



ЭФФЕКТ АРТИКУЛЯЦИИ В ТРЕХМЕРНЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ ИЛЛЮЗИЯХ¹

МЕНЬШИКОВА Г.Я., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

БАЯКОВСКИЙ Ю.М., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

ЛУНЯКОВА Е.Г., Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

ПЕСТУН М.В., ООО «Мэйл.Ру Геймз», Москва

ЗАХАРКИН Д.В., ООО «АВИ Лаб», Москва

Эффект артикуляции известен как влияние сложности зрительной сцены на оценку светлоты находящегося в ней тестового участка поверхности. До сих пор этот эффект изучался на примере двумерных изображений. Основная цель настоящей работы состояла в исследовании выраженности эффекта артикуляции при оценке трехмерных сцен, а также в сравнительном анализе факторов, которые оказывают влияние на его возникновение, – количества участков разной яркости и количества трехмерных объектов разной окраски, окружающих тестовую поверхность. Результаты исследования, проведенного на материале модифицированной иллюзии одновременного контраста с использованием системы виртуальной реальности CAVE, свидетельствуют, что оценка светлоты тестовой поверхности не меняется при увеличении числа участков разной яркости, если количество разноокрашенных объектов остается постоянным.

Ключевые слова: эффект артикуляции, светлота, яркость, трехмерные зрительные иллюзии, иллюзия одновременного контраста, технология виртуальной реальности.

Введение

Проблема влияния как ближнего, так и удаленного окружения на восприятие характеристик объекта давно интересовала исследователей. Известно, что характеристики перцептивного образа объекта зависят не только от его параметров, но и от нашего восприятия всей сцены в целом. Решение этой проблемы было предложено сторонниками гештальт-психологии, сформулировавшими новые теоретические конструкты для оценки параметров общей сцены (Koffka, 1935; Köhler, 1947). Нахождение закономерностей перцептивной организации сцены позволило также объяснить объединение отдельных элементов сцены и их взаимное влияние друг на друга. В частности, для объяснения влияния удаленных участков поверхности на оценку светлоты тестового участка гештальт-психологом Д. Кацем (Katz, 1935) было введено понятие артикуляции (articulation effect). Следует отметить, что в англоязычной литературе термины «articulation», «articulation effect», «concept of articulation» используются как синонимы для описания одного и того же феномена (см., например: Gilchrist, Annan, 2002).

Д. Кац (Katz, 1935) описал эффект артикуляции как следствие влияния сложности сцены на оценку светлоты находящегося в ней тестового участка поверхности, а также сформулировал основное правило артикуляции: чем выше степень артикуляции в пределах референтного поля, тем точнее оценивается испытываемый светлота. В большинстве ранних исследований (Burzlaff, 1931; Gelb, 1938; Henneman, 1935) под степенью артикуляции

¹ Работа поддержана грантом «Применение современных информационных технологий в разработке инновационных методов изучения когнитивных процессов человека» в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.



понималось количество разноокрашенных участков поверхности, окружающих тестовый участок, а под референтным полем – равномерно освещенное поле (a field of illumination), внутри которого они находились.

Результаты аналогичных исследований также подтвердили действие правила артикуляции, предложенного Д. Кацем. Так, В. Барзлефф (Burzlaff, 1931) показал, что оценка светлоты тестового участка, предъявляемого на однородном фоне, осуществляется с невысокой точностью – константность на уровне от 65 % до 90 %. Однако замена однородного фона на 48 участков, окрашенных в различные черные, серые и белые оттенки, повышала константность светлоты до 100%. В другом исследовании (Gelb, 1938) было показано влияние светлоты дополнительного объекта на оценку светлоты теста. Гельб подвешивал черный диск на фоне темной плохо отражающей поверхности и освещал его так, чтобы наблюдатель видел только свет, отраженный от диска. В этой ситуации черный диск воспринимался окрашенным в белый цвет. Однако как только в поле освещения вводился небольшой белый диск, черный диск воспринимался более адекватно, а именно, как темно-серый. Следует отметить, что эффект Гельба нельзя считать «чистым» эффектом артикуляции, поскольку появление белого диска не только усиливало артикулированность, но и повышало величину максимальной яркости в сцене, что само по себе могло привести к «перерасчету» светлоты всех участков сцены относительно участка с максимальной яркостью. Однако в аналогичных экспериментах, проведенных А. Гилкристом совместно с группой исследователей (Gilchrist et al., 1999), было показано, что тестовый диск темнел при увеличении степени артикуляции и в условиях, когда максимальная яркость сцены оставалась постоянной. Если группа из 2, 5 и 10 окрашенных участков окружала тестовый диск, он оценивался в 7,5 (светло-серый), 4,5 (средне-серый) и 3,3 (почти черный) Манселловских единиц соответственно. Явно выраженный эффект артикуляции наблюдался и в эксперименте Р. Хеннемана (Henneman, 1935). Заметное улучшение оценки светлоты наблюдалось, когда рядом с тестовым диском помещались 1 или 3 темных маленьких диска. Р. Хеннеман также более подробно проанализировал влияние факторов сцены на степень артикуляции. Он отметил, что степень артикуляции может быть увеличена тремя способами: во-первых, при помощи увеличения числа окрашенных участков, окружающих тестовый, во-вторых, при помощи увеличения числа по-разному освещенных участков фона и, в-третьих, при внесении в сцену признаков глубины. Последний способ подразумевал вынесение артикулирующих поверхностей из поверхности фона.

