

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ОБОБЩЕННОЙ ГОЛОГРАФИИ К ПРОБЛЕМЕ СИНТЕЗА ОБРАЗОВ

Главная особенность психических форм отражения внешнего мира — их образный характер. Следы внешних воздействий используются субъектом в синтетической форме чувственных образов, представляющих собой целостное, системное образование в отраженном [1, 2]. Под субъектом в широком смысле слова психологи понимают носителей психического отражения и поведения, т. е. животных и человека, причем вследствие ассоциативных свойств памяти возникновение образа в отраженном не всегда соответствует объективному существованию системы элементов в отображаемом. Эти ассоциативные свойства мозга, представляя собой основу для отражения всеобщей взаимосвязи явлений во внешнем мире, являются одновременно источником возможных искажений объективно существующих форм связи объектов среды в отраженном.

Не всякий способ объединения элементов отображенного в целостный образ пригоден с точки зрения того, что подобное объединение не должно исключать возможность раздельного восприятия элементов образа [2]. Синтез образа не должен иметь характер пространственно-временного интегрирования с потерей информации. Для выполнения этого условия нервная система должна иметь определенную начальную организацию, заданную в виде некоторого класса возможных способов взаимодействия элементов структуры нервной системы. В настоящей работе показана возможность использования идей обобщенной голографии при анализе способов синтеза психических образов в нервной системе.

Основой голографии как метода обратимой регистрации волны является введение дополнительного опорного пучка, чаще всего в виде плоской или сферической волны. Класс волновых фронтов, с помощью которых можно получить голограмму, существенно расширяется, если принять во внимание условия, которым должен удовлетворять опорный пучок. Автосвертка или автокорреляция функции, описывающей пространственную структуру источника опорного пучка, должна иметь вид двумерной дельта-функции либо фигуры с одним максимумом, настолько резко выраженным, что ею можно было бы аппроксимировать

дельта-функцию. Если ввести понятие опорного предмета, более широкое, чем понятие опорного пучка, то класс опорных пучков можно расширить и дальше. Голограмму с опорным предметом в отличие от обычной можно назвать обобщенной [3, 4].

Одна из важных особенностей голографического способа записи сигналов — распределенный характер представления информации об отдельных точечных элементах изображения. Это позволяет восстановить по фрагменту нетренированной голограммы полное изображение объекта [4]. С последним свойством связана возможность дальнейшего расширения области применимости голографических принципов для систем, в которых осуществляется распределенное пространственное кодирование. В частности, можно рассмотреть аналог голограммы в пределах геометрической оптики, где волновые свойства света несущественны.

В общем случае операция линейного кодирования для однородных и неоднородных кодов записывается в виде интегрального преобразования

$$U(\vec{x}) = \iiint_{R^3} G(\vec{x}, \vec{x}') I(\vec{x}') d\vec{x}', \quad (1)$$

где \vec{x}' — точка (x', y', z') исходного пространственного изображения;

\vec{x} — точка закодированного изображения в выходной области пространства;

$G(\vec{x}, \vec{x}')$ — функция рассеяния точки кодирующей системы;

$I(\vec{x}')$ — функция, описывающая кодируемый пространственный объект.

В результате такого интегрального преобразования исходная функция $I(\vec{x}')$ переходит в интегральный образ $U(\vec{x})$. Здесь G — ядро интегрального преобразования, зависящее от параметра \vec{x} . Обратный переход к прообразу можно записать в виде аналогичного соотношения

$$I(\vec{x}') = \iiint_{R^3} U(\vec{x}) G_{\text{обр}}(\vec{x}, \vec{x}') d\vec{x}, \quad (3)$$

где $G_{\text{обр}}(\vec{x}, \vec{x}')$ — интегральное ядро преобразования, обратного преобразованию (1).

Существует класс интегральных ядер G , которые обладают свойством $G_{\text{обр}} = G$ или $G_{\text{обр}} = G^*$, т. е. прямое и обратное преобразования осуществляются с помощью одного и того же интегрального ядра, называемого ядром Фурье. Общая теорема, определяющая условия обратимости линейных преобразований, не сформулирована. Достаточным условием обратимости интеграль-

ного преобразования типа свертки для ядер $G(\vec{x} - \vec{x}')$, зависящих только от разности $(\vec{x} - \vec{x}')$:

$$U(\vec{x}) = \iiint_{R^3} I(\vec{x}') G(\vec{x} - \vec{x}') d\vec{x}', \quad (3)$$

является условие

$$G_{\text{обр}}(\vec{x}) * G(\vec{x}) = \delta(\vec{x}), \quad (4)$$

т. е. свертка интегрального ядра с самим собой равна дельта-функции Дирака.

Примером неоднородного линейного кодирования пространственных изображений является способ получения некогерентных, так называемых трафаретных, голограмм. Для получения этих голограмм используются апертурные маски в виде готового трафарета голограммы точки — зонной пластинки Френеля, которая располагается между предметом и фотопластинкой [4]. В такой системе каждая точка предмета отбрасывает тень (образует центральную проекцию) в виде зонной пластинки, и эти тени от всех точек предмета накладываются одна на другую. Чтобы получить трафаретную голограмму, не нужны линзы и монохроматические источники света. При этом рассеивается непосредственно интенсивность света, пропорциональная квадрату амплитуды сигнала.

Способы распределенного кодирования легко осуществить в нервных структурах с широко разветвленной системой возбуждающих и тормозящих связей. Иными словами, если иррадиация возбуждения и торможения будет осуществляться по такому закону, что функция, описывающая эту иррадиацию, будет иметь автокорреляционную функцию, близкую к дельта-функции, то при подобном распределенном кодировании не будет потеряна информация (например, о пространственном расположении элементов исходного изображения).

Функциональная аналогия нервных и голографических систем, отмеченных в целом ряде работ, широко используется при построении голографических моделей нервной системы [5—8].

Помимо известных функциональных голографических моделей, интересно рассмотреть модели, которые учитывают многие данные о структуре нервных образований, полученные при микроэлектродных и морфологических исследованиях. В большинстве голографических моделей в явной или неявной форме используется предположение о существовании в нервных структурах распространяющихся волн — так называемых волн активности. Это предположение необходимо для объяснения условий возникновения в нервной системе устойчивой картины активности, аналогичной интерференционной картине. Из сказанного выше о возможностях распределенных пространственных кодов следует, что для построения моделей нервной системы, близких по

своим функциональным особенностям к голографическим, нет необходимости предполагать существование волн активности, наличие которых весьма спорно. Для этого вполне достаточно использовать хорошо известные особенности нервных структур. Специальные виды иррадиации возбуждения и торможения, обнаруженные при исследовании рецептивных полей зрительного и других анализаторов, можно оценить как механизмы, обеспечивающие фильтрацию и распределенное кодирование сенсорной информации.

Как правило, нейронные сети представляют собой слоистые структуры. Типичным примером является зрительная система животных. Так, сетчатка состоит из трех нейронных слоев: рецепторных клеток с горизонтальными клетками, биполярных клеток с амакриновыми клетками и ганглиозных клеток