

ИНТЕГРАЦИЯ ЗРИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗОВ И УГЛОВЫЕ ИЛЛЮЗИИ

В. Ю. МАРТИШЮС

Многочисленные вопросы, касающиеся перцептивных констант формы, движения, величины, тесно связаны с нахождением инвариантов изображений при той или другой трансформации.

Можно выделить локальные инварианты изображений [5, 12] и попытаться описать изображение фразами, компонентами которых являются локальные свойства фигур, такие как скачок кривизны, независимый поворот контура и т. д.

Другой путь описания изображения — попытаться найти инвариантные критерии, характеризующие фигуру в целом [4, 9].

Третья возможность выделения инвариантов плоского изображения — общий групповой подход [3, 10]. Акишиге, Гибсон, Пиаже [11, 14, 16] считают, что теория групп является адекватным инструментом объяснения перцептивных механизмов.

Есть основание предположить, что перцептивные механизмы обработки сигналов составляют иерархию [13, 21]. Очень трудно экспериментально выделить отдельные уровни перцептивных механизмов, так как обычно все уровни вместе участвуют в построении образа изображения.

Однако вряд ли относительная значимость определенного уровня обработки информации в формировании образов изображений не зависит от типа изображений. Чем проще изображение, тем большую относительную роль в формировании его образа играют наиболее элементарные уровни обработки информации.

Семейства концентрических окружностей, параллельных и радиальных прямых являются очень простыми стимулами [6, 20]. В случае семейства концентрических окружностей любое преобразование группы поворотов оставляет изображение инвариантным. При соответствующих трансформациях группы гомотетии окружность определенного диаметра переходит в концен-

трическую окружность другого диаметра. Глобальная структура изображения, состоящего из семейства концентрических окружностей, полностью определяется расстояниями между окружностями. Расстояния, естественно, измеряются по радиальным прямым. Есть основание предположить, что в случае такого простого изображения, как семейство концентрических окружностей, интегрирование образа изображения происходит по радиальным прямым.

Аналогичные рассуждения подтверждают вывод, что в случае семейства параллелей интегрирование образа происходит по параллелям, перпендикулярным к исходному семейству; а в случае радиальных прямых синтез образа изображения происходит по концентрическим окружностям.

Окружности являются орбитами группы Ли поворотов, семейство параллельных прямых — орбитами группы Ли переносов, а радиальные прямые — орбитами группы Ли гомотетии.

Интересно отметить, что если испытуемому [20] предъявить пучок либо параллельных прямых, либо радиальных линий, либо семейство концентрических окружностей, то возникают дополнительные последовательные образы, состоящие из линий, приблизительно перпендикулярных к исходным, которые тоже соответствуют орбитам групп Ли. Этот феномен отличается от обыкновенных положительных и негативных последовательных образов тем, что в последних испытуемые продолжают «видеть» изображение в неизменной ориентации.

Отметим, что орбитой элемента m из некоторого множества M , на котором действует группа G , являются те элементы из указанного множества, которые могут быть достигнуты из элемента m действием группы G .

Можно выдвинуть гипотезу [7, 17], что интеграция образов по орбитам подгрупп группы подобия является одним из иерархических уровней формирования образов изображений.

В работе [7] на основе этой гипотезы была предложена мера субъективной сложности несмысловых изображений. Соответствие предложенной меры субъективным оценкам испытуемых получилось хорошим. Обсуждаемая гипотеза тоже позволяет объяснить некоторые особенности фрагментации послеобразов, стабилизированных и жестко фиксированных на сетчатке изображений.

Нет никаких оснований полагать, что синтез перцептивных образов происходит только по орбитам групп Ли. Возможности человека не ограничены ни жесткими рамками морфологической структуры, ни несколькими функциональными стратегиями [2]. Деятельность человека, по выражению Махонина [8], не является минимальной. Функционирование системы такой сложности, как человек, определяется конечным полезным результатом. «Именно полезный результат составляет операционный фактор, способствует тому, что система в случае не-

достаточности данного результата может полностью реорганизовать положение своих частей в пространстве и во времени, что и обеспечивает необходимый в данной ситуации приспособительный результат организма» [2, с. 14].