Правило артикуляции, сформулированное Д. Кацем, относилось к сценам, в которых удаленные участки поверхности были освещены так же, как тестовый участок. Л. Кардос (Kardos, 1934) предположил, что на оценку светлоты объекта оказывают влияние не только референтное, но и нереперентные поля, имеющие другую освещенность. Это предположение было подтверждено в эксперименте по исследованию артикуляции нереперентного поля (Kardos, 1934). Было показано, что увеличение степени артикуляции в нереперентном поле приводило не к улучшению, а, напротив, к ухудшению оценки светлоты объектов референтного поля. В соответствии с этими данными Кардос пересмотрел правило артикуляции следующим образом: на оценку светлоты могут влиять не только референтные, но и нереперентные поля, причем степень их влияния определяется размерами этих полей и уровнем их артикуляции.

В современных теориях светлоты понятие артикуляции было вновь пересмотрено. А. Гилкрист и В. Аннан (Gilchrist, Annan, 2002) предложили заменить устаревшее понятие «поля» (field), введенное в гештальттеории, термином «рамка» (framework), благодаря чему



были успешно объяснены многие ошибки в оценке светлоты. Светлота тестового участка, согласно гипотезе А. Гилкрита, определяется путем его сравнения с самым ярким участком в рамке, который служит «якорем» как эталон белого. Поскольку каждый объект включен не в одну, а в несколько рамок, то и «якорей» в сцене может быть несколько. В таком случае большее влияние на оценку светлоты будет оказывать эталон из более «мощной» рамки. Одним из основных факторов, определяющих «мощность» рамки, является ее артикулированность. В соответствии с данной логикой правило артикуляции было переформулировано следующим образом: чем выше степень артикуляции в пределах рамки, тем существеннее влияние ее «якоря» на светлоту тестового участка. Используя модифицированное правило артикуляции, А. Гилкрит объяснил изменение выраженности иллюзии одновременного светлотного контраста (ОСК) при артикуляции фона. Классический эффект ОСК состоит в том, что изменение светлоты фона влияет на восприятие одинаково серых центральных тестовых фигур (например, квадратов) – при светлом фоне фигура воспринимается темно-серой, а при более темном фоне происходит контрастное посветление фигуры (или объекта), которая воспринимается уже как светло-серая (рис. 1, а). Если фон артикулирован, т. е. представлен в виде множества разноокрашенных участков (рис. 1, б), то иллюзорный эффект становится более выраженным, чем при классическом варианте эффекта ОСК (см. рис. 1, а).

*а**б*

Рис. 1. Иллюзия ОСК с неартикулированным (а) и артикулированным (б) фоном

Как можно объяснить этот феномен, ведь согласно определению Д. Каца, усиление степени артикуляции должно привести к более адекватной оценке светлоты, что, в свою очередь, должно привести к уменьшению выраженности иллюзии ОСК? Для того чтобы понять и объяснить данное противоречие, остановимся более подробно на основных по-



ложениях теории «якорения» (anchoring theory), предложенной А. Гилкристом (Gilchrist et al., 1999). Данная теория базируется на гипотезе, что оценка светлоты поверхности осуществляется на основании, во-первых, оценки отношений яркостей тестовой поверхности и всех других поверхностей сцены, а во-вторых, использования так называемого «якоря» – участка сцены, светлота которого принимается за эталон белого. В предложенной ранее процедуре оценки на первом этапе рассчитывается шкала относительных яркостей всех поверхностей, а на втором этапе эта шкала пересчитывается в шкалу их абсолютной светлоты. В теории «якорения» вводится еще одно правило – правило «нормализации», основанное на знании о физических свойствах коэффициентов отражения черной и белой поверхностей. Оно устанавливает, что отношение минимального к максимальному значению светлот нормируется как 1:30 независимо от реального соотношения яркостей в сцене. Все вышеописанные правила успешно объясняют оценку светлоты в простых двумерных (2D) сценах.

