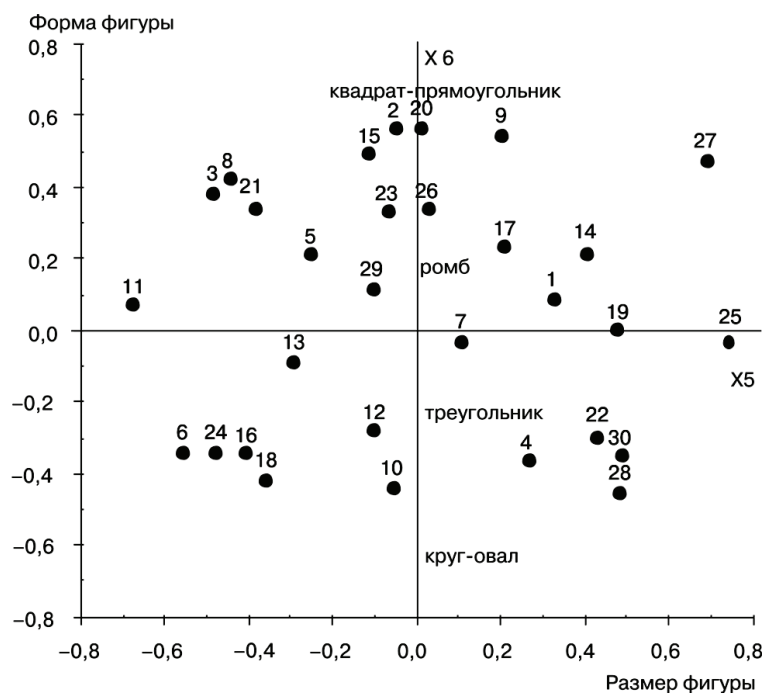


Рис. 6. Проекция точек-стимулов на плоскость, образованную пятой и шестой координатами конфигуративного пространства

На рис. 7 видно, что по пятой оси все точки расположились последовательно в зависимости от размера, который вычисляли как площадь фигуры. На рис. 8 показан график зависимости шестой линейной координаты от формы фигуры. Нейронные механизмы, составляющие третий двухканальный модуль, анализируют видимый размер и форму фигуры.

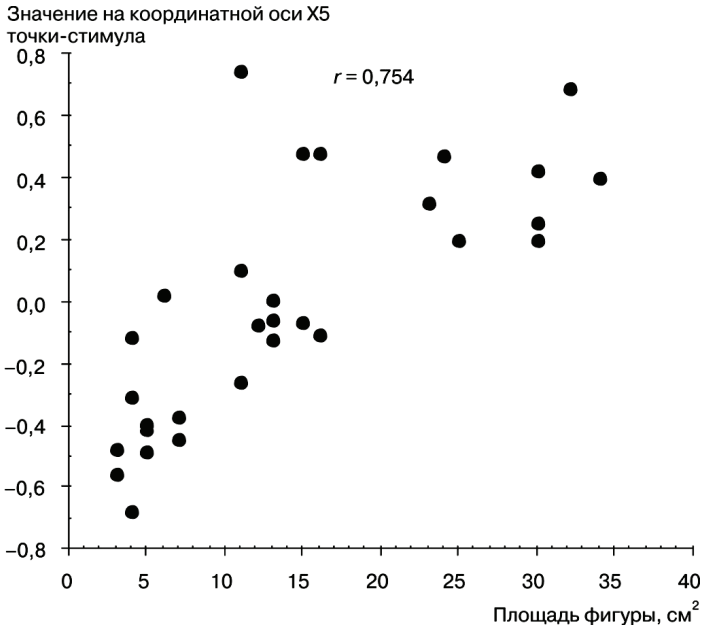


Рис. 7. График зависимости пятой линейной координаты точки-стимула от площади фигуры

