
ОСОБЕННОСТИ РАЗЛИЧЕНИЯ ЦВЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОНА*

Ю.А. Чудина

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

Настоящая работа посвящена изучению особенностей зрительного распознавания изображений с разными фигуρο-фоновыми отношениями. Исследование проводилось в рамках сферической модели Соколова—Измайлова и основывалось на построении моделей различения цветных объектов в зависимости от изменений характеристик фона. В результате исследования выявлено взаимовлияние фигуры и фона. Полученные модели отражают механизмы целостного восприятия видимой сцены.

Ключевые слова: различение хроматических объектов на ахроматическом фоне, фигуρο-фоновые отношения, многомерное шкалирование, субъективные оценки попарных различий, двухканальный модуль, сферическая модель различения стимулов.

Проблема перцептивной организации изображения была сформулирована основателями гештальт-психологического направления, однако и в настоящее время она остается актуальной [11]. С нейрофизиологической точки зрения зрительный анализ окружающего мира осуществляется нейронной сетью, включающей две функциональные системы: вентральную и дорзальную [8]. Дорзальная система определяет местоположение объекта в видимом поле относительно наблюдателя и других объектов, вентральная система осуществляет спецификацию объектов [6; 8]. Эти части зрительной сети связаны с конфигуративным и категориальным механизмами распознавания изображений [2]. Механизм анализа конфигурации изображения связан с выявлением пространственного расположения объектов и их частей в видимом поле [4], категориальный анализ реализуется на основе отнесения объекта к зрительной категории [5]. Предположительно зрительный анализ фигуρο-фоновых отношений будет активировать оба механизма в зависимости от особенностей перцептивной организации.

В настоящей работе исследовался процесс распознавания изображений с заданной перцептивной организацией. Для этого испытуемым предъявлялись стимулы, состоящие из центрального объекта (фигуры) и окружения (фона). Различение стимулов с учетом изменений и фигуры, и фона было направлено на выявление особенностей анализа всей видимой сцены. Многомерное шкалирование полученных данных и их интерпретация в терминах сферической модели различения стимулов Соколова—Измайлова [10] позволили смоделировать механизмы зрительного распознавания стимулов с определенной перцептивной организацией.

Испытуемые. В исследовании приняли участие две группы здоровых испытуемых женского пола, в каждую из которых входило по 10 человек в возрасте 25—40 лет. Каждая группа испытуемых, которым предъявляли разные стимулы, участвовала в одном эксперименте.

* Работа поддержана грантами РГНФ № 10-06-00302а и РФФИ № 10-06-00438а.

Стимулы. Стимулами были два набора изображений, каждый из которых предъявлялся испытуемым одной из групп. Изображения состояли из центрального объекта (хроматическая фигура) и окружающего поля (ахроматический фон). В обоих экспериментах в качестве фигур использовали пять расположенных в центре фона прямоугольников с определенным цветовым тоном и яркостью (табл. 1). В каждом эксперименте использовали шесть вариантов фона: в первом эксперименте фон изменялся по яркости, во втором — по текстуре и отличался ориентацией рисунка и его выпуклостью (табл. 1).

Таблица 1

Номера стимулов, состоящих из фигуры и фона

Обозначение фона:	Обозначение фигуры: яркость (кд/м ²) — длина волны (нм)				
	Синий: 9—480	Зеленый: 30—560	Желтый: 40—570	Красный: 12—610	Белый: 45 — —
Яркость фона (кд/м ²)	Первый эксперимент				
44	1	2	3	4	5
36	6	7	8	9	10
37	11	12	13	14	15
33	16	17	18	19	20
31	21	22	23	24	25
27	26	27	28	29	30
Изображение фона	Второй эксперимент				
	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

Из пяти вариантов фигуры и шести вариантов фона составили по 30 наборов стимулов, номера которых представлены в табл. 1. В первом эксперименте цветные фигуры предъявлялись на фоне разной яркости испытуемым первой группы, во втором эксперименте — на фоне с разной текстурой испытуемым второй группы.