Для более сложных сцен, в которых можно выделить несколько локальных групп, применение лишь этих правил является недостаточным условием точности оценки. Для учета особенностей сложных сцен постулируется существование «рамков» (frameworks) – участков общей сцены, которые равномерно освещены и расположены под одинаковым углом к источнику освещения. Такие участки называются копланарными. Согласно модифицированному правилу оценки светлоты, в сложной сцене выделяются рамки, внутри которых определяется свой «якорь» для оценки светлоты. Как правило, тестовый участок сложной сцены включен, как минимум, в две рамки. Одна, называемая локальной, включает тестовый участок с его непосредственным окружением, другая, называемая глобальной, включает всю сцену в целом. Светлота тестового участка рассчитывается как в локальной, так и в глобальной рамках. Эти оценки могут не совпадать, но каждая из них оказывает свое (более сильное или слабое) влияние на итоговую оценку светлоты. Предполагается, что итоговая оценка является суммой оценок, произведенных в локальной и глобальной рамках. Вклад каждой рамки в итоговую оценку определяется при помощи весовых коэффициентов. Если, например, локальная рамка имеет больший вес, то ее весовой коэффициент имеет большее значение, и итоговая светлота участка будет ближе к светлоте, определенной внутри локальной рамки.

Как же формируются локальные рамки, и что влияет на их весовые коэффициенты? Предполагается, что границами рамок могут являться границы однородного освещения, отделение которых от границ окраски производится на основании плавности переходов яркости (Land, McCann, 1971), а также границы трехмерного рельефа, которые определяются на основании типов сочленения перепадов яркости (Todorovic, 1997). Таким образом, в локальную рамку входят копланарные равноосвещенные поверхности. Весовой коэффициент рамки зависит от степени ее артикуляции, а также от ее размеров: чем более артикулирована рамка и чем больше ее размер, тем более значимым является ее весовой коэффициент.

Применение этих теоретических положений позволило объяснить феномен усиления иллюзии ОСК при увеличении степени артикулированности фона (Economidou et al., 2007; Gilchrist et al., 1999). В стимульной сцене классической иллюзии ОСК (см. рис. 1, а) можно выделить две локальные рамки, которые окружают два тестовых центральных квадрата, а также глобальную рамку, совпадающую с границей всего рисунка. С точки зрения теории «якорения», формирование иллюзии происходит в пределах локальной рамки, окружающей тестовый квадрат на темно-сером фоне. Поскольку этот квадрат, как более яркий, принимается за «якорь», внутри локальной рамки ему «приписывается» белый цвет, что и при-



водит к неадекватной оценке его светлоты. В глобальной рамке паттерна иллюзии присутствует более яркий участок – светло-серый фон, которому также «приписывается» белый цвет. Итоговая светлота рассчитывается как сумма светлот, определенных в локальной и глобальной рамках, что приводит к смещению оценки цвета квадрата на темном фоне в сторону более светлого серого. Артикуляция фоновых квадратов (см. рис. 1, б) усиливает локальные рамки, а следовательно, повышает их весовые коэффициенты. Это, в свою очередь, приводит к усилению иллюзорного эффекта. Таким образом, модифицированное правило артикуляции, предложенное А. Гилкристом (чем больше степень артикуляции в пределах референтной рамки, тем существеннее влияние ее «якоря» на светлоту тестового участка), эффективно работает в сложных артикулированных сценах.

В реальных условиях в трехмерной (3D) сцене присутствует довольно много не только разноокрашенных, но и по-разному расположенных в пространстве, а также по-разному освещенных поверхностей. Для объяснения восприятия светлоты поверхности в 3D сценах был предложена гипотеза, согласно которой важную роль в процессе оценки светлоты играет воспринимаемое освещение (Helmholtz, 1866/1962). В современных теориях восприятия светлоты эта гипотеза была переформулирована как «альbedo-гипотеза» (Bergstrom, 1977; Logvinenko, Menshikova, 1994; Menshikova, Lunyakova, 1994). Согласно этой гипотезе, для объяснения восприятия светлоты в трехмерных сценах необходимо учитывать такие параметры сцены, как наклон поверхности по отношению к источнику освещения, а также интенсивность воспринимаемого освещения. Наши исследования восприятия светлоты в 3D сценах (Menshikova et al., 2010; Menshikova, Nechaeva, 2011) показали, что некоторые трехмерные преобразования иллюзии ОСК изменяют степень ее выраженности в соответствии с положениями альbedo-гипотезы, а не так, как это могло бы быть предсказано с позиций теории «якорения». Так, согласно теории «якорения», изменение угла наклона тестовых квадратов относительно фона должно было бы привести к ослаблению или полному разрушению локальных рамок, что выразилось бы в снижении или исчезновении иллюзорного эффекта. Ослабление иллюзии наблюдалось бы вне зависимости от того, под каким углом к фону располагались бы тестовые квадраты. Однако наши данные показали, что иллюзия усиливается в том случае, когда тест на светлом фоне ориентирован в сторону предполагаемого источника освещения, а тест на темном фоне ориентирован против него. При обратной ориентации тестовых квадратов наблюдается уменьшение степени выраженности иллюзии. Ни в одном случае иллюзия полностью не исчезает, что позволяет говорить, что не только локальные рамки определяют иллюзорный эффект. Таким образом, наши результаты показали, что для оценки светлоты зрительная система использует гипотезы о направлении и интенсивности падающего освещения.