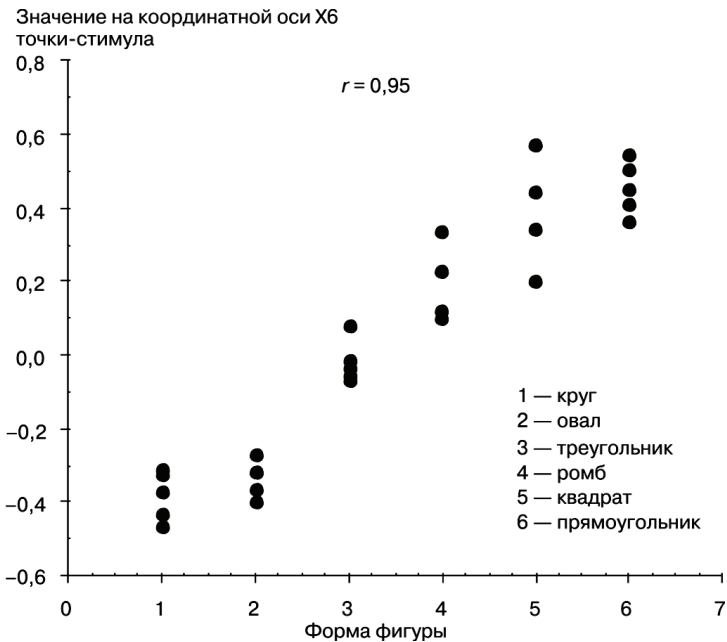


Рис. 8. График зависимости шестой линейной координаты точки-стимула от формы фигуры

Модель различения фигур со знаком. Вторая модель представлена двухмерным сферическим пространством.

Для рассмотрения особенностей этой модели построили проекцию точек-стимулов на двухмерную плоскость, образованную первой и второй декартовыми координатами (рис. 9). На этой проекции все точки объединились в группы в зависимости от дополнительного знака. Наличие кластерной структуры расположения точек указывает на категориальный характер анализа изображений. На рис. 9 видно, что по первой оси на одном полюсе расположились все стимулы «без знака», а на другом — со знаком. По второй оси стимулы со знаками «черта» и «круг» расположились на противоположных полюсах. Следовательно, один детекторный канал, активность которого соответствует первой декартовой координате пространства, производит категоризацию, определяя наличие-отсутствие знака, а второй канал производит уточняющую дифференцировку, определяя тип знака.

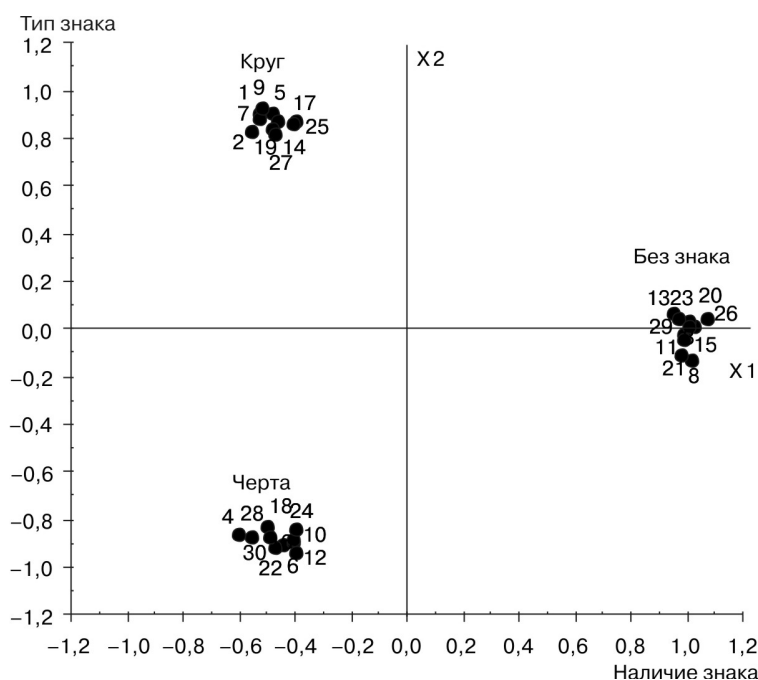


Рис. 9. Проекция точек-стимулов на двухмерную плоскость категориального пространства