Процедура предъявления стимулов. Стимулы экспонировались на экране компьютера парами в квазислучайном порядке. Испытуемых просили оценить различия между каждой парой изображений в целом, используя 9-балльную шкалу, на которой значение «1» соответствовало минимальному различию между стимулами, а значение «9» — максимальному различию, остальные значения использовались для промежуточных оценок. Каждая пара стимулов предъявлялась на экране в течение 500 мс, после экспонирования черной заставки испытуемый давал числовой ответ, нажимая на цифровую клавишу. Каждый испытуемый сравнивал по 435 пар стимулов из расчета $n(n - 1)/2$, где $n = 30$, так как одинаковые стимулы в паре не предъявлялись.

В результате для каждого испытуемого получили матрицу попарных оценок субъективных различий между стимулами. После проверки индивидуальных матриц на коррелированность и их усреднения получили две треугольные матрицы различий между стимулами с изменением яркости фона (рис. 1, нижний треугольник) и стимулами с разной текстурой фона (рис. 1, верхний треугольник). Элементом данных матриц является усредненная по испытуемым данной группы субъективная оценка различий между стимулами. Каждую усредненную матрицу анализировали неметрическим методом многомерного шкалирования по алгоритму Гутмана [3; 9]. В результате получили два геометрических пространства.

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

Рис. 1. Матрица субъективных различий между стимулами с изменением яркости фона (нижний треугольник) и с разной текстурой фона (верхний треугольник).

Номера соответствуют стимулам в табл. 1.

Сферические модели различения стимулов, состоящих из фигуры и фона.

Полученные пространства анализировали по формальным признакам: определяли их минимальную размерность по «стрессу» и коэффициенту корреляции и сферичность по коэффициенту вариации [9]. Из табл. 2 видно, что значения показателей достигают допустимого уровня при пятимерном решении, что является основанием для выбора его как оптимального для обоих пространств.

Таблица 2

Показатели пространственных моделей различения цветных фигур, предъявляющихся на фоне разной яркости и с разной текстурой

Показатель	Размерность пространства					
	1	2	3	4	5	6
Модель цветных фигур на фоне разной яркости						
Стресс s	0,61	0,34	0,28	0,25	0,15	0,10
Коэффициент корреляции r	0,09	0,54	0,65	0,71	0,77	0,82
Коэффициент вариации, %	—	7,13	5,00	2,32	2,21	1,58
Модель цветных фигур на фоне с разной текстурой						
Стресс s	0,65	0,35	0,28	0,26	0,17	0,12
Коэффициент корреляции r	0,04	0,43	0,53	0,59	0,64	0,71
Коэффициент вариации, %	—	10,26	5,98	4,25	2,98	1,47

Полученные нами пространства можно представить в виде пятимерных сфер, которые в рамках сферической модели различения стимулов Соколова—Измайлова [7; 10] являются моделями различения изображений. Интерпретация декартовых и сферических координат [9; 10] каждого пространства позволит выявить внутреннюю структуру полученной модели.

Две декартовы координаты сферической модели, связанные с обработкой физических характеристик изображения, представляют двухканальный модуль [1], который анализирует субъективную характеристику стимулов, соответствующую сферической координате плоскости. Для выявления внутренней структуры полученных пространств спроецируем точки, соответствующие стимулам, на двумерные плоскости. Сравним соответствующие проекции двух полученных пространств.

На рис. 2 и 3 показаны проекции стимульных точек на плоскость двух первых декартовых координат соответственно, пространства с разной яркостью фона и пространства с разной текстурой фона. На обеих проекциях точки расположились похоже: во-первых, они объединились в группы по цвету, во-вторых, эти группы по осям расположились в зависимости от цветового тона фигуры. Оси X_1 и X_2 отражают активность красно-зеленого и сине-желтого нейронных каналов, составляющих двухканальный модуль, анализирующий хроматическую переменную стимулов [7].

