

ГЛАВА 7
ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЛЛЮЗИИ, ГЕНЕРИРУЕМЫЕ
КОМПЬЮТЕРОМ: ФЕНОМЕНЫ, МЕХАНИЗМЫ,
ДЕТЕРМИНАНТЫ

Изображения, сгенерированные компьютером, которые перед выводом на экран дисплея не были подвергнуты специальным преобразованиям, содержат различные искажения, называемые термином «алиайзинг»*. Например, появляется ступенчатость линий и зазубренность на границах объектов (рисунок 1); при анимации наблюдается порывистое движение; объекты, размеры которых меньше расстояния между соседними пикселями†, могут исчезать, а в процессе движения – мерцать на экране. Муаровый рисунок, исчезновение или искажение мелких деталей, появление цветного контура вокруг абриса объектов и многие другие нежелательные эффекты возникают в силу дискретности поверхности экрана и, соответственно, растровой развертки изображения.

Насколько выражены растровые искажения? Что лежит в их основе? В какой степени от них можно отвлечься, или, наоборот, использовать в реальных процессах деятельности человека? Для ответа на эти и подобные вопросы мы обратились к исследованию восприятия простых изображений – растровых отрезков прямой.

Иллюзия наклона растрового отрезка прямой

Несмотря на интенсивную разработку технических и программных методов улучшения качества растровых изображений, известно лишь несколько работ, в которых затрагивается *психологическая* сторона проблемы (Atherton, Caporalet 1985; Booth, Bryden, Cowan, Morgan, Plante, 1987; Crow, 1977, 1981; Silverstein, Krantz,

* Алиайзинг – дефект изображения линий, связанный с дискретностью растра.

† Пиксел – минимальная единица изображения, цвет и яркость которой можно задать независимо от остального изображения.

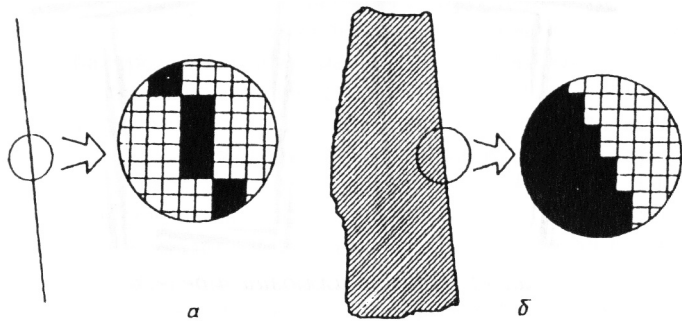


Рис. 1. Примеры растровых изображений

Gomer, Yeh, Monty, 1990; Warnock, 1980). Их анализ показывает, что: 1) исследователей преимущественно интересуют субъективная оценка качества генерируемого изображения, достоверность его формы или же эстетическая привлекательность; 2) остаются неизвестными зависимости наблюдаемых искажений от различного рода условий восприятия – как объективных, так и субъективных; 3) не изучены механизмы, лежащие в основе восприятия растровых изображений; 4) большинство экспериментов носит демонстрационный характер, а единственным испытуемым обычно является сам экспериментатор. Неслучайно главным принципом разрабатываемых систем компьютерной графики остается максимальный реализм изображения, требующий создания все более изощренных алгоритмов и громоздкого аппаратного обеспечения.

Согласно наблюдениям, наибольшие искажения претерпевают графические объекты, состоящие из прямых линий, угол наклона которых близок к вертикали/горизонтали. К таким изображениям относятся координатная сетка, рамки, линии азимута и горизонта. В частности, растровые отрезки прямых, близкие к вертикали, приобретают ступенчатость и воспринимаются как более наклонные, чем на самом деле.

Анализ проблемы алияйзинга в русле психологии и психофизиологии зрительного восприятия показывает, что переоценка наклона растрового отрезка прямой вызвана его сегментацией и является частным случаем оптико-геометрических иллюзий. В первую очередь имеется в виду иллюзия Фрезера (Fraser, 1908), согласно которой воспринимаемый паттерн, составленный из параллельно смещенных перекрывающихся сегментов, меняет действительную ориентацию в пространстве. Например, вертикально ориентированные буквы, составленные из наклонных полос, кажутся наклонными (рисунок 2).

Данный эффект сохраняется при углах наклона сегментов до 15–20°, а при больших углах «переворачивается»: паттерн воспринимается наклонным в противоположную сторону (иллюзия Цольнера).

Растровые отрезки прямой также конструируются из параллельно смещенных сегментов, правда, расположенных «стык в стык» (без перекрытия), а направление кажущегося наклона совпадает с направлением иллюзии Фрезера. Это позволяет предположить сходство механизмов растрового и оптико-геометрического эффектов и воспользоваться имеющимся знанием для объяснения воспринимаемого искажения направления линий на экране дисплея.

Известно несколько гипотез, объясняющих механизм возникновения иллюзии Фрезера: 1) наличие *латерального торможения смежных рецептивных полей*: иллюзия возникает благодаря особенностям взаимодействия между детекторами ориентации (Chiang, 1968); 2) существование *взаимодействия между детекторами с различными размерами рецептивных полей*: информация об ориентации сегментов, выделяемая полями наименьшего размера, ассимилируется рецептивными полями, которые отвечают за определение наклона всего стимула (Tyler, Nakayama, 1984); 3) участие в зрительном процессе *дирекционных элементов*: ориентация кодируется «дирекционными» элементами только на локальном уровне (Howard, 1982); 4) иллюзия возникает из-за того, что искажающие элементы воспринимаются как *составная часть или продолжение действительных элементов изображения* (Cowan, 1973); 5) иллюзия порождается «эфферентными копиями», связанными с движениями глаз (Festinger, White, Allyn, 1968); 6) способность зрительной системы «раскладывать» изображение на *фундаментальные компоненты Фурье*: иллюзия связана с особенностями частотного состава изображения (Stuart, Day, 1988). Однако ни одна из них не охватывает иллюзию Фрезера в полном объеме (Robinson, 1998).

Очевидно, что верификация гипотез на материале растровых искажений наклона требует специальных исследований.



Рис. 2. Пример иллюзии Фрезера

Прежде чем обсуждать возможные механизмы восприятия наклона растрового отрезка прямой, необходимо установить величину иллюзии и уточнить пространственно-временные условия ее возникновения.

Восприятие наклона простейшего растрового изображения

Выбирая методы исследования, мы исходили из особенностей стимульного материала и содержания задач реальной операторской деятельности. В наибольшей степени этим требованиям отвечает процедура определения угла наклона стимула методом ортогонального сравнения. Он предполагает установление отношения перпендикулярности между стимульным и подравниваемым отрезками (Stuar, Day, 1988). Чтобы сохранить валидность исследования, стимульная ситуация выводилась на растровый экран с разрешением 640×350 пикселей. Это предполагало использование методов устранения искажений при отображении эталонного и подравниваемого отрезков. Сглаживание осуществлялось с помощью методов префильтрации (Gupta, Sproull, 1981) и γ -коррекции (Tanner, Jolicoeur, Cowan, Booth, Fishman, 1989).

Исходный эксперимент был направлен на то, чтобы оценить воспринимаемую ориентацию растровых отрезков прямой в зависимости от угла их наклона.

На экране дисплея появлялись два отрезка, один из которых – стимульный – был наклонен под углом $-4 \dots +4^\circ$ относительно вертикали, а ориентация второго – подравниваемого – менялась самим испытуемым, который находился на расстоянии 50 см от экрана. Пространственные паттерны имели длину 9 см, стягивая зрительный угол около 10° . Задача испытуемого состояла в том, чтобы с помощью потенциометра установить подравниваемый отрезок перпендикулярно стимульному. В ходе эксперимента варьировался угол наклона стимульного отрезка и метод его отображения на экране дисплея (1 – стандартный алгоритм Брезенхема, приводящий к искажениям, 2 – метод префильтрации). Для каждого значения угла и типа стимула было выполнено по десять повторений. В эксперименте приняли участие 16 студентов в возрасте 17–20 лет, обладающих нормальным или скорректированным до нормального зрением.

Согласно полученным данным, растровые изображения кажутся наклоненными в ту сторону, в которую развернуты сегменты паттерна относительно идеальной ориентации. Ориентация растровых отрезков прямой воспринимается с систематической ошибкой как в области положительных, так и отрицательных углов наклона ($F = 47,6; p < 0,001$).

Систематическая ошибка минимальна при определении вертикали и носит асимметричный характер. Величина иллюзии определялась как разность между значением систематической ошибки для эталонного (фильтрованного) отрезка и для растрового. Ее зависимость от угла наклона паттерна представлена на рисунке 3.