Сравнение моделей. Сходство стимулов, процедур их предъявления и обработки данных дает возможность сравнить полученные модели. Модели отличаются количеством и характеристиками детекторных механизмов, а также особенностями субъективной интерпретации стимулов. Модель различения фигур без знака отражает способ различения конфигурации изображения путем вычисления параметров его характеристик: цвета, яркости, размера и формы. Введение дополнительного знака полностью перестраивает восприятие, которое теперь осуществляется путем формирования зрительных категорий. Модель различения фигур со знаком отражает интеграцию детекторных механизмов, позволяющую целостное категориальное восприятие стимула.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Измайлов Ч.А., Исайчев С.А., Шехтер Е.Д.* Двухканальная модель различения сигналов в сенсорных системах // Вестник МГУ. Сер. 14, Психология. — 1998. — № 3. — С. 29—40. [*Izmaylov Ch.A., Isaichev S.A., Shehter E.D.* Dvuhkanalnaya model razlicheniya signalov v sensornih sistemah // Vestnik MGU. Ser. 14, Psykhologiya. — 1998. — № 3. — S. 29—40.]
- [2] *Измайлов Ч.А., Черноризов А.М.* Язык восприятия и мозг // Психология (Журнал Высшей школы экономики). — 2005. — Т. 2. — № 4. — С. 22—52. [*Izmailov Ch.A., Chernorizov A.M.* Yazik vospriyatiya i mozg // Psykhologiya (Journal Visshey shkoli ekonomiki). — 2005. — Т. 2. — № 4. — S. 22—52.]
- [3] *Терехина А.Ю.* Анализ данных методом многомерного шкалирования. — М.: Наука, 1985. [*Terehina A.Y.* Analiz danih metedom mnogomernogo shkalirovaniya. — М.: Nauka, 1985.]
- [4] *Фомин С.В., Соколов Е.Н., Вайткявичус Г.Г.* Искусственные органы чувств. — Л.: Наука, 1979. [*Fomin S.V., Sokolov E.N., Vaytkyavichus G.G.* Iskusstvennye organi chuvstv. — L.: Nauka, 1979.]
- [5] *Шевелев И.А.* Нейроны-детекторы зрительной коры. — М.: Наука, 2010. [*Shevelev I.A.* Neironi-detectori zritelnoy kori. — М.: Nauka, 2010.]
- [6] *Hubel D.N., Wiesel T.N.* Receptive fields, binocular integration and functional architecture in the cat's visual cortex // J. Physiology. — 1962. — V.160. — P. 106—154.
- [7] *Hubel D.N., Wiesel T.N.* Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas (18 and 19) of the cat // J. Neurophysiology. — 1965. — V. 28. — P. 229—289.
- [8] *Izmailov Ch.A., Chernorizov A.M.* A geometrical approach to research into signal recognition in visual systems of human and animals // Psychology in Russian: State of the Art. — 2010. — P. 301—332.
- [9] *Norman J.* Two visual systems and two theories of perception: An attempt to reconcile the constructivist and ecological approaches // Behavioral and Brain Sciences. — 2002. — 25. — P. 73—144.
- [10] *Shepard R.N.* Towards a universal law of generalization for psychological space // Science. — 1987. — V. 237. — P. 1317—1323.

DISCRIMINATING MODELS OF DIFFERENT SIZED COLOR GEOMETRIC FIGURES

Y.A. Chudina

Chair of Social and Differential Psychology
Peoples' Friendship University of Russia
Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198

The data obtained by us in two experiments, where the different sized color geometric figures were used as stimuli, are described in the article. We have built configurative and categorical discriminating models differing by formal and intensional characteristics. The models reflect the different ways of visual gestalt generation: additive and non-additive principles of consolidation of neural mechanisms analyzing the visual features of the picture.

Key words: multidimensional scaling, subjective estimations of perceived differences, different sized color geometric figures, two-channel module, spherical model of differentiating stimuli, visual gestalt.