Возникает вопрос, как можно описать процесс артикуляции для 3D сцен? Проблема заключается в том, что в реальных условиях тестовые участки окружают, как правило, не плоские, а трехмерные (3D) объекты. У 3D объектов с однородной окраской имеются разнородные участки, отличающиеся друг от друга положением или ориентацией в пространстве по отношению к источнику освещения. Поэтому проекция 3D объекта на сетчатку представлена не одним (как для 2D объекта), а несколькими разнояркими участками. В качестве примера на рис. 2, а показаны плоский треугольник, а на рис. 2, б – трехмерный треугольник Пенроуза. На поверхности сетчатки эти изображения имеют разные пространственные паттерны распределения яркости: плоский треугольник представлен однородным по яркости участком, тогда как треугольник Пенроуза – тремя различными по яр-



кости участками. Однако оба объекта воспринимаются нами одинаково окрашенными, поскольку менее яркие участки треугольника Пенроуза (см. рис. 2, б) воспринимаются не как темно-серые, а как более затененные.



Рис. 2. Однородный треугольник (а) и треугольник Пенроуза (б)

Таким образом, для 2D сцен число разноокрашенных участков совпадает с числом разноярких участков сетчаточного образа, тогда как для 3D сцен число разноокрашенных объектов всегда меньше числа участков разной яркости.

В связи с этим возникает вопрос о возможности применения правила артикуляции для оценки трехмерных сцен. В этом случае следуя изложенной выше логике, можно предложить две формулировки этого правила: 1) артикуляция определяется количеством участков разной яркости в сцене; в дальнейшем изложении будем называть его «яркостной» артикуляцией; 2) артикуляция определяется числом различно окрашенных 3D объектов, каждый из которых представлен несколькими разнояркими участками на уровне сетчаточного образа, но воспринимается как один целостный объект однородной окраски. Назовем это правило «объектной» артикуляцией.

Для прояснения этого вопроса необходимо, с нашей точки зрения, провести сравнительный анализ показателей степени выраженности иллюзии ОСК в сцене, где фон составлен из фиксированного числа 2D разноокрашенных участков с аналогичными показателями в сцене, для которой 2D участки заменяются на 3D объекты той же окраски (например, кубы или шары). Поскольку участок представляет собой часть 3D поверхности, имеющую однородную яркость, его размеры могут совпадать с размером объекта (для случая 2D клеток), а могут быть меньшего размера (например, затененная сторона и освещенная стороны шара или три по-разному затененных грани куба). Мы предположили, что если артикуляция определяется числом разноярких участков фона, то *изменение* числа участков должно привести к *изменению* выраженности иллюзии, а именно: иллюзия должна усилиться в соответствии с модифицированным правилом артикуляции, предложенным А. Гилкристом. Напротив, если артикуляция в 3D сценах определяется числом разноокрашенных объектов трехмерного фона, тогда выраженность иллюзии не изменится. Для того чтобы понять, что определяет выраженность 3D иллюзии (количество однородно окрашенных объектов или количество разных по яркости участков), один из параметров (число объектов) был фиксирован, а другой (число участков разной яркости) варьировался.

Задача – исследование выраженности иллюзии ОСК для 2D и 3D артикулированного фона с применением технологии виртуальной реальности CAVE.



Гипотеза настоящего исследования – выраженность иллюзии ОСК не изменится для трехмерных сцен с артикулированным фоном, где число разноразмерных участков различно, а число однородно окрашенных объектов остается неизменным.

Методика исследования

Испытуемые. Двадцать пять испытуемых (13 женщин и 12 мужчин в возрастном диапазоне от 17 до 36 лет) с нормальным или скорректированным до нормального зрением приняли участие в данном исследовании. В эксперименте приняли участие «наивные» испытуемые, то есть не имеющие представления ни о цели исследования, ни об особенностях восприятия светлоты поверхности в исследуемой иллюзии.

Стимуляция. 2D артикулированный вариант иллюзии ОСК использовался как базовый паттерн для создания различных 3D конфигураций фоновой поверхности. Во всех 3D конфигурациях присутствовали тестовые серые квадраты, выдвинутые вперед (ближе к наблюдателю) относительно фоновых поверхностей. Были созданы три варианта артикуляции фона. Первый вариант представлял собой плоские 2D квадраты, второй – 3D кубы и третий – 3D шары, имеющие ту же окраску, тот же размер и расположенные точно в тех местах, где были расположены плоские 2D квадраты (рис. 3). Ориентация кубов была случайной.