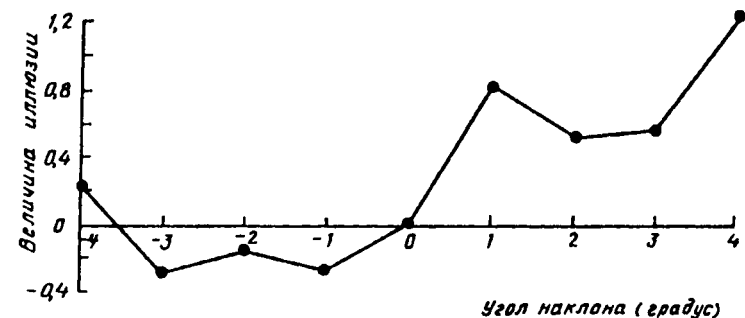


Рис. 3. Величина иллюзии в зависимости от угла наклона

При отрицательных углах наклона стимула (по часовой стрелке относительно вертикали) величина иллюзии остается приблизительно постоянной: не более $0,2-0,3^\circ$. На положительных углах иллюзия выражена резче, усиливаясь с увеличением угла наклона ($0-1,2^\circ$). Факт систематической ошибки согласуется с результатами исследований иллюзии Фрезера (Chiang, 1968; Cowan, 1973; Fraser, 1908; Stuart, Day, 1991). Следовательно, сегментация, порождаемая растром, является предельным случаем этой иллюзии, когда коэффициент перекрытия сегментов становится близким к нулю. Для того чтобы отличить описанный феномен от иллюзии Фрезера, назовем его *иллюзией наклона растрового отрезка прямой*.

Механизмы иллюзии

Для установления причин возникновения иллюзии наклона растрового отрезка прямой мы провели эксперимент, в котором наряду с растровыми и фильтрованными отрезками использовали отрезки, составленные из сегментов с различным коэффициентом перекрытия ($k = -0,12; -0,02; 0,02; 0,12$).

Учитывая множественность гипотез, претендующих на объяснение иллюзии Фрезера, выскажем несколько предположений о возможных перцептивных эффектах и соответствующих им механизмах. Концепция латерального торможения предсказывает, что если сегменты не перекрываются ($k < 0$) (рисунок 4), то иллюзия

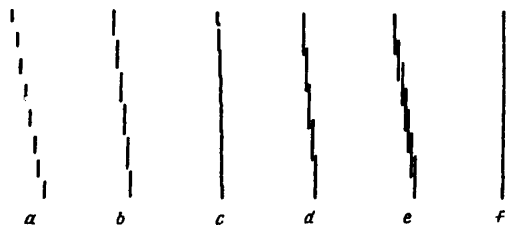


Рис. 4. Примеры пространственных паттернов, предъявлявшихся испытуемым

отсутствует, а если перекрываются ($k > 0$), она возрастает с увеличением области перекрытия.

Теория К. Тайлера и К. Накаямы (Tyler, Nakayama, 1984) исключает возможность иллюзии в любой из сконструированных стимульных ситуаций ($k \neq 0$) из-за отсутствия субъективного контура, отвечающего за наклон изображения в целом. Согласно теории «дирекционных» элементов, чем длиннее сегменты, тем больше число детекторов локальной ориентации вовлекается в процесс восприятия, и тем, следовательно, больше величина иллюзии. С увеличением положительного коэффициента ($k > 0$) перекрытия сегментов иллюзия, возможно, будет возрастать не столь быстро. Это связано с тем, что области перекрытия окажутся в зоне действия одного «дирекционного» элемента. Наконец, если учитывать роль компонентов Фурье в формировании иллюзий наклона, то с возрастанием длины сегментов она должна возрастать, так как величина фундаментальной компоненты совпадает с длиной сегмента.

Применительно к восприятию растрового изображения ($k = 0$) возможны следующие прогнозы. Отсутствие разрывов и перекрытий воспринимаемой структуры исключает возникновение латерального торможения. Если бы оно и возникло, то должно было, скорее, искривить видимые концы сегментов, чем привести к искажению наклона. Согласно теории Тайлера и Накаямы, растровое изображение вызвало бы иллюзию, но меньшую по величине. Если существуют «дирекционные» элементы, то иллюзия зависит только от длины сегментов, поэтому результаты, полученные для растрового изображения, должны занять промежуточное положение между результатами для случаев $k = -0,02$ и $k = 0,02$. Обращение к фильтрам пространственных частот допускает, что иллюзия наклона растрового отрезка прямой должна быть существенно меньше, чем во всех остальных случаях. Это связано с тем, что в изображении появляется фундаментальная компонента Фурье, которая по длине совпадает с длиной стимула, а по наклону – с его истинным наклоном.

Примеры пространственных паттернов, использованных в нашем эксперименте, изображены на рисунке 4. Если $k = -0,12$, то это означает, что 24% общей величины паттерна приходится на разрыв между сегментами, а в случае $k = -0,02$ – только 4%. Если же коэффициент перекрытия положителен, то соответственно 4% (при $k = 0,02$) и 24% (при $k = 0,12$) общей величины паттерна попадают в область перекрытия.

Психофизическая оценка воспринимаемого наклона паттернов обеспечивалась методом ортогонального сравнения. Паттерны и устанавливаемый отрезок выводились на растровый дисплей с разрешением 640×350 пикселей. Случайным образом варьировали тип паттерна (6 уровней) и угол его наклона (7 уровней: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6°).

В эксперименте приняли участие 25 студентов, обладающих нормальным или скорректированным до нормального зрением.

Результаты ортогонального сравнения для $k = -0,12$ и $k = 0,12$ практически совпадают ($F = 1,48$; $p > 0,1$). Близки и оценки паттернов с $k = -0,02$ и $k = 0,02$ ($F = 0,13$; $p > 0,1$). Вся совокупность данных разбивается на три группы. Первая группа – растровые искажения ($k = 0$), вторая – $k = -0,02$; $k = 0,02$, третья – $k = -0,12$; $k = 0,12$.

Обратим внимание на вид паттернов, которые попали в ту или иную группу (рисунок 5).

Легко убедиться, что их объединение не случайно. Стимулы с наибольшим положительным и отрицательным коэффициентами

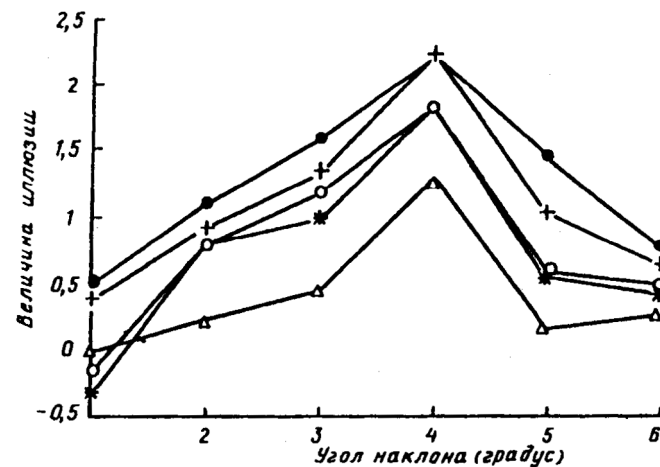


Рис. 5. Зависимость величины иллюзии от угла наклона и методы отображения. Темный кружок – $k = -0,12$, светлый кружок – $k = -0,02$, треугольник – растровое изображение, звездочка – $k = 0,02$, крестик – $k = 0,12$

перекрытия (а, е) меньше всего похожи на эталонный отрезок прямой (f). Некоторое сходство обнаруживают стимулы с незначительными положительными и отрицательными коэффициентами перекрытия (b, d), но ближе всего к эталонному отрезку (f) находится растровое изображение (с).

Сказанное позволяет заключить, что мы действительно имеем дело с родственными эффектами, основанием возникновения которых является параллельность смещения сегментов. В зависимости от знака и величины перекрытия сегментов тип и величина иллюзии оказываются различными. Переоценка наклона растрового отрезка прямой является предельным случаем ряда, когда коэффициент перекрытия близок к нулю, а величина иллюзии наименьшая.

Проанализируем возможные механизмы иллюзий. Многофакторный дисперсионный анализ показывает значимость влияния структуры паттерна на оценку его наклона ($F = 29,65$; $p < 0,001$). Так как иллюзия получена для всех типов паттернов, теория латерального торможения рецептивных полей может быть отвергнута уже на начальном этапе анализа. Вопреки ожиданию стимулы с отрицательным коэффициентом перекрытия сегментов приводят к не меньшим по величине иллюзиям, чем стимулы с положительным коэффициентом.