Если интеграция изображений по орбитам групп Ли имеет место, то возникает задача выявления влияния этого уровня обработки информации на разнообразные феномены восприятия. Возможность, исходя из гипотезы, предложить меры субъективной сложности бессмысловых изображений и объяснить некоторые закономерности фрагментации стабилизированных фигур, уже была отмечена. Теперь покажем, что гипотеза позволяет объяснить некоторые закономерности угловых иллюзий.

Гоффман предпринял попытку [18] установить соответствие между перцептивными константами и инфинитезимальными операторами группы Ли на плоскости. Нам кажется, что нет достаточного количества данных, позволяющих сделать такой вывод. Стремление Гоффмана найти соответствие между группами Ли и всеми известными константами и прибавление новых перцептивных констант, пока не описанных в психологической литературе, вызывают сомнения.

Группа Лоренца, по мнению Гоффмана, является математическим аналогом перцептивной константы движения. По данным Бернса [17], скорость распространения возбуждения в блоке изолированной коры не превышает 2 м/с. Гоффман делает вывод: несмотря на неизвестные механизмы распространения сигнала в коре, скорость распространения импульса в коре не превышает некоторого предельного уровня C . Отсюда следует заключение, что в любой координатной системе возбуждение не может распространяться со скоростью, превышающей C . После этого нетрудно получить соответствие между константой движения и трансформацией Лоренца. Но из того факта, что скорость распространения возбуждения в коре не превышает некоторого предела (тривиальное утверждение), не следует, однако, что она в любой системе будет меньше C . Для получения трансформации Лоренца соблюдение последнего условия обязательно. Не может быть никакой аналогии с теорией относительности без соответствующего аналога эксперименту Майкельсона—Морли. Поэтому и переход к трансформации Лоренца не оправдан.

По предложению Гоффмана перцептивные константы объясняются восприятием по соответствующим орбитам групп Ли. На наш взгляд, дело обстоит гораздо сложнее. Например, исследования по константности формы явно указывают на роль глубины [1]. В тех случаях, где глубина не может играть роли, инвариантность к наклону незначительная.

Отказ от признания тесной связи между угловыми иллюзиями и константностью восприятия, на наш взгляд, не является

серьезным аргументом против применения аппарата групп Ли в объяснении закономерностей угловых иллюзий.

Отличие нашего метода описания угловых иллюзий от метода Гоффмана только в том, что мы отвергаем предложенную Гоффманом трактовку связи между перцептивными константами и угловыми иллюзиями.

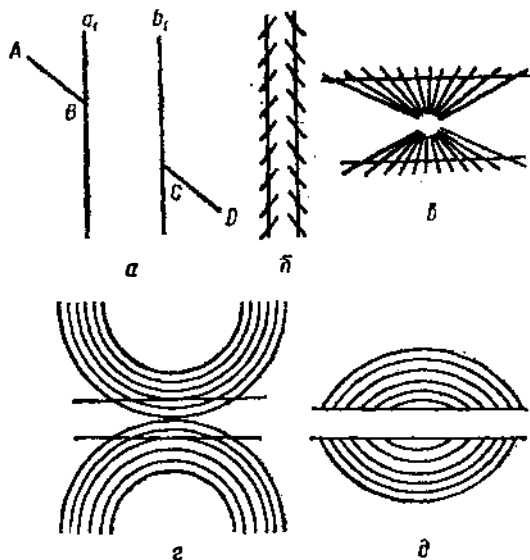


Рис. 1. Примеры угловых иллюзий

К угловым иллюзиям относятся иллюзии типа Поггендорфа, Геринга, Цёллера, Вундта.

Известно: если к двум вертикальным прямым примыкают отрезки диагональной прямой, как показано на рисунке 1а, то они выглядят смещенными от прямой, т. е. возникает иллюзия Поггендорфа.

Наше понимание иллюзии Поггендорфа таково. На восприятие ориентации AB и CD влияет соседство вертикальных прямых. Предполагается, что перцептивный образ изображения, состоящего из вертикальных прямых, интегрируется по горизонтальным прямым. Вместе с обходом прямой AD от A к D происходит формирование образа изображения по горизонтальным прямым слева направо. Благодаря отсутствию отрезка прямой от B до C продолжение AB из-за искажающего влияния интеграции образа по горизонтальным траекториям, уклоняется вправо. Отрезок кажется смещенным вниз от отношению к отрезку AB .