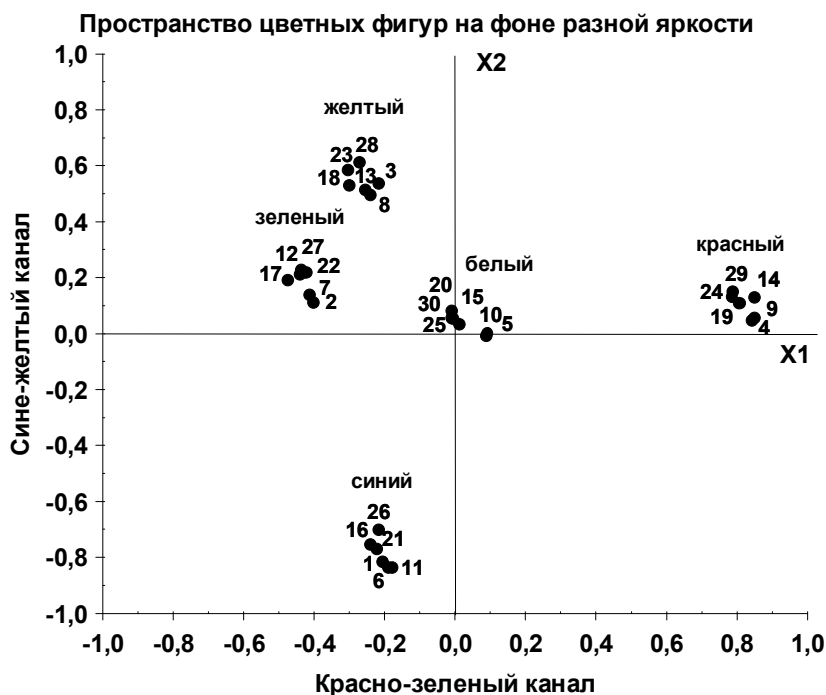


Рис. 2. Проекция точек-стимулов на плоскость X_1X_2 пятимерного пространства цветных фигур на фоне разной яркости

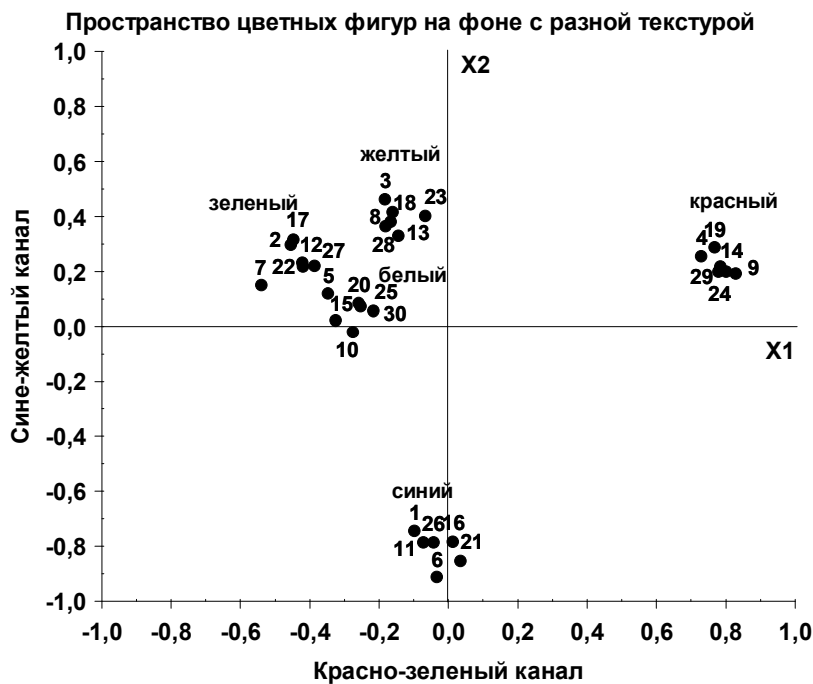


Рис. 3. Проекция точек-стимулов на плоскость X_1X_2 пятимерного пространства цветных фигур на фоне с разной текстурой

На рис. 4 и 5 представлены проекции стимульных точек на плоскость X_1X_3 соответственно для пространства с разной яркостью фона и для пространства с разной текстурой фона. На этих проекциях видно, что стимульные точки сгруппировались по цвету фигуры и расположились вдоль оси X_3 в зависимости от светлоты. Следовательно, оси X_3 обоих полученных пространств кодируют светлоту, и были нами обозначены как световые каналы фигуры [7].