Тайлер и Накаяма использовали паттерны, составленные из сегментов, две противоположные стороны которых не только совпадали с идеальной границей стимула, но и индуцировали субъективные контуры, восполняющие разрывы между сегментами. Это позволяло говорить о наличии в исходном изображении признаков, которые соответствовали идеальным границам стимула и, следовательно, его истинному наклону. В нашем случае такие признаки отсутствовали (особенно явно для случая $k = -0,12$), а следовательно, ориентация стимулов могла задаваться только отношениями сегментов. По Тайлеру и Накаяме, все типы паттернов должны казаться вертикально ориентированными, чего в наших экспериментах не было. Если предположить, что признаки глобальной ориентации предъявлявшихся паттернов все же присутствуют, то по убывающей величине иллюзии паттерны можно выстроить в следующей последовательности: $k = -0,12$, $k = -0,02$; $k = 0,02$; $k = 0,12$; $k = 0$. В действительности стимул с $k = 0,12$ приводит к столь же сильному эффекту, что и стимул с максимальным отрицательным коэффициентом (см. рисунок 5).

Согласно теории «дирекционных» элементов Фрезера – Ховарда, что эффект наклона определяется на локальном уровне организации изображения. Главное внимание уделяется длине и ориентации сегментов. Иллюзия должна усиливаться с увеличением длины сегмен-

тов, а результаты оценок должны располагаться в следующем порядке: максимальная иллюзия для случая $k = 0,12$, затем $k = 0,02$; $k = 0$; $k = -0,02$ и минимальная иллюзия для $k = -0,12$. Однако иллюзия в случае $k = -0,12$ оказывается такой же сильной, как и для $k = 0,12$, а в случае $k = 0$ (растровые искажения) значительно слабее ожидаемой. Следовательно, и это объяснение несостоятельно.

Наконец, рассмотрим полученные данные с точки зрения пространственно-частотных составляющих. Наши результаты подтвердили предположение о минимальной величине иллюзии в случае растровых искажений, но вступили в противоречие с другими прогнозами теории. Если предположить, что значимость элемента связана с его фундаментальной компонентой Фурье, то иллюзия должна быть пропорциональна длине сегментов. На самом деле, так же как и в предыдущих случаях, оценка паттернов с $k = -0,12$ не соответствуют ожиданиям.

Таким образом, ни один из известных механизмов восприятия пространственной ориентации визуальных паттернов не может объяснить всей совокупности полученных данных. Невозможно это сделать и в результате суммирования механизмов, поскольку, с одной стороны, их действия нередко противоречат друг другу, а с другой, ни один из них не предназначен для объяснения эффектов отрицательного перекрытия элементов.

Главный результат нашего эксперимента состоит в том, что исследуемая иллюзия наклона является функцией структуры паттерна, т. е. пространственного соотношения его элементов. Для возникновения иллюзии необходимо параллельное смещение тождественных элементов относительно друг друга. Знак и степень перекрытия элементов определяют величину кажущегося наклона. Зарегистрированные эффекты восприятия различных паттернов имеют общий диапазон действия (наклоны относительно вертикали до 8°) и общий максимум (наклон в 4°).

Геометрический отрезок прямой, для которого величина смещения и степень перекрытия элементов равняются нулю, выступает в качестве предельного и в каком-то смысле исходного случая. Растровое изображение отрезка прямой вводит одностороннее смещение элементов, обуславливающее иллюзорное восприятие: с изменением величины смещения (в границах диапазона $-0,25 \leq k \leq 0,25$) кажущийся наклон паттернов увеличивается. Иллюзия Фрезера (вернее одна из ее разновидностей) принадлежит к тем эффектам описываемого ряда, в котором элементы связаны положительным коэффициентом перекрытия. Эквивалентная по величине иллюзия, опирающаяся на отрицательные значения перекрытия элементов,

хотя и упоминалась в литературе (Schumann, 1900), специально не исследовалась. Очевидно, что в плане анализа механизмов восприятия пространственной ориентации паттернов среды она представляет не меньший интерес, чем иллюзия Фрезера. Попытки объяснить иллюзию Шумана могут привлечь к обсуждаемой проблеме новые эмпирические данные и концептуальные представления, которые позволят сформировать более глубокий взгляд на природу иллюзий наклона.

С рассматриваемой точки зрения кажущийся наклон растрового отрезка прямой отражает стык противоположных эффектов – момент перехода от иллюзии Шумана к иллюзии Фрезера, и наоборот. Особое место, которое занимает растровое искажение прямой, позволяет предположить его опору на механизмы и той, и другой иллюзии.

Безотносительно к физиологическим механизмам можно говорить о разных типах отношений между сходными элементами иллюзий: проксимальном и дистальном. Первый допускает сближение элементов и их контакт по всей длине перекрываемого пространства, второй – взаимодействие на удалении и контакт между концами элементов. Благодаря этим отношениям складываются целостные образования – «дирекционные единицы», на основе которых определяется пространственная ориентация и изображения в целом, и его отдельных сегментов. В какой-то мере здесь можно провести параллели с явлениями близкого и дальнего взаимодействия элементов зрительного поля, описанными в предыдущей главе.

Хотя паттерны, заключающие в себе различные отношения, вызывают сходные интегральные эффекты, иллюзии Фрезера и Шумана качественно различны. Отличается от них и иллюзия наклона растрового отрезка прямой, полагающая сосуществование отношений различного типа (проксимально-дистальные) и смешанные дирекционные единицы.

Микродинамика иллюзий наклона

Если представления, описанные выше, верны, то все три иллюзии должны иметь различный микрогенез. Зависимость величины кажущегося наклона параллельно смещенных отрезков прямых от времени предъявления и пространственной структуры паттерна прослеживалась в специальном исследовании.

Ранее эксперименты с варьированием времени предъявления стимульного паттерна (используемого типа) проводились лишь однажды и с другой целью (Fraser, 1908). Сокращая время экспозиции Фрезер пытался устранить возможный эффект движений глаз. В ходе

исследования было установлено, что при $t = 125$ мс иллюзия сохраняется и с увеличением времени экспозиции паттерна не уменьшается.

В нашем эксперименте в качестве стимульного материала использовались паттерны a, c, e, f (рисунок 4), которые имели два угла наклона: 0 и 2° .

Время предъявления варьировали случайным образом. В начале каждой пробы испытуемому подавался звуковой сигнал частотой 400 Гц и длительностью 500 мс. Спустя 1000 мс на экране дисплея демонстрировался паттерн, который сохранялся соответственно 40, 80 или 120 мс. После этого появлялся подстраиваемый отрезок, и испытуемый с помощью потенциометра устанавливал его перпендикулярно стимулу. В эксперименте приняли участие 20 студентов в возрасте 18–24 года.

Результаты эксперимента приведены на рисунке 6.

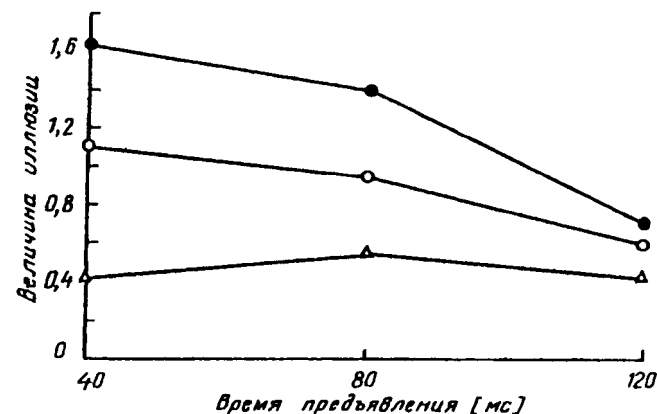


Рис. 6. Зависимость величины иллюзии от времени предъявления и типа паттерна. Темный кружок – $k = -0,12$, светлый кружок – $k = 0,12$, треугольник – растровые изображения

Нетрудно заметить, что с изменением времени экспозиции величина иллюзии растрового отрезка прямой практически не меняется. Это подтверждает результаты исследования Фрезера и исключает еще одну гипотезу, претендующую на объяснение механизма кажущегося наклона паттерна, – «эфферентные копии» саккадических движений глаз (Festinger, White, Allyn, 1968; Барабанщиков, 1997). Величина иллюзий Фрезера и Шумана, напротив, непосредственно зависит от времени предъявления паттернов. При $t = 40$ мс эффект иллюзии Фрезера превышает величину иллюзии растрового отрезка прямой в три раза, а эффект иллюзии Шумана – в четыре раза. При $t = 80$ мс эти различия сглаживаются, а при 120 мс – приближа-

ются к значениям, полученным в условиях достаточного времени экспозиции. Обратим внимание на то, что величина иллюзии Шумана ($k = -0,12$) на всех временных интервалах оказывается выше величины иллюзии Фрезера ($k = 0,12$).