Наше понимание иллюзий типа Поггендорфа с формальной стороны приближается к пониманию Гоффмана [18]. По мне-

нию Гоффмана, чтобы математически выразить угловую иллюзию, необходимо идентифицировать линию, подвергнутую иллюзии, как орбиту некоторой константы, взять инфинитезимальный оператор, соответствующий этой орбите, и инфинитезимальный оператор, соответствующий другой константе, орбиты которой являются перпендикулярными к линиям, не подвергнутым иллюзии. Линейная комбинация инфинитезимальных операторов с определенным коэффициентом соответствует кажущейся ориентации линии. Первый инфинитезимальный оператор необходимо брать с большим весовым коэффициентом, чем второй.

Не отрицая полезности предположений Гоффмана [17] в построении теории, объясняющей константность восприятия, считаем, что в нынешнем виде эта теория не в состоянии объяснить константность восприятия. Поэтому объяснение иллюзии мы не связываем с теорией константности восприятия Гоффмана. Наше правило описания иллюзии состоит в следующем.

Установить инфинитезимальный оператор Ли, орбиты которого соответствуют искаженной иллюзией линии, и инфинитезимальный оператор, соответствующий семейству орбит Ли, по которым перцептивная структура остальной части изображения наиболее простая. Линейная комбинация инфинитезимальных операторов, с большим весом для первого оператора, выражает иллюзию рассматриваемого типа.

Применение общего принципа проиллюстрируем на примерах.

В случае иллюзии Поггендорфа первый инфинитезимальный оператор соответствует орбите AD (рис. 1а), т. е. имеет вид:

$$a \frac{\partial}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y}.$$

Если принять во внимание исключительную роль ортогональной системы координат [19] и все сказанное выше, есть основание полагать, что перцептивный образ изображения, состоящего из двух параллельных прямых, интегрируется по перпендикулярным к этим прямым орбитам. Поэтому орбиты второго инфинитезимального оператора являются горизонтальными прямыми. Инфинитезимальный оператор виртуальной линии BC имеет вид:

$$a \frac{\partial}{\partial x} - \varepsilon \frac{\partial}{\partial y} + t \frac{\partial}{\partial x},$$

где t — весовой коэффициент. Под виртуальной линией подразумевается продолжение направленного отрезка AB (или DC) в процессе восприятия изображения. Так как в действительности продолжение BC (или CB) не воспринимается, то назвали это продолжение виртуальным. Чтобы найти конкрет-

ный вид виртуальной линии, т. е. орбиту, соответствующую инфинитезимальному оператору, достаточно решить систему Пфаффа [10, 18]:

$$\frac{dx}{x_1(x_1y)} = \frac{dy}{x_2(x_1y)}, \quad (1)$$

которая в данном случае принимает вид:

$$\frac{dx}{a+t} = -\frac{dy}{b}.$$

Получаем решение:

$$y = \frac{-bx}{a+t} + c.$$

Расстояние d от точки пересечения виртуальной прямой с вертикальной прямой b_1 (или a_1) до точки c (соответственно B) выражает величину иллюзии Поггендорфа. После несложных преобразований выводим:

$$d = -l \frac{b}{a+t} - \left(-l \frac{b}{a} \right) = lb \frac{t}{a+t} \approx \frac{lb}{a} t, \quad a \gg t,$$

где l — расстояние между параллельными прямыми. Смещение приблизительно пропорционально как наклону диагональной прямой, так и расстоянию между прямыми, что соответствует действительности.

По методу Гоффмана [18], для иллюзии Поггендорфа смещение $d = 2kt$, где k — наклон диагональной прямой. Смещение

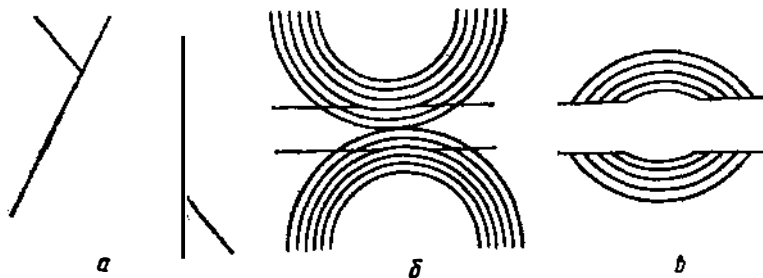


Рис. 2. а — вариант иллюзии Поггендорфа, б — вариант иллюзии Геринга, в — вариант иллюзии Вундта

пропорционально наклону, но пропорциональность расстоянию между прямыми не выполняется. Правда, Гоффман предполагает, что чем больше расстояние между параллельными прямыми, тем больше весовой коэффициент k . Сомнительно, что сила влияния двух параллельных прямых на наклонную линию

увеличивается с увеличением расстояния между ними. Например, исследование Гэнза [15] показывает, что величина смещения образа после действия прямой уменьшается с увеличением расстояния прямой от другой контурной фигуры.