Однако в расположении точек двух рассмотренных проекций есть определенные особенности. Стимульные точки пространства с изменениями яркости фона (рис. 4) образовали группы, внутри которых точки расположились упорядоченно в зависимости от яркости фона, что указывает на участие конфигуративного механизма. Стимулы с фигурами на менее светлом фоне имеют большие значения по оси X_3 , чем стимулы с фигурами на более светлом фоне. Следовательно, чем ближе значения яркостей фигуры и фона, тем более тусклым воспринимается центральный объект.

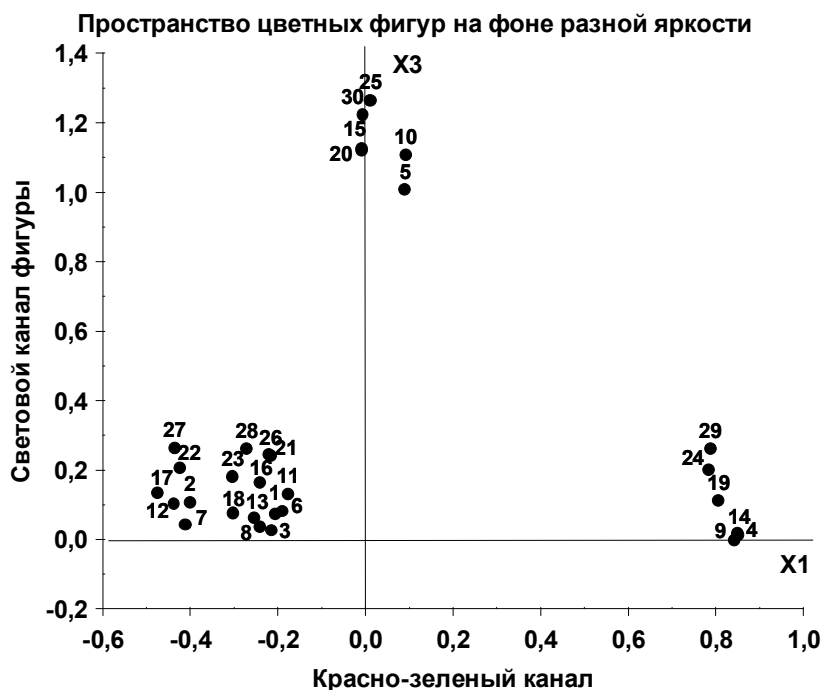


Рис. 4. Проекция точек-стимулов на плоскость X_1X_3 пятимерного пространства цветных фигур на фоне разной яркости

В данном случае световой канал реагирует не на абсолютное значение яркости, а на значение контраста между фигурой и фоном.

Проекция стимульных точек на плоскость X_1X_3 пространства стимулов с изменениями текстуры фона (рис. 5) похожа на проекцию точек пространства стимулов с изменениями яркости фона. Точки внутри групп по оси X_3 пространства с изменениями текстуры фона упорядочились так же в зависимости от светлоты фона: чем темнее фон, тем большее значение приобретает воспринимаемая центральная фигура по оси X_3 . Следовательно, несмотря на неоднородность фона, световой канал реагирует на его среднюю яркость и определяет степень контраста между центральной фигурой и фоном.



Рис. 5. Проекция точек-стимулов на плоскость X_1X_3 пятимерного пространства цветных фигур на фоне с разной текстурой

Первые три оси полученных пространств участвуют в анализе фигуры и отражают активность цветовых и световых каналов, которые анализируют цветовой тон и светлоту центральной части изображения. Световой канал учитывает значение контраста между фигурой и фоном, на основе которого фигура воспринимается как отличающаяся или сливающаяся с фоном.

На рис. 6 и 7 показаны проекции стимульных точек полученных пространств на плоскость, образованную четвертой и пятой декартовыми координатами. Эти проекции существенно отличаются друг от друга, рассмотрим их отдельно.