Следовательно, каждая из рассматриваемых иллюзий имеет различный микрогенез, а значит, и различную качественную определенность. Можно полагать, что на ранних стадиях перцептогенеза ($t = 40$ мс) в силу нечеткости воспринимаемых элементов их отношения вызывают более выраженный интегративный эффект, чем на последующих. С течением времени спецификация графических деталей приводит к усилению роли внутренней структуры паттернов, снижающему общее впечатление наклона до некоторого постоянного значения. Отсутствие изменений в восприятии наклона растровых изображений обуславливается слабой дифференцированностью их структуры. Отметим, что за рамками изучения остался диапазон экспозиций 0–40 мс, обращение к которому поможет существенно уточнить картину микрогенеза иллюзий наклона (см.: Piaget, 1961).

Итак, используя психофизические методы, мы получили количественную оценку восприятия кажущегося наклона простейшего растрового изображения. Результаты эксперимента показывают, что: 1) существует систематическая ошибка (иллюзия) восприятия растрового отрезка прямой, которая зависит от угла его наклона; 2) диапазон кажущегося наклона растрового изображения составляет 0–4,5°; 3) присутствует асимметрия восприятия кажущегося наклона растрового изображения; величина иллюзии при наклоне против часовой стрелки больше, чем по часовой стрелке. Описанный феномен получил название «иллюзия наклона растрового отрезка прямой».

Экспериментальные данные позволили предположить, что иллюзии: наклона растрового отрезка, Фрезера, Цольнера, «кафельной стены» и т. п. являются частными случаями более общего феномена, основанием которого выступает параллельное смещение однородных элементов изображения. Эта гипотеза получила подтверждение в другом эксперименте, в котором в качестве независимой переменной использовали коэффициент перекрытия элементов ($k = 0$, $k = \pm 0,02$, $k = \pm 0,12$). Результаты исследования уточнили зависимость величины иллюзии наклона растрового изображения от угла наклона стимульного паттерна: иллюзия сохраняется в более широком диапазоне углов наклона (до 8° относительно вертикали).

Анализ результатов эксперимента показывает, что ни одна из известных концепций механизмов пространственной ориентации

предметов в поле зрения не может объяснить всей совокупности полученных данных. Наиболее адекватно это делает теория пространственных частот, но только для случаев $k = 0$, $k = \pm 0,02$. Можно полагать, что иллюзии параллельного смещения отрезков прямой обеспечиваются различными механизмами или одним механизмом, имеющим сложную, многоуровневую организацию. В любом случае кажущийся наклон растрового отрезка прямой характеризует стык, или встречу противоположных эффектов – иллюзий Шумана и Фрезера.

При изучении восприятия параллельно смещенных сегментов в зависимости от времени предъявления обнаружен факт временной ригидности иллюзии наклона растрового отрезка прямой относительно других иллюзий. С уменьшением времени экспозиции она остается неизменной, тогда как величины иллюзий Фрезера и Шумана по-разному возрастают. Это подтверждает особое место иллюзии наклона растрового изображения в ряду родственных эффектов и демонстрирует качественные различия иллюзий Фрезера и Шумана.

Субъектные детерминанты восприятия растровых изображений

Рассмотрев объективные предпосылки искажения восприятия растровых изображений, попытаемся охарактеризовать «внутренние переменные» данного процесса: стратегии активности субъекта и его отношение к воспринимаемому. Именно они способны скомпенсировать либо усугубить эффект растровых искажений и в значительной степени повлиять на продуктивность выполняемой человеком деятельности.

В ходе пилотажных исследований работы операторов с компьютерными изображениями мы обратили внимание на то, что некоторые из них, чтобы облегчить выполнение задания и улучшить показатели деятельности, начинают ориентироваться не только на основные, но и на дополнительные признаки – растровые искажения. Согласно литературным данным, четверть ошибок, допускаемых операторами при восприятии показаний приборов, связана со структурой изображения: обусловлена недостаточной четкостью элементов индикации (цифр, делений шкал, указательных элементов), неправильной интерпретацией показаний, которые требуют интерполирования между соседними значениями; и разнообразными оптическими иллюзиями (Ломов, 1991). С небольшими оговорками, возможность подобных ошибок легко перенести и на работу операторов с растровыми изображениями.

Информационные характеристики растровых изображений

Прежде всего попытаемся раскрыть соотношение субъективной и объективной информативности растрового изображения, а также основания способов его восприятия. Решению этих задач было посвящено специальное исследование.

Мы исходили из того, что информационные показатели стимульных паттернов могут быть получены не только путем учета физических (графических) характеристик, но и на основании их классификации испытуемыми. В этом случае открывается удобная связь оценок (выборов) с расстояниями, откладываемыми в евклидовом пространстве подобия, и появляется возможность обойти ряд трудностей, связанных с применением классических методов многомерного шкалирования.

Испытуемому предъявлялся ряд из n паттернов, который необходимо было разбить на группы. Каждая группа обладала свойством, отличающим ее от других групп. Результат группировки описывался в терминах измерения субъективной информации (Donderi, 1988).

На основе классификации для каждой пары стимулов X и Y определялась совместная энтропия $H(X, Y)$. Если X и Y попадают в различные группы, то X не зависит от Y , и $H(X, Y) = H(X) + H(Y)$. Если же эти объекты оказываются в одной группе, то $H(X, Y) = H(X) = H(Y)$. Если Y не зависит от X , то независимая энтропия для стимула Y относительно X определяется из соотношения $H_X(Y) = H(X, Y) - H(X)$. Наконец, полная взаимная информация $I(X:Y)$ рассматривается как мера информации, принадлежащая как стимулу Y , так и X : $I(X:Y) = H(Y) - H_X(Y) = H(Y) + H(X) - H(X, Y)$.

После разбиения стимулов на группы, информационные показатели находятся с помощью следующих соотношений:

Объекты X и Y находятся в одной группе:

$$H_X(Y) = H(X, Y) - H(X) = H(X) - H(X) = 0,$$

$$I(X:Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X) = H(Y).$$

Объекты X и Y находятся в разных группах:

$$H_X(Y) = H(X, Y) - H(X) = H(X) + H(Y) - H(X) = H(Y),$$

$$I(X:Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y) = H(X) + H(Y) - H(X) - H(Y) = 0.$$

Наглядное представление информационных показателей в многомерном пространстве достигается путем введения меры расстояния: $d(XY) = H_Y(X) + H_X(Y)$. При этом между информационными параметрами и расстояниями устанавливается ряд соотношений:

$$H(X) = d(OX)^2, \quad d(OY) = H(X)^{1/2},$$

$$H(Y) = d(OY)^2, \quad d(OX) = H(Y)^{1/2},$$

$$H_Y(X) + H_X(Y) = d(XY)^2, \quad d(XY) = (H_Y(X) + H_X(Y))^{1/2}.$$

Следовательно: $I(X:Y) = (H(X)H(Y))^{1/2} \cos \theta$,

$$\cos(\theta) = \frac{I(X:Y)}{\sqrt{H(X)H(Y)}}$$

Косинус соответствует нормированной полной взаимной информации между стимулами X и Y . Он имеет значение 1 для идентичных стимулов, т. е. когда $H(X) = H(Y) = I(X:Y)$, и значение 0, когда объекты совершенно различны – $I(X:Y) = 0$.

Соответствие между информационными мерами и расстояниями в евклидовом пространстве определяется для любой пары элементов X, Y и третьей точки O . Расстояние $d(XY)$ есть обычное межстимульное расстояние между двумя объектами, которые идентифицированы как точки в евклидовом пространстве стимулов. Расстояния $d(OX), d(OY)$ являются расстояниями между общей точкой O и точками, представляющими стимулы X и Y . Эти расстояния соответствуют информативности, или отчетливости, каждого объекта. Точка O , для которой $H(O) = d(OO)^{1/2} = 0$ и которая, таким образом, может быть рассмотрена как полностью неразличимая или неинформативная, берется в качестве начала отсчета в пространстве подобия.

Поскольку психологическим коррелятом субъективной информативности является значимость свойств изображения для наблюдателя, описанная процедура позволяет оценить значимость растровых искажений, установить их вклад в общую информативность графического объекта и определить возможные трансформации перцептивной структуры.

В качестве стимульного материала использовался набор тест-объектов, представленных на рисунке 7.