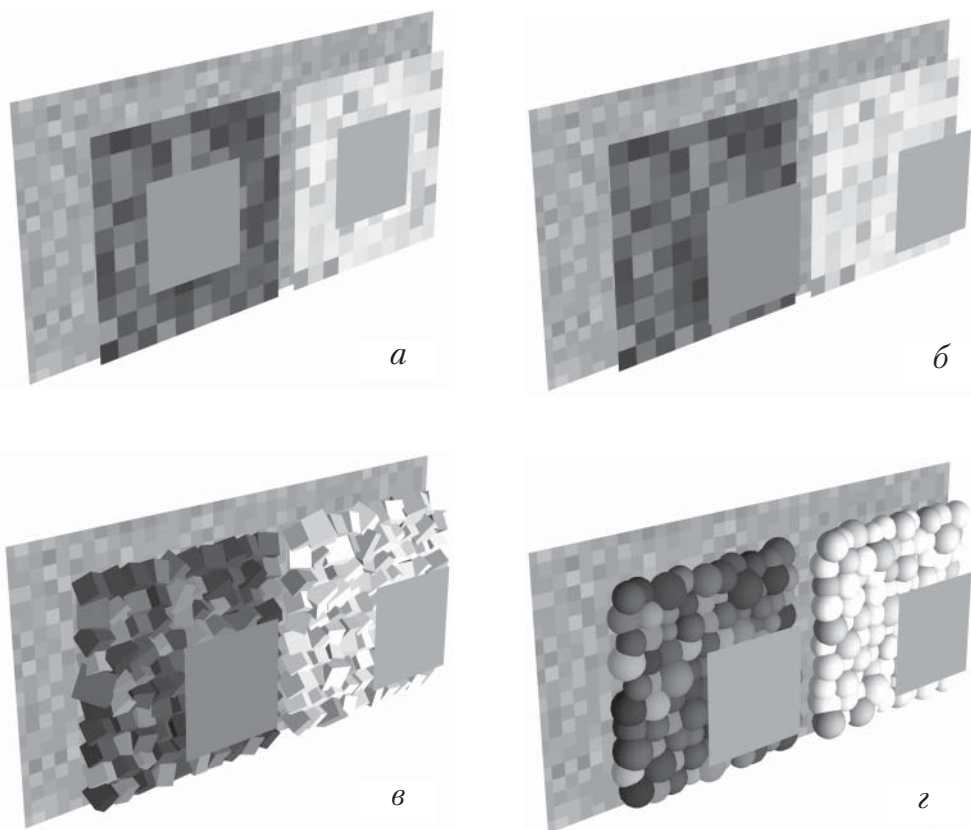


Рис. 3. Различные конфигурации иллюзии ОСК: *а* – 2D классический артикулированный вариант; *б* – 3D вариант с 2D артикулированным фоном; *в* – 3D вариант с 3D артикулированным фоном, состоящим из кубов; *г* – 3D вариант с 3D артикулированным фоном, состоящим из шаров



Во всех 3D конфигурациях количество объектов фона и их воспринимаемая окраска оставались неизменными, то есть «объектная артикуляция» была одинаковой. Для этого трансформации фона проводились следующим образом: на месте каждого плоского квадрата (первый вариант фона) помещался шар или куб. Замещающий шар или куб имел ту же окраску и занимал тот же зрительный угол, что и 2D квадрат. Что же касается «яркостной артикуляции», то она различалась во всех трех вариантах стимуляции. Грани каждого куба и разные части поверхности шаров были по-разному ориентированы относительно источника света и, соответственно, по-разному освещены, а значит, имели разную яркость на уровне сетчаточного образа.

Различные конфигурации фона создавались так, чтобы средняя яркость темного и светлого фоновых квадратов была одинаковой для всех вариантов стимулов. Обеспечение постоянства уровня яркости, а также контроль этого параметра в реальной сцене осуществлялся при помощи люксметра LX-110B.

Для оценки выраженности иллюзии использовался метод постоянных стимулов. Стандартным стимулом был тестовый квадрат на светлом фоне. Его яркость составляла величину 30% белого оттенка в единицах Grayscale и не изменялась в течение эксперимента. Тестовый квадрат на темном фоне был переменным стимулом. Его яркость уменьшалась от 30% до 17,5% белого в единицах Grayscale с постоянным шагом в 2,5%. Таким образом, было создано 28 стимулов: по 7 переменных стимулов для каждой из четырех 2D-3D конфигураций.

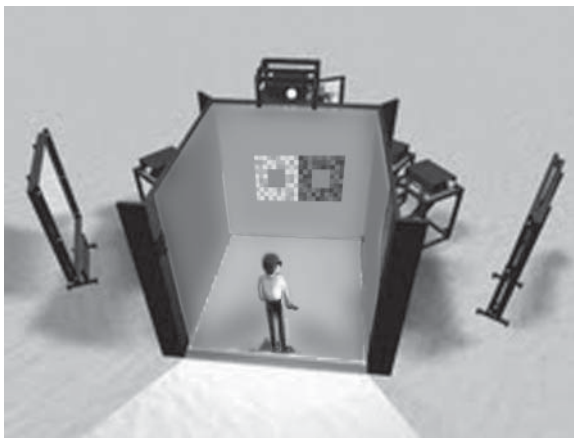


Рис. 4. Установка виртуальной системы CAVE

Аппаратура². Стимулы предъявлялись в системе виртуальной реальности CAVE (рис. 4), которая представляет собой 4 больших плоских экрана Varco ISpace 4, каждый размером 2,5х2,5 м², объединенных в кубическую комнату с тремя стенами и полом. С помощью 4 проекторов VarcoReality 909 на центральный экран проецировались изображения, имеющие разрешение 1400х1050 и частоту обновления 100 Hz. Для формирования стереоизображений использовались затворные очки CrystalEyes 3 Stereographics. В качестве программного обеспечения для создания и предъявления виртуальных сцен использовался пакет VirTools 4.1. Для регистрации ответов испытуемых использовался флайстик Flystick 2.