Стимульные точки пространства изображений с фоном разной яркости, на плоскости X_4X_5 расположились в зависимости от яркости фона, каждая из декартовых координат отражает вклад светового и темного нейронного канала (рис. 6). На этой проекции все точки расположились группами в зависимости от яркости фона, внутри этих групп точки упорядочились по значению яркости центральной фигуры. Следовательно, вычисления яркости фона осуществляется с учетом яркости центрального объекта.

Проекция точек, представляющих стимулы с разной текстурой, отражает механизм различения рисунка текстуры (рис. 7).

На отрицательном полюсе оси X_4 расположены точки, соответствующие стимулам с текстурой фона, имеющей горизонтальную или вертикальную ориентацию, а на положительном полюсе — с текстурой, сочетающей эти ориентации [4]. Ось X_5 отражает наклонную ориентацию текстуры. Следовательно, сферическая координата на плоскости X_4X_5 кодирует ориентацию текстуры фона.

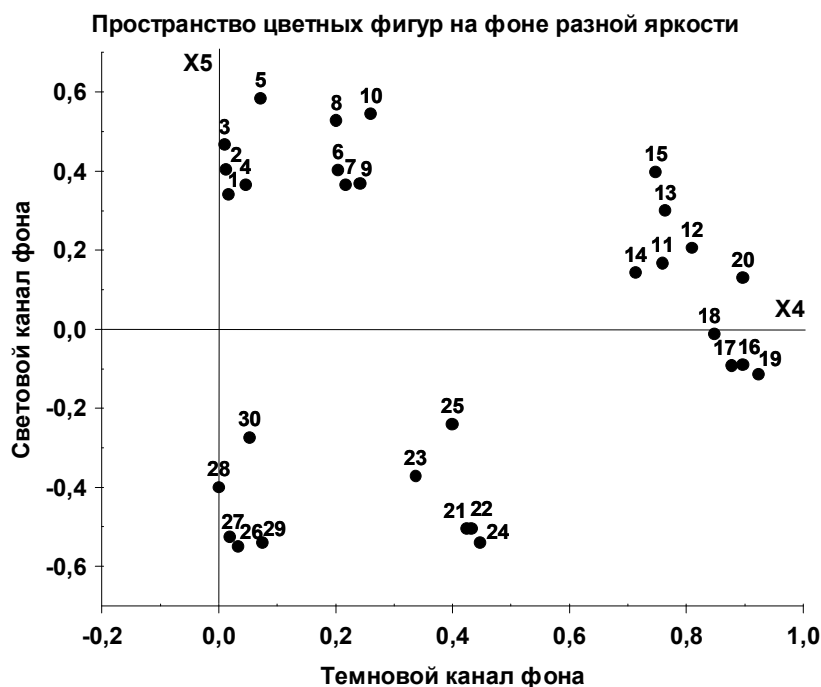


Рис. 6. Проекция точек-стимулов на плоскость X4X5 пятимерного пространства цветных фигур на фоне разной яркости