Он состоит из четырех пар отрезков, которые различаются между собой методом отображения: 0–4, 1–7, 2–6, 3–5. В каждой из пар один отрезок отрисовывался на экране дисплея с помощью стандартных

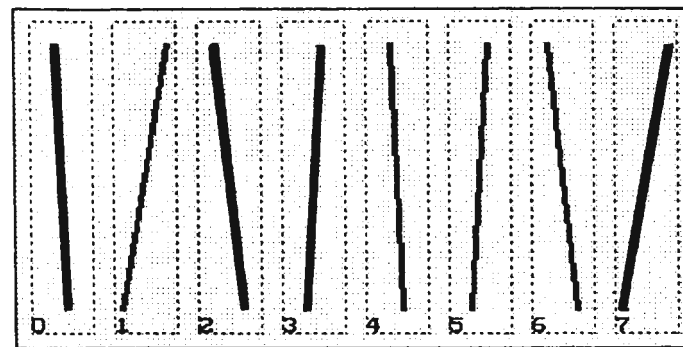


Рис. 7. Стимульный материал в задаче классификации

$$I = k \times \log(m \times n)$$

алгоритмов, предоставляемых графической библиотекой Borland C++, а другой – с использованием методов предварительной обработки (выравнивания) изображения.

Направление и углы наклона тест-объектов подобраны таким образом, чтобы вне зависимости от метода отображения испытуемый легко распознавал стимулы с одинаковыми углами наклона. Согласно инструкции он должен был разбить эти стимулы на группы в соответствии с теми признаками, которые ему удастся выявить.

В эксперименте приняло участие 25 человек с нормальным и/или корректируемым зрением. Конечные матрицы попарных расстояний получены путем масштабирования в восьмимерном пространстве с помощью компьютерной программы многомерного масштабирования по методу Р. Шепарда, разработанной в лаборатории математической психологии ИП РАН.

Сопоставим расстояния от начала координат до элементов, различающихся между собой только методом отображения (рисунок 8). Пары в данном и последующих примерах пронумерованы по величине угла отклонения от вертикали, поэтому индексу 1 соответствует пара 4–0, индексу 2 – пара 5–3, индексу 3 – пара 6–2, индексу 4 – пара 1–7. Значение, отложенное по вертикальной оси, означает степень информативности объекта.

Как видно из рисунка, информативность растрового элемента в паре оказывается выше, чем для его фильтрованного аналога. Заметим, что вклад в информативность вносят различные признаки, содержащиеся в объектах: наличие/отсутствие искажений, их степень, угол отклонения от вертикали, направление отклонения и др. Как показал В. Ю. Крылов (1990), влияние подобных признаков почти

никогда не сводится к простой сумме. Констатируя вклад, вносимый растровостью, обратимся к тем показателям, которые позволяют рассмотреть этот признак отдельно от остальных.

Отсутствие в матрице попарных расстояний нулевых значений, свидетельствует о том, что даже в парах одни и те же объекты не считаются идентичными. Следовательно, различия между ними выражают вклад растровости в субъективную информативность стимула. Значения расстояний между объектами внутри каждой пары приведены на рисунке 8(b).

Они характеризуют субъективные информативности объектов. Для сравнения найдем их объективные аналоги.

Общее количество информации всего изображения можно определить как:

$I = k \times \log(m \times n)$, где m и n – количество пикселей экрана по вертикали и горизонтали, k – количество вершин изображения. Поскольку количество вершин пропорционально числу сегментов, последнее выступает в качестве меры объективной информативности растрового изображения.

На рисунке 9 представлена динамика изменения объективной и субъективной информативности паттерна с увеличением числа сегментов. В качестве субъективной меры взяты расстояния между элементами внутри пар, а объективная информативность равняется числу сегментов в изображении. Как видно из графика эти зависимости имеют *обратный* характер: с увеличением числа сегментов растровые изображения дифференцируются менее отчетливо, а их элементы теряют значимость.

Некоторые из расстояний между объектами, принадлежащими к разным парам, оказались меньше, чем расстояния до соответствующего парного стимула. Следовательно, отрезки отличающиеся углом наклона, но не содержащие искажений, могут казаться более похожими, чем элементы внутри пары.

На основании анализа полученных результатов, а также отчетов испытуемых после выполнения заданий можно выделить следующие стратегии группировки: 1) ориентация только на наличие или отсутствие искажений, 2) использование только угла наклона, 3) учет и искажений, и угла наклона паттернов.

Можно предположить, что если бы наши испытуемые оказались в роли операторов, управляющих с помощью компьютерных изображений реальными технологическими процессами, то представители первой группы (9%) стали бы активно использовать дополнительные признаки; при отсутствии таковых погрешность визуальных оценок была бы наибольшей. Для испытуемых второй

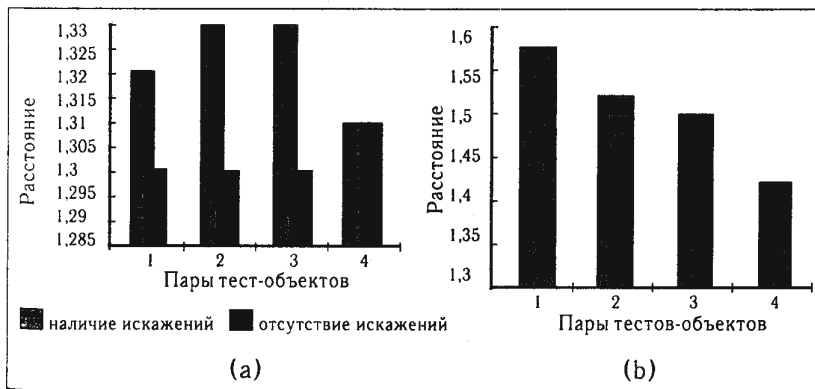


Рис. 8. (а) Субъективная информативность паттернов в парах. (б) Отличие между паттернами в парах

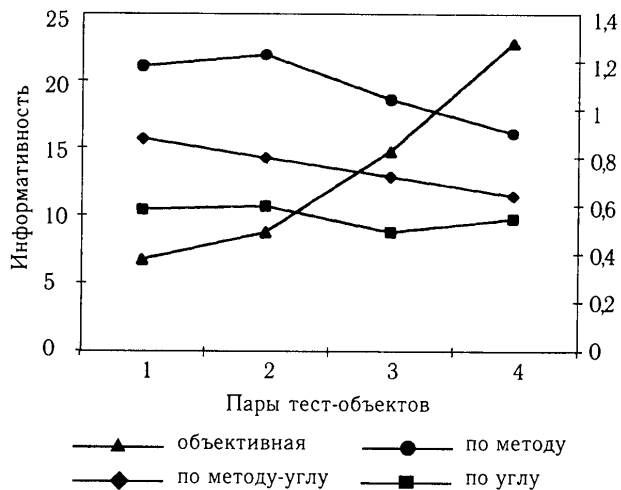


Рис. 9. Соотношение объективных и субъективных показателей информативности для разных групп испытуемых

группы (30%), которые опирались только на угол наклона, дополнительные признаки служили бы помехой. Представители же третьей группы (61% от общего числа, принявших участие в эксперименте) имели бы возможность использовать достоинства как первой, так и второй стратегии.

На рисунке 9 изображены зависимости объективной и субъективной информативности для каждой группы испытуемых в отдельности. Расположение кривых друг под другом является естественным результатом различной значимости признака растровости для различных групп испытуемых. Наклон кривых наибольший у первой группы $k = -0,103$, т. е. у тех, кто ориентировался только на признак растровости; при переходе от одной группы к другой этот наклон уменьшается. Интересно, что даже у группы с доминированием признака наклона отрезка прямой этот угол не равен нулю $k = -0,0237$, а кривая сохраняет тенденцию к уменьшению информативности по мере увеличения числа искажений.

На чем же строятся различные способы восприятия растровых изображений и каковы условия их переключения? Решению этой проблемы посвящен следующий эксперимент.

Стратегии и способы восприятия растрового изображения

Как показали предыдущие исследования, количество искажающих элементов само по себе еще не определяет восприятия растровых изображений. Например, искаженный отрезок прямой,

наклоненный под малым углом, может восприниматься как несколько вертикальных сегментов, сдвинутых относительно друг друга. В данном случае искажения становятся источником не просто ухудшения эстетического вида картинки или уменьшения достоверности формы (Atherton, Carorael, 1985), но и диссоциации структуры исходного изображения (Ульман, 1983). Можно предположить, что основной детерминантой восприятия в данных условиях оказывается перцептивная структура изображения.

Испытуемому в случайном порядке предъявляли тест-объекты, изображенные на рисунке 10.