² Эксперимент был проведен с использованием научного оборудования, поставленного в рамках реализации Программы развития МГУ.



Для обеспечения относительного постоянства угловых размеров стимульных конфигураций позиция испытуемого в комнате ВР оставалась неизменной в ходе эксперимента. Испытуемый стоял на расстоянии 2,5 м от центрального экрана. Перед испытуемым на расстоянии 2,35 м и 2,2 м соответственно располагались виртуальные проекции фоновых и тестовых квадратов иллюзии ОСК. Угловые размеры фоновых и тестовых квадратов составляли величины $15^\circ \times 15^\circ$ и $5^\circ \times 5^\circ$ соответственно. Угловые размеры тестовых квадратов во всех 3D конфигурациях (рис. 3, а, б, в) были одинаковыми и равными угловым размерам классического 2D варианта иллюзии (рис. 3, а), что обеспечивало равенство проекционных сетчаточных размеров для всех предъявляемых стимулов. Отношение величин минимальной и максимальной яркости в сцене составляло 1:230. При этом значение максимальной яркости было равно $5,5 \text{ кд/м}^2$, а минимальной – $0,02 \text{ кд/м}^2$. Остальные экраны системы CAVE оставались темными на протяжении всего эксперимента. В комнате виртуальной реальности, а также в окружающей ее лабораторной комнате не было никаких других источников света, кроме проекторов системы ВР.

Процедура. Испытуемые выполняли экспериментальное задание в соответствии со следующей инструкцией: «В каждой пробе Вам будут предъявляться два серых тестовых квадрата на различных фонах. Пожалуйста, выберите тот из квадратов, который кажется Вам более светлым серым, нажимая на соответствующую кнопку джойстика. Постарайтесь не менять позицию в течение эксперимента».

Эксперимент состоял из 4 серий, в каждой из которых предъявлялся свой тип конфигурации. В первой серии предъявлялся 2D вариант иллюзии, во второй, третьей и четвертой – варианты с различными 3D фоновыми поверхностями. Каждая серия состояла из 70 проб – по 10 проб на каждое из 7 значений переменного стимула. Последовательность стимулов в пределах серии была квазислучайной. Каждая серия длилась 6–8 мин. В каждой пробе светлый фон появлялся то справа, то слева в случайном порядке, но число появлений светлого фона справа и слева было одинаковым в рамках одной серии. Статистическая обработка данных производилась в программе SPSS Statistics (версия 14.0) и включала тест на соответствие полученных данных нормальному распределению Колмогорова-Смирнова, а также *t*-тест Стьюдента для парных выборок.

Результаты

Для оценки выраженности иллюзорного эффекта были построены психометрические функции для каждой конфигурации и для каждого участника исследования. Выраженность иллюзии рассчитывалась по формуле

$$IS = \{(L_{St} - L_T) / L_{St}\} \times 100 \%,$$

где IS – выраженность иллюзии; L_{St} – яркость стандартного стимула; L_T – яркость переменного стимула в точке субъективного равенства.

Результаты, усредненные по 25 участникам, представлены на рис. 5. На оси абсцисс обозначены варианты 2D и 3D конфигураций, по оси ординат отложены значения выраженности иллюзии в процентах. Вертикальными отрезками отмечены стандартные отклонения полученных величин. Проверка данных на нормальность по критерию Колмогорова-Смирнова показала, что выраженность иллюзии ОСК для каждой экспериментальной конфигурации соответствует нормальному распределению.

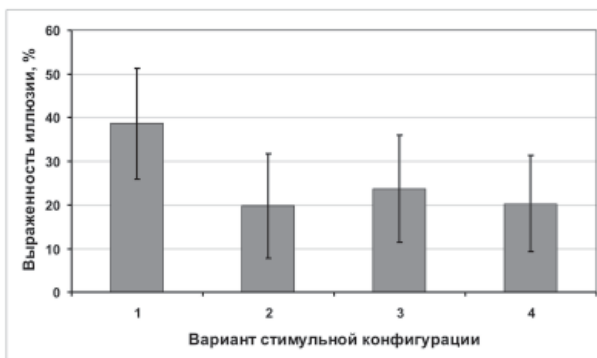


Рис. 5. Выраженность иллюзии ОСК для четырех типов конфигураций:

1 – 2D классического артикулированного варианта; 2 – 3D варианта с 2D артикулированным фоном; 3 – 3D варианта с 3D артикулированным фоном, состоящим из кубов; 4 – 3D варианта с 3D артикулированным фоном, состоящим из шаров. По оси абсцисс – вариант стимульной конфигурации; по оси ординат – выраженность иллюзии в процентах

Значимые различия в выраженности иллюзии были обнаружены между типом 1 (2D классический артикулированный вариант) и остальными 3D конфигурациями: типом 2 ($t(24) = 9,9, p < 0,001$), типом 3 ($t(24) = 5,4, p < 0,001$) и типом 4 ($t(24) = 8,01, p < 0,001$). В целом значения показателей выраженности иллюзии ОСК в плоском классическом варианте почти в два раза превышали значения показателей выраженности иллюзии при любом из 3D вариантов.