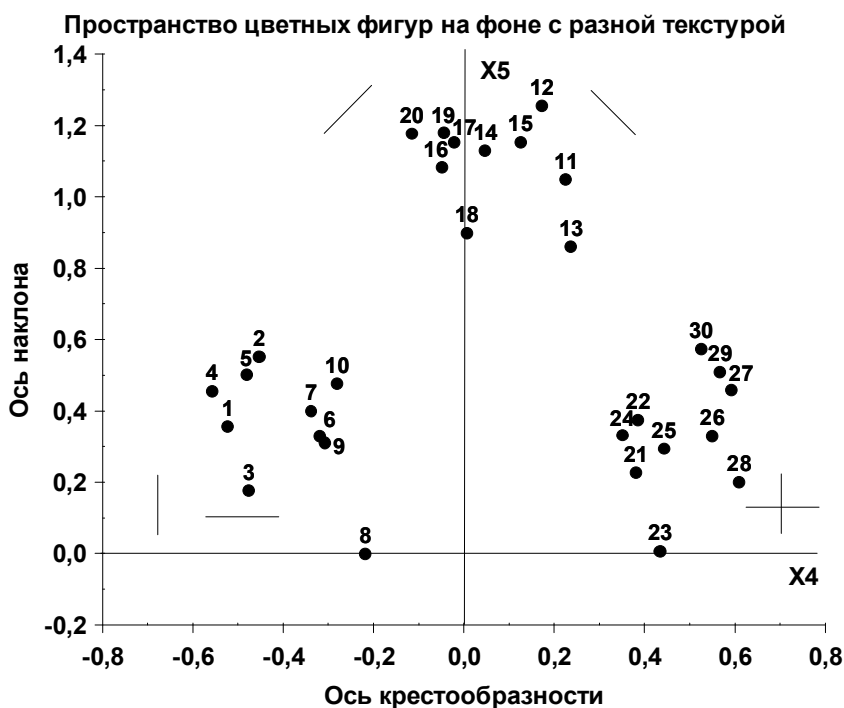


Рис. 7. Проекция точек-стимулов на плоскость X4X5 пятимерного пространства цветных фигур на фоне с разной текстурой

Четвертая и пятая оси полученных пространств участвуют в различении характеристик фона и выделении его особенностей. Для пространств стимулов с варьированием характеристик фона двухканальный модуль реагирует на изменения базовых характеристик фона: яркости и ориентации. В целом, особенности обоих полученных пространств отражают активность преимущественно конфигурационных механизмов.

Различение стимулов с заданными фигуρο-фоновыми отношениями осуществляется многоканальной нейронной сетью, каналы которой анализируют характеристики и фигуры, и фона, что позволяет выявить их особенности. Только нейронные каналы, анализирующие яркость фигуры и фона, взаимодействуют друг с другом, а их активность направлена на выделение фигуры из фона.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Измайлов Ч.А., Исайчев С.А., Шехтер Е.Д. Двухканальная модель различения сигналов в сенсорных системах // Вестник МГУ. Сер. 14, Психология. — 1998. — Вып. 3. — С. 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.
- [3] Терехина А.Ю. Анализ данных методом многомерного шкалирования. — М.: Наука, 1985.
- [4] Чудина Ю.А., Измайлов Ч.А. Конфигурационный механизм различения крестообразных фигур // Вестник РУДН. Серия «Психология и педагогика». — 2011. — № 5. — С. 7—18.
- [5] Чудина Ю.А., Чудина Н.А. Категориальная модель различения четырехлинейных фигур // Вестник РУДН. Серия «Психология и педагогика». — 2012. — № 3. — С. 35—42.
- [6] Cardoso-Leite P., Gorea A. On the Perceptual/Motor dissociation: A Review of concept, theory, experimental paradigms and data interpretations // Seeing and Perceiving. — 2010. — 23. — P. 89—151.
- [7] Izmailov Ch.A., Sokolov E.N. Spherical model of color and brightness discrimination // Psychological Science. — 1991. — V. 2. — P. 249—259.
- [8] 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.
- [9] Shepard R.N. Towards a universal law of generalization for psychological space // Science. — 1987. — V. 237. — P. 1317—1323.
- [10] Sokolov E.N. Model of cognitive processes // Advances in Psychological Science / Eds. M. Saggaurin, T. Craik. — V. 2. — Sussex, UK: Psychol Press, 1998. — P. 355—378.
- [11] Wagemans J., Elder J.H., Kubovy M., Palmer S.E., Peterson M.A., Singh M., & von der Heydt R. A century of Gestalt psychology in visual perception: I. Perceptual grouping and figure-ground organization // Psychological Bulletin. — 2012. — Vol. 138. — No. 6. — С. 1172—1217.

DISCRIMINATION FEATURES OF CHROMATIC FIGURES IN VARIOUS BACKGROUND CHARACTERISTICS

Y.A. Chudina

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

Visual recognition features of images with different figure-ground segregation have been considered in the article. The research was carried out within the framework of Sokolov and Izmaylov's spherical model and was based on the construction of color objects discrimination models depending on the changes of background characteristics. The research has revealed the specific influence of the background on figure discrimination. The derived models reflect the mechanisms of the all-in-one perception of the visual space.

Key words: recognition of chromatic figures in achromatic background, figure-ground segregation, multidimensional scaling, subjective estimations of pairwise differences, two-channel module, spherical model of differentiating stimuli.