Требовалось определить их ориентацию, которая выставлялась кинестетическим методом с помощью специального устройства. Испытуемый, вращая стрелку указателя вокруг оси и пользуясь для корректировки реперными выступами на внешней стороне диска, выбирал положение указателя, которое совпадало либо не совпадало со зрительно воспринимаемой ориентацией стимула. Согласно инструкции, цель эксперимента формулировалась как определение точности ориентации воспроизведенного на экране монитора объекта. В действительности же процедура кинестетического отслеживания использовалась для определения способа презентации растрово искаженного объекта испытуемому, т. е. того, каким он его видит.

Например, если испытуемый воспринимает паттерн № 10 как один отрезок, искаженный растровостью и наклоненный вправо

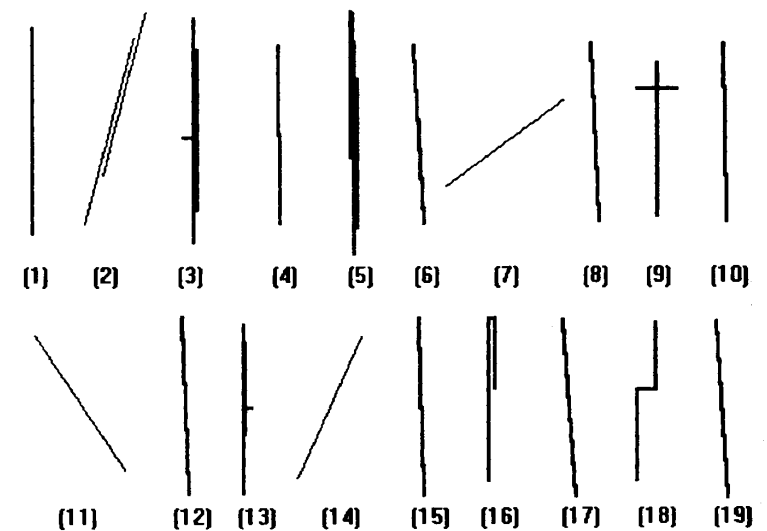


Рис. 10. Примеры паттернов, которые экспонировались испытуемым

относительно вертикали, то под таким же углом наклона выставит и указатель. Если же паттерн воспринимается как три сегмента, ориентированные вертикально и сдвинутые друг относительно друга на один пиксел, то – выставит вертикаль.

В ходе эксперимента использовалось 19 стимулов. Первый из них всегда был представлен вертикальным отрезком. Выставленная вертикаль служила началом отсчета субъективной метрики для остальных проб. Подобный способ позволял, во-первых, устранять смещение нуля, связанное с погрешностью самого устройства, и, во-вторых, учитывать неизбежную систематическую ошибку, возникающую при преобразовании зрительной информации в кинестетическую.

Среди 19 стимулов восемь были сигнальными и одиннадцать – шумовыми. Сигнальные стимулы – №4, 6, 8, 10, 12, 15, 17, 19 – представляли собой по-разному наклоненные растровые отрезки прямых. Число сегментов варьировалось от 2 до 9.

Изображения последовательно выводились на растровый экран с разрешением 640×350 пикселей. В каждой пробе фиксировался угол наклона и время реакции. По окончании выполнения эксперимента испытуемому повторно предъявляли те же стимулы, и просили прокомментировать выбранный им способ работы.

В эксперименте приняло участие 12 испытуемых с нормальным и/или корректируемым зрением.

На основании количественных данных и устных отчетов было выделено три группы испытуемых: 1 – те, кто всегда воспринимал стимульные отрезки только вертикальными, 2 – только наклонными, и 3 – те (их было большинство), кто одни паттерны воспринимал как вертикальные, а другие – как наклонные. Процентное соотношение числа испытуемых в группах почти полностью соответствовало группам, выделенным в предшествующем эксперименте. По существу, кинестетическое отслеживание представляет собой другой метод оценки стратегии восприятия растровых изображений испытуемыми.

На рисунке 11 показана зависимость выставленной ориентации паттерна от числа сегментов, входящих в его состав.

Полученные данные позволяют дифференцировать две зоны. Первая, от 0 до 1,6° (2–6 сегментов), характеризуется колебаниями отслеживаемого значения в диапазоне 0...+1,5°. Вторая зона начинается в районе 1,6° (6 сегментов) и, видимо, простирается до тех углов, при которых растровые искажения становятся незаметными. Для нее характерно отличное от нуля и близкое к действительному значение ориентации паттерна. Последнее означает, что отрезок, состоящий из небольшого числа сегментов, не воспринимается как отрезок

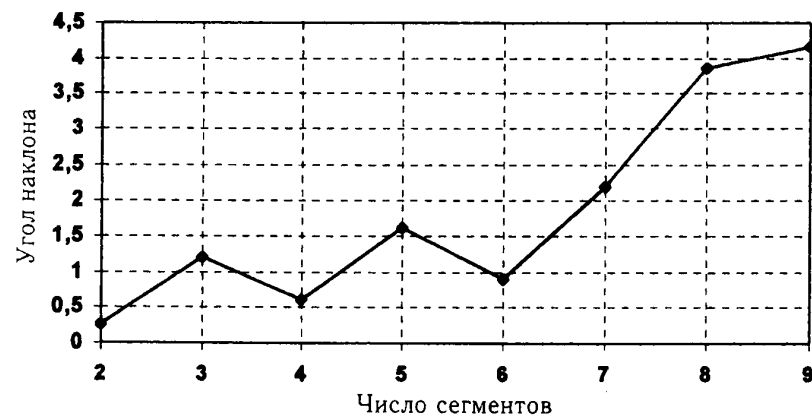


Рис. 11. Зависимость воспринимаемого наклона изображения от числа сегментов

прямой. Лишь с увеличением угла наклона (и, соответственно, числа сегментов) изображение постепенно предстает как единое целое.

Граница, разделяющая указанные зоны, носит индивидуальный характер и широко варьирует.

Полученные результаты позволяют говорить о трех стратегиях восприятия растровых отрезков прямых.

I. «Ориентация на искажения (вертикаль)»: испытуемые обращают внимание только на наличие или отсутствие растровых искажений, а в случае необходимости переходят к работе по дополнительному сенсорному признаку (Бардин, 2000). Последнее предстает как положительный фактор, характеризующий гибкость восприятия человека, его возможность подстраиваться под текущие изменения среды и, следовательно, улучшать показатели выполняемой деятельности. Вместе с тем данная стратегия предполагает предельно широкий диапазон диссоциированных структур изображения и может оказаться источником деформации сложных изображений. Излишняя гибкость, полезная в экстремальных ситуациях, инициирует ошибки восприятия в «штатном режиме» работы.

II. «Ориентация на наклон»: испытуемые ограничиваются углом наклона изображения. Использование данной стратегии в обычных условиях приводит к наилучшим показателям выполняемой деятельности. Применяемые здесь жесткие перцептивные схемы эффективно устраняют помехи, а зона перцептивной диссоциации изображения оказывается минимальной. В экстремальной ситуации, предполагающей влияние сильных возмущающих воздействий (например, на вестибулярный аппарат), повышенная перцептивная ригидность может вести к значительным ухудшениям деятельности.

III. «Смешанная стратегия»: ее применяют испытуемые, для которых пространство используемых признаков многомерно, т. е. учитывается как угол наклона, так и растровые искажения изображения. В этом случае устанавливается баланс между влиянием приводящих (шумовых) признаков и исходной структурой паттерна, а выполняемая деятельность в различных условиях оказывается оптимальной.

При любой стратегии связь между объективными и субъективными информативностями растровых объектов носит обратный характер. Для первой стратегии подобная зависимость вызвана перцептивной диссоциацией структуры изображения. Отрезок воспринимается как два, три, четыре отдельных сегмента. При второй стратегии данная зависимость сохраняется, хотя и в редуцированной форме. Следовательно, растровые искажения *всегда* выступают для наблюдателя как внутреннее свойство изображения. Наблюдатель не может полностью абстрагироваться от навязываемых ему шумовых элементов изображения, как не может полностью и положиться на них. Если при выполнении простейших визуальных операций данные стратегии восприятия приводят к незначительным ошибкам, то во время работы со сложным изображением, особенно в условиях стресса (Бодров, 2000), возможны более серьезные последствия.