Кроме того, неизвестно, как по методу Гоффмана корректно объяснить вариант иллюзии Поггендорфа, представляемый на рис. 2а. Если принять, что интеграция образа изображения, состоящего из двух диагональных линий, происходит по горизонтальным прямым, то объяснение этой иллюзии по нашему методу аналогично объяснению основного варианта иллюзии Поггендорфа.

В случае иллюзии Цёллнера (рис. 1б) параллельные вертикальные прямые выглядят непараллельными. Линейный оператор

$$\frac{\partial}{\partial y} + t \left(a \frac{\partial}{\partial x} + b \frac{\partial}{\partial y} \right),$$

соответствующий видимой ориентации вертикальной линии (рис. 1б), является линейной комбинацией операторов:

$$\frac{\partial}{\partial y} ; a \frac{\partial}{\partial x} + b \frac{\partial}{\partial y} ,$$

где второй оператор соответствует перпендикулярным к диагональным прямым орбитам, а первый оператор — вертикальной прямой.

Соответственно уравнению (1) получаем:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{ta} &= \frac{dy}{tb+1} , \\ y &= \frac{(tb+1)x}{ta} + c = \frac{b+A}{a} x + c, \\ A &= \frac{1}{t} > t. \end{aligned}$$

Иллюзия Геринга (рис. 1 в). Дифференциальный линейный оператор $\pm \frac{\partial}{\partial x}$ соответствует горизонтальным прямым (плюс — верхней, минус — нижней). Структура изображения, состоящего из радиальных прямых, проще всего выражается по орбитам группы поворотов, т. е. по окружностям. Инфинитезимальный оператор группы поворотов имеет вид:

$$-x \frac{\partial}{\partial y} + y \frac{\partial}{\partial x} .$$

Итак, линейная комбинация операторов принимает вид:

$$\pm \frac{\partial}{\partial x} + t \left(-x \frac{\partial}{\partial y} + y \frac{\partial}{\partial x} \right), \quad t < 1.$$

А такой вид принимает система Пфаффа:

$$\frac{dx}{\pm 1 + ty} = - \frac{dy}{tx}.$$

После несложных вычислений получаем:

$$x^2 + \left(y \pm \frac{1}{t}\right)^2 = \text{const.}$$

Верхняя прямая видна как дуга окружности, центр которой в точке с координатами $\left(0, -\frac{1}{t}\right)$; нижняя прямая — как дуга с центром $\left(0, \frac{1}{t}\right)$. Так как кажущееся искривление прямых небольшое, то $t \ll 1$.

Отметим, что в двух последних случаях наш выбор инфинитезимальных операторов совпал с выбором Гоффмана [18]. Наконец, рассмотрим второй вариант иллюзии Геринга (рис. 1 г) и иллюзию Вундта (рис. 1 д). Предполагается, что перцептивный образ семейства окружностей с центром в некоторой точке формируется в целостное образование по орбитам группы гомотетии, так как структура семейства окружностей по этим орбитам наиболее простая. Линейная комбинация дифференциальных операторов для иллюзии Вундта и второго варианта иллюзии Геринга имеет вид:

$$\pm \frac{\partial}{\partial x} \pm t \left(x \frac{\partial}{\partial x} + y \frac{\partial}{\partial y} \right).$$

В случае иллюзии Вундта первому квадранту соответствует расположение знаков $(++)$, второму квадранту $(-+)$, третьему $(--)$, четвертому $(+-)$, а для иллюзии Геринга $(+-)$, $(--)$, $(-+)$, $(++)$.

Решив дифференциальное уравнение

$$\frac{dx}{\pm 1 \pm tx} = \frac{dy}{\pm ty},$$

получаем:

$$y = c(tx \pm 1).$$

Знак плюс соответствует первому и третьему квадрантам, минус — второму и четвертому для иллюзии Вундта, а для иллюзии Геринга — плюс соответствует второму и четвертому, минус — первому и третьему квадрантам. Абсолютные значения констант для первых двух квадрантов одинаковые, но отличаются по знаку. То же самое справедливо и по отношению к третьему и четвертому квадрантам.