Значимых различий в выраженности иллюзии между вариантами с различными типами артикулированных фонов обнаружено не было: значения не различались для типов 2 и 3 ($t(24) = 1,88, p > 0,05$), типов 2 и 4 ($t(24) = 0,29, p > 0,05$), а также типов 3 и 4 ($t(24) = 2,22, p > 0,01$).

Обсуждение результатов

Обнаруженное снижение выраженности иллюзии при локализации тестовых и фоновых квадратов в различных параллельных плоскостях хорошо согласуется с теорией «якорения». Согласно ей, вынесение тестовых квадратов перед фоном таким образом, чтобы они оставались копланарными, т. е. воспринимались одинаково освещенными, приводит к ослаблению локальных рамок. Поскольку именно локальные рамки, согласно этой теории, являются наиболее значимыми для формирования иллюзии ОСК, то их ослабление приводит к снижению ее выраженности. Подобные результаты были получены и в других исследованиях по тестированию влияния глубины на выраженность иллюзий светлоты (Cohen, 1969; Wolff, 1933). Следует отметить, что такие значимые изменения выраженности иллюзии не могут быть объяснены в рамках альбедо-гипотезы. Согласно этой гипотезе, оценка светлоты при описанных изменениях сцены не должна измениться, поскольку ориентация тестовых и фоновых квадратов по отношению к гипотетическому источнику освещения сцены, а также интенсивность воспринимаемого освещения остаются неизменными.

Результаты, свидетельствующие о неизменности выраженности иллюзии при трансформациях фона из 2D варианта в различные 3D варианты, хорошо согласуются с выдвинутой нами гипотезой о возникновении эффекта артикуляции в случае оценки сложных трехмерных изображений. Согласно ей, артикуляция определяется не числом разноярких участков фона, а числом разноокрашенных 3D объектов. Каждый из этих объектов может быть представлен несколькими разнояркими участками на уровне сетчаточного образа, однако увеличение чис-



ла участков разной яркости не меняет степени артикуляции. Поскольку в нашем эксперименте число окрашенных объектов оставалось постоянным при трансформации «2D квадраты → 3D шары → 3D кубы», степень артикуляции для различных конфигураций не изменялась, что и явилось причиной отсутствия изменений в степени выраженности иллюзии ОСК.

Большие значения среднеквадратичных отклонений для значений выраженности иллюзии (>30 %) указывают на высокий уровень межиндивидуальных различий в ее восприятии. Подобные значения разбросов оценки иллюзии ОСК наблюдались и в других исследованиях (Logvinenko, Tokunaga, 2011; Matthews, Welch, 1997).

Выводы

Иллюзия одновременного светлотного контраста значительно ослабевает в случае, когда пространственное положение тестовых квадратов изменяется таким образом, чтобы тестовая и фоновая поверхности разделялись, оставаясь копланарными друг другу. Это хорошо согласуется с теорией «якорения» А. Гилкрита, согласно которой расположение тестовых и фоновых квадратов в разных плоскостях должно ослабить связи в локальных рамках и, таким образом, снизить выраженность иллюзии.

Существенных различий в выраженности иллюзии между тремя вариантами артикулированного фона – плоского, состоящего из 2D квадратов, состоящего из 3D шаров и 3D кубов, не обнаружено. Этот результат свидетельствует о том, что представление об артикуляции фона как о числе участков с разной яркостью не подходит для объяснения эффектов, возникающих в трехмерных сценах. Для последних необходимо переформулировать определение степени артикуляции как количества трехмерных объектов различной окраски. Предложенная нами новая формулировка «объектной» артикуляции позволяет наилучшим образом описать и интерпретировать полученные результаты: действительно, для трехмерных сцен с артикулированным фоном, где число разноярких участков различно, а число разноокрашенных объектов неизменно, выраженность иллюзии не должна значимо изменяться.

Технологии виртуальной реальности (системы CAVE, HMD-шлемы, 3D-мониторы) могут эффективно использоваться для изучения процессов восприятия глубины, а также процессов восприятия трехмерных зрительных иллюзий.

Литература

- Bergstrom S.S.* Common and relative components of reflected light as information about the illumination, colour, and three-dimensional form of objects // *Scandinavian Journal of Psychology*. 1977. V. 18. P. 180–186.
- Burzlaff W.* Methodologische Beiträge zum Problem der Farbenkonstanz. Methodological notes on the problem of color constancy // *Zeitschrift für Psychologie*. 1931. V. 119. S. 117–235.
- Coren S.* Brightness contrast as a function of figure-ground relations // *Journal of Experimental Psychology*. 1969. V. 80. P. 517–524.
- Economou E., Zdravkovich S., Gilchrist A.* Anchoring versus spatial filtering accounts of simultaneous lightness contrast // *Journal of Vision*. 2007. V. 7. № 12. P. 2–15.
- Gelb A.* Die «Farbenkonstanz» der Sehdinge // *A Source Book of Gestalt Psychology* / Ed. W.D. Ellis. NY: Harcourt Brace; London: K. Paul, Trench, Trubner, 1938. P. 196–209.
- Gilchrist A., Kossyfidis C., Bonato F., Agostini T., Cataliotti J., Li X., Spehar B., Annan V.* An anchoring theory of lightness perception // *Psychological Review*. 1999. V. 106. № 4. P. 795–834.
- Gilchrist A., Annan V.* Articulation effects in lightness: Historical background and theoretical implications // *Perception*. 2002. V. 31. P. 141–150.
- Helmholtz H. Von.* Concerning the perceptions in general // *Treatise on physiological optics*. 1866. V. III. 3rd ed. (Translated by J. P. C. Southall, 1925, Opt. Soc. Am. Section 26, reprinted NY: Dover, 1962).



- Henneman R.H.* A photometric study of the perception of object color // *Archives of Psychology*. 1935. V. 179. P. 5–89.
- Kardos L.* Ding und Schatten. Leipzig: Barth, 1934.
- Katz D.* The world of color. London: Kegan Paul, 1935.
- Koffka K.* Principles of Gestalt psychology. NY, 1935.
- Köhler W.* Gestalt psychology: an introduction to new concepts in modern psychology. NY: Liveright Pub. Corp., 1947.
- Land E.H., McCann J.J.* Lightness and retinex theory // *Journal of the Optical Society of America*. 1971. V. 61. P. 1–11.
- Logvinenko A., Menshikova G.* Trade-off between achromatic color and perceived illumination as revealed by the use of pseudoscopic inversion of apparent depth // *Perception*. 1994. V. 23. P. 1007–1023.
- Logvinenko A.D., Tokunaga R.* Lightness constancy and illumination discounting // *Attention, Perception & Psychophysics*. 2011. V. 73. № 6. P. 1886–1902.
- Matthews N., Welch L.* The effect of inducer polarity and contrast on the perception of illusory figures // *Perception*. 1997. V. 26. № 11. P. 1431–1443.
- Menshikova G., Lunyakova E.* Relationship between achromatic color of a surface and its perceived illumination in the “wallpaper” illusion // *Proc. of 17-th European Conference on Visual Perception (Eindhoven, Sep. 4–8)*. 1994. P. 17.
- Menshikova G.Y., Lunyakova E.G., Polyakova N.V.* The strength of geometrical and lightness illusions in 2D–3D configurations // *Proc. of 33-th European Conference on Visual Perception (Lausanne, Switzerland, Aug. 22–26)*. *Perception. ECVF Abstract supplement*. 2010. V. 39. P. 178.
- Menshikova G., Nechaeva A.* Does the strength of simultaneous lightness contrast depend on the disparity cue? // *Proc. of 34-th European Conference on Visual Perception (Toulouse, France, Aug. 28–Sep. 1)*. *Perception. ECVF Abstract supplement*. 2011. V. 40. P. 104.
- Todorovic D.* Lightness and junctions // *Perception*. 1997. V. 26. P. 379–394.
- Wolff W.* Ueber die kontrasterregende Wirkung der transformierten Farben // *Psychologische Forschung*. 1933. V. 18. S. 90–97.

THE EFFECT OF ARTICULATION IN THREE-DIMENSIONAL VISUAL ILLUSIONS

MENSHIKOVA G. Ya., *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

BAYAKOVSKY Yu. M., *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

LUNYAKOVA E. G., *Lomonosov Moscow State University, Moscow*

PESTUN M. V., *LLC «Mail.ru Games», Moscow*

ZAKHARKIN D. V., *LLC «AVI Lab», Moscow*

The effect of articulation is known as the influence of the background complexity on lightness estimations of the test surface. Earlier this effect was investigated for two-dimensional scenes. In this issue the strength of articulation effect was studied for three-dimensional scenes and the question was aroused: whether the number of patches with different brightness or the number of objects with different lightness determined its strength. We investigated the role of 3D articulated backgrounds in the perception of the modified simultaneous lightness contrast illusion using CAVE system. The results showed that lightness estimation did not depend on the number of patches with different brightness if the number of objects with different lightness remained constant.

Keywords: articulation effect, lightness, brightness, three-dimensional visual illusions, simultaneous lightness contrast illusion, VR-technology.