На материале растровых изображений проявляются общие закономерности организации зрительного поля человека (Koffka, 1935; Allport, 1955). В любой стимульной ситуации, включающей набор элементов, каждый из них так или иначе связан с другими и имеет для наблюдателя определенную значимость. С уменьшением числа элементов или увеличением их размера она возрастает, меняя характер функциональных связей в целом. Так, Стюарт и Дей показали, что увеличение зрительного угла, стягивающего паттерн, в 8 раз приводит к усилению иллюзии наклона в 7 раз, а стимула, представленного на фоне шума, – только в 1,2 раза (Stuart, Day, 1988). Ранее Тайлер и Накаяма обнаружили, что увеличение числа сегментов с двух до двадцати ослабляет иллюзию Фрезера более чем в двадцать раз (Tyler, Nakayama, 1984). Соответственно, и растровые эффекты оказываются функциями многих переменных. Прошлый опыт, установки, когнитивные стили, наличные потребности субъекта обуславливают возникновение на одной и той же стимульной основе различных перцептивных структур.

Согласно полученным данным, существуют два способа восприятия растровых изображений: *аналитический* и *синтетический*. Для первого характерна перцептивная диссоциация – расщепление

изображения на отдельные сегменты, для второго способа – перцептивная интеграция, установление сильных функциональных связей между частями изображения. Оба способа восприятия выражают «субъектные переменные» и тесно связаны с информационным содержанием паттерна. Последнее находит выражение в зональной природе восприятия растровых изображений. В зависимости от угла наклона растрового отрезка прямой может доминировать либо тот, либо другой способ восприятия.

При наклоне отрезков в диапазоне углов 0–1,6° (или 2–6 сегментов) изображение интерпретируется как вертикально ориентированное или выстроенное из ряда вертикально ориентированных сегментов. В этой зоне доминирует аналитический способ восприятия. По-видимому, именно данный диапазон углов наклона должен стать объектом особого внимания разработчиков растровых систем отображения информации. Здесь возможны наиболее глубокие трансформации перцептивной структуры изображения, ведущие к ошибкам оператора: дезориентации, неправильному считыванию показаний, ошибкам обнаружения и идентификации. Диапазон углов свыше 1,6° (изображение разбивается на число сегментов больше 6) для большинства наблюдателей предполагает использование синтетического способа восприятия – растровый отрезок прямой выступает как единое целое.

Можно полагать, что процессы визуального анализа и синтеза, диссоциации и интеграции растровых изображений сосуществуют и взаимопереходят друг в друга в одном и том же акте восприятия. В зависимости от предрасположенности наблюдателя и объективных параметров паттерна тот или иной процесс начинает играть доминирующую роль, которая всегда носит ограниченный характер. Поэтому собственно иллюзия наклона растрового отрезка прямой не является абсолютной, а ее проявление отражает текущее состояние системы детерминант перцептивного процесса.

Растровые искажения как предмет психологического анализа

Исследования, описанные выше, обнаруживают важные характеристики восприятия растровых изображений. Высказан ряд рабочих гипотез и сформулировано несколько понятий, позволяющих адекватно описывать экспериментальные данные. В результате выполненной работы открывается возможность из области эмоциональных или эстетических оценок растровых изображений перейти к строгим показателям, значимым с точки зрения выполнения операторской деятельности и понимания психологических механизмов восприятия.

Для интерпретации полученных данных мы обратились к разделу психофизики, посвященному изучению оптико-геометрических иллюзий. Было показано, что стимульный паттерн растрового отрезка прямой в значительной степени совпадает с паттерном иллюзии Фрезера. Речь идет о сегментированном изображении прямолинейных объектов или их границ, когда ориентация сегментов отличается от идеальной ориентации целостного объекта.

Иллюзии Фрезера не очень повезло, если сравнивать ее экспериментальную проработку с исследованиями подобных эффектов, например, иллюзии Погендорфа или эффекта нормализации Гибсона. На данный момент существует только несколько работ по изучению ее природы. Уместно подчеркнуть, что концепции, предлагаемые для объяснения феномена, носят физиологический либо квазифизиологический характер и, как правило, заимствуются из разработок других зрительных эффектов. Более того, подобные концепции ограничиваются фрагментом или «сколком» необычайно сложного перцептивного процесса при попытке объяснить все многообразие получаемых данных в терминах одного из возможных измерений. В конечном счете это приводит к физиологической редукции целостного процесса или к статичному, одномоментному описанию иллюзий.

Поэтому, предвзято более широкое изучение эффекта растровости, мы провели верификацию существующих представлений о природе иллюзии Фрезера. Экспериментальный материал был подобран таким образом, чтобы получаемые данные могли прояснить различные аспекты и отношения изучаемого феномена: роль латерального торможения, «дирекционных» элементов Фрезера – Ховарда, компонентов Фурье и др.

Полученные нами результаты в той или иной мере противоречат всем известным концепциям. Наиболее неожиданным и трудно объяснимым оказался тот факт, что стимульные паттерны с минимальным коэффициентом перекрытия сегментов ($\kappa = -0,12$) вызывают (наряду со стимульными паттернами, имеющими максимальный коэффициент $\kappa = 0,12$) наибольшую иллюзию. Оценки же наклонов разных типов стимульных паттернов группируются в соответствии со степенью их близости к идеальному изображению отрезка.

Это позволяет предположить существование ряда однородных иллюзий, стимульные паттерны которых допускают параллельное смещение элементов друг относительно друга. Когда подобное смещение имеет положительный знак ($\kappa > 0$), сегменты частично перекрываются, возникает иллюзия Фрезера. Максимальная величина иллюзии, по-видимому, имеет место при 50% перекрытии длины

сегментов ($\kappa = 0,25$). Данный паттерн рассматривается в качестве основы самостоятельной иллюзии, впервые описанной Г. Мюнстербергом (Münsterberg, 1897); в англо-американской литературе ее называют иллюзией «смещенных квадратов», или «кафельной стены». Соответственно, при $\kappa = 0$ – условия возникновения растровых искажений, величина иллюзии оказывается существенно меньшей, но не минимальной (иллюзия исчезает при $\kappa = 1$).

Перечисленные эффекты образуют лишь половину феноменального ряда. Вторая его половина предполагает отрицательное смещение сегментов ($\kappa < 0$): сохраняя параллельность они не только не перекрываются, но и удаляются друг от друга. Это становится основанием еще более редкой иллюзии Шумана. Гипотетически и здесь можно предположить, что ее величина будет максимальной, когда расстояние между ближайшими концами сегментов достигнет 50% их длины ($\kappa = -0,25$). И опять, при $\kappa = 0$ – условия возникновения растровых искажений – величина иллюзии Шумана оказывается существенно меньшей, хотя и не минимальной.

Сказанное означает, что растровые искажения наклона появляются на стыке двух иллюзий, обладая свойствами и той, и другой. Поэтому физиологические механизмы иллюзии Фрезера, привлекаемые для объяснения растровых искажений отрезков прямой, оказываются по меньшей мере недостаточными.

На психологическом уровне анализа объяснение полного ряда иллюзий может быть построено на представлении о дирекционных единицах и их интеграции в рамках всего паттерна в целом. Дирекционные единицы рассматриваются здесь не как детекторы ориентации, которые локализуются на разных уровнях зрительной сенсорной системы, начиная с сетчатки (Howard, 1982), а как относительно самостоятельные фрагменты целого, которые включают, по крайней мере, два параллельно смещенных элемента изображения, порождающие впечатление об их ориентации. Можно полагать, что именно дирекционные элементы ассимилируются перцептивной схемой ситуации, так или иначе модифицируя ее содержание. Вместе с тем благодаря схеме (ее пространственному компоненту) выдерживается «жесткость» восприятия даже искаженных изображений; они не «расплываются» и не заслоняются иллюзиями.

Возможны три разновидности дирекционных единиц: 1) проксимальные, допускающие перекрытие элементов ($\kappa > 0$), 2) дистальные, построенные на диспаратности параллельно смещенных элементов ($\kappa < 0$), 3) смешанные, или растровые ($\kappa = 0$). В зависимости от характера изображения они могут быть по-разному сориентированы в пространстве и играть различную роль в оценке наклона паттерна

в целом. Изображения, которые использовались в наших экспериментах, были однотипными в том смысле, что составляющие их дирекционные единицы относились к одному из трех видов и «работали» на наклон только в одном направлении. Закономерности интеграции различных дирекционных единиц, обеспечивающих восприятие по-разному наклоненных сегментов, являются самостоятельной и весьма непростой психологической проблемой.

Обратим внимание на то, что речь не идет о временной структуре, а только об образующих восприятия ориентации сложного паттерна. Совершенно не обязательно, чтобы сначала были репрезентированы дирекционные единицы, а лишь затем – их результирующая. В ходе перцептогенеза обе репрезентации развиваются параллельно путем взаимопосредования. Как мы убедились, и иллюзия Фрезера, и иллюзия Шумана, выражающие некоторый интегральный эффект, максимальны именно на ранних этапах микрогенеза (40 мс), т. е. тогда, когда уже дифференцируется тип дирекционных единиц, но их элементы переживаются нечетко. В случае растровых изображений 40 мс оказывается вполне достаточно для завершения их перцептогенеза.