Итак, горизонтальные прямые должны выглядеть ломанными в точках x , координаты которых равняются нулю. Мы ско-

рее видим ровную, чем ломаную линию. Тому причиной, по-видимому, наличие в зрительной системе локальных детекторов кривизны. Вместо переломов в центре прямых видим поворот полупрямых в сторону, предсказанную гипотезой. Варианты иллюзий, показанных на рисунках (2б и 2в), подтверждают это.

Более детальная проверка адекватности рассматриваемого подхода требует экспериментальных исследований.

Вильнюсский государственный
университет им. В. Капсукаса
Кафедра психологии

Получено
15.III 1980

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ананьев Б. Г., Дворяшина М. Д., Кудрявцева Н. А. Индивидуальное развитие человека и константность восприятия.— М.: Просвещение, 1968.
2. Анохин П. К. Теория функциональной системы.— В кн.: Кибернетические аспекты в изучении работы мозга. М., 1970, с. 6—43.
3. Беляков-Бодин В. И. Нахождение инвариантов группы гомотетии для распознавания образов.— В кн.: Работы по технической кибернетике. М., 1971, вып. 3, с. 3—23.
4. Васильев В. А., Реуцкий В. Ю. Описание изображений интегральными контурными функциями.— Автоматика. Киев, 1967, № 2, с. 15—32.
5. Ганзен В. А., Грановская Р. М. Об одном способе количественной оценки сложности контура.— В кн.: Проблемы инженерной психологии. Л., 1965, с. 120—126.
6. Грегори Р. Л. Глаз и мозг.— М.: Прогресс, 1970.
7. Мартишюс В. Ю. Исследование восприятия многомерных сигналов методом субъективных мер: Автореф. канд. дис.— Л.: ЛГУ, 1977.
8. Махонин В. А. О психоморфизме в автоматике.— М.: Наука, 1971.
9. Новиков А. Распознавание образов с помощью интегральной геометрии.— В кн.: Принципы самоорганизации. М., 1966, с. 428—452.
10. Файн В. С. Опознание изображений.— М.: Наука, 1970.
11. Флейвелл Д. Х. Генетическая психология Жаана Пиаже.— М.: Просвещение, 1967.
12. Attneave F. Physical determinants of judged complexity of shapes.— J. Exp. Psychol., 1957, vol. 55, N 4, p. 221—227.
13. Dick A. V. Visual hierarchal feature processing: the relation of size, spatial position and identity.— Neuropsychologia, 1972, vol. 10, N 2, p. 171—177.
14. Experimental researches on the structure of the perceptual space.— Bull. Fac. Lit. Kyushu Univ. / Ed. Akishige, 1965, N 9.
15. Ganz L. Mechanism of the figural after-effects.— Psychol. Rev., 1966, vol. 73, N 2, p. 128—150.
16. Gibson J. J. The Senses Considered as Perceptual Systems.— N. Y., 1966.
17. Hoffman N. C. The Lie algebra of visual perception.— J. Math. Psychol., 1966, vol. 3, N 1, p. 65—98.
18. Hoffman W. C. Visual illusions of angle as an application of Lie transformation groups.— SIAM Rev., 1971, vol. 13, N 2, p. 169—184.
19. Howard I. P., Templeton N. B. Human Spatial Orientation.— London, 1966.
20. Mackay D. M. Visual noise as tool of research.— J. Gen. Psychol., 1965, vol. 72, N 2, p. 181—197.
21. Neisser T. Cognitive Psychology.— N. Y., 1967.

REGIMŲJŲ VAIZDŲ INTEGRACIJA IR KAMPINĖS ILIUZIJOS

V. MARTISIUS

Reziümė

Kampinės iliuzijos aiškinamos, remiantis hipoteze, kad vienas iš suvokinio formavimosi lygių yra vaizdų integravimas pasukimo, translacijos ir homotetijos grupių orbitomis.

THE INTEGRATION OF VISUAL IMAGES AND ANGULAR ILLUSIONS

V. MARTISIUS

Summary

The hypothesis that one of the formation levels of images is the integration of images by orbits of translation, rotation and dilation groups enables us to explain angular illusions.