Эксперименты показывают, что продолжительность перцептогенеза является функцией сложности изображения и типа дирекционных единиц. С этой точки зрения симметрия оценок наклонов паттернов при $\kappa = -0,12$ и $\kappa = 0,12$ очень ограничена. Наиболее сложными для оценки направления оказываются паттерны Шумана, наиболее простыми – растровые отрезки прямой. Несмотря на общность эффектов, рассмотренные иллюзии опираются на различные типы дирекционных единиц, а значит, качественно различны.

Восприятие наклона растрового отрезка прямой обуславливается не только объективной структурой паттерна, но и особенностями самого наблюдателя. Паттерн предоставляет лишь определенные возможности восприятия, которые разными людьми реализуются по-разному.

Растровые изображения изначально являются двойственными. Они могут репрезентироваться как наклоненный паттерн, но могут – и как вертикально ориентированная группа сегментов. В первом случае паттерн воспринимается как единое целое, деформируемое шумовыми элементами (синтетический способ восприятия), во втором – как диссоциированное изображение, включающее растровые искажения в качестве основных признаков (аналитический способ восприятия). Тот или иной способ восприятия является прерогативой наблюдателя и зависит от числа сегментов, включенных в растровое изображение: малое число сегментов предрасполагает к аналитическому способу восприятия, большое – к синтетическому.

Растровые изображения прямой чаще интерпретируются как вертикально ориентированные в диапазоне углов $0-1,6^\circ$, и как наклонные относительно вертикали – в диапазоне углов свыше $1,6^\circ$. Критические и рабочие зоны искажений не являются жестко заданными и в значительной степени определяются текущей ситуацией восприятия, характером решаемой задачи, применяемой стратегией и предшествующим опытом наблюдателя.

Независимо от способа восприятия растровые искажения выступают для наблюдателя как имманентное свойство самого изображения, становятся предметом его контроля и использования. Последнее обнаруживается в различных стратегиях восприятия. Испытуемые ориентируются: а) на наличие или отсутствие искажений, б) на наклон растрового изображения в целом, в) пытаются учитывать и то, и другое. Последняя стратегия, характерная для большинства испытуемых, выражает многомерность восприятия растровых изображений.

Существенно, что при любой стратегии восприятия объективная и субъективная информативность растровых объектов связаны обратной зависимостью. Поэтому, например, увеличение числа искажающих элементов растрового изображения может привести к перцептивным эффектам, противоположным ожидаемым.

Таким образом, проблема антиалиайзинга – борьбы с растровыми искажениями – имеет не только технический (программный или аппаратный), но и важный психологический аспект. Наряду с повышением разрешающей способности дисплеев объема видеопамати и быстрогодействия необходим учет закономерностей восприятия растровых изображений при конструировании новых средств отображения визуальной информации, обучении операторов и проектировании их деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

- Барабанщиков В. А. Восприятие событие СПб.: Алетейя, 2002.
- Барабанщиков В. А. Окуломоторные структуры восприятия. М.: Изд-во ИП РАН, 1997.
- Бардин К. В., Садов В. А., Цзен Н. В. Новые данные о припороговых феноменах // Психопсихика сенсорных и сенсомоторных процессов. М.: Наука, 1984. С. 40–70.
- Бодров В. А. Информационный стресс. М.: ПЕР СЭ, 2000.
- Крылов В. Ю. Геометрическое представление данных в психологических исследованиях. М., 1990.
- Ломов Б. Ф. Вопросы общей, педагогической и инженерной психологии. М.: Педагогика, 1991.

- Allport F. Theories of perception and the concept of structure. N. Y.: Wilev, 1955.
- Atherton P. R., Caporael L. R. A subjective judgment study of polygon based curved surface imagery // Proc. CHI'85 Human factors in computing systems, ACM. N. Y., 1985. P. 27–34.
- Booth K., Bryden M. P., Cowan W. R., Morgan M. F., Plante B. L. On the Parameters of Human Visual Performance: An Investigation on the Benefits of Antialiasing // IEEE Computer Graphics and Applications. 1987. Vol. 9. P. 34–41.
- Chiang C. A new theory to explain geometric illusions produced by crossing lines // Perception and Psychophysics. 1968. Vol. 3. P. 174–176.
- Cowan T. M. Some variations of the twisted cord illusion and their analyses // Perception and Psychophysics. 1973. Vol. 14. P. 553–564.
- Crow F. C. The Aliasing Problem in Computer-Generated Shaded Images // Communications of the ACM. 1977. V. 20 (11). P. 799–805.
- Crow F. C. A comparison of Antialiasing Techniques // IEEE CG&A. 1981. V. 1. P. 40–48.
- Fraser J. A new visual illusion of direction // British J. Psychology. 1908. V. 2. P. 307–320.
- Gupta S., Sproull R. Filtering Edges for Gray-Scale Displays // SIGGRAPH'81 Conference Proceedings, Computer Graphics. 1981. V. 15. P. 1–5.
- Howard I. P. Human visual orientation. N. Y.: John Wiley, 1982.
- Koffka K. Principles of gestalt psychology. N. Y.: Liveright, 1940.
- Münsterberg H. Die versehobene Schachbrettfigur // Z. Psychol. 1897. № 15. S. 184–188.
- Piaget J. The mechanisms of perception. N. Y.: Basic Books, 1969.
- Robinson J. O. The psychology of visual illusion. Mineola, N. Y.: Dover Publications, inc., 1998.
- Schumann F. Beiträge zur analyse der Gesichtswahrnehmungen // Z. Psychol. 1900. N 23 S. 1–33.
- Silverstein L. D., Krantz J. H., Gomer F. E., Yeh Yei-Yu, Monty R. W. Effects of spatial sampling and luminance quantization on the image quality of color matrix displays // J. optical society of America. 1990. Vol. 7. P. 1995–1968.
- Stuart G. W., Day R. H. The Fraser illusion: Complex figures // Perception and Psychophysics. 1991. V. 49. P. 456–468.
- Stuart G. W., Day R. H. The Fraser illusion: Simple figures // Perception and Psychophysics. 1988. V. 44. P. 409–420.
- Tanner P. P., Jolicoeur P., Cowan W. B., Booth K., Fishman F. D. Antialiasing: A technique for smoothing jagged lines on a computer graphics image: An implementation on the Amiga // Behavior research methods, instruments, and computers. 1989. V. 21. P. 59–66.
- Tyler C., Nakayama K. Size interactions in the perception of orientation // Sensory experience, adaptation and perception / Eds. L. Spillman, J. R. Wooten. N. Y., 1984. P. 529–546.

ГЛАВА 8 ПСИХОФИЗИКА ВОСПРИЯТИЯ ЭКСПРЕССИИ ЛИЦА В МИКРОИНТЕРВАЛАХ ВРЕМЕНИ

Дискретность либо непрерывность?

В психологии сложились два подхода к исследованию природы выражения и восприятия эмоциональных состояний человека. Согласно первому, любая экспрессия лица характеризуется точкой на континууме состояний, а между эмоциями разных модальностей существует непрерывающийся переходный ряд. Согласно второму, та или иная экспрессия лица относится к определенной категории, связывающей некоторый набор состояний, а переход от эмоции одной модальности к другой совершается скачкообразно. При этом оба подхода базируются на одном и том же фактическом основании: сходстве выражений различных эмоций на лице человека.*

Представление о непрерывности экспрессий лица восходит к работам В. Вундта, предложившего концепцию трехмерного пространства чувств. Координатным осям этого пространства соответствовали чувства удовольствия – неудовольствия, напряжения – разрешения и возбуждения – успокоения (Вундт, 1880). Развитием схемы подобного типа является круговая шкала эмоций, разработанная Р. Вудвортом и Г. Шлосбергом. Экспрессии лица описываются здесь двумя координатами: удовольствие – неудовольствие и принятие – отвержение. В рамках представления о непрерывном характере экспрессий лица получают объяснение такие феномены, как сильная зависимость воспринимаемой эмоции от общего контекста, неверное опознание экспрессий лица, соответствующих эмоциям, соседним на круговой шкале и др. (Woodworth, Schlosberg, 1954).

Дискретный (категориальный) подход к восприятию экспрессий связан с именем П. Экмана. Подготовленные им фотоэталоны не-

* Исследование выполнено при поддержке РФНФ, грант №07-06-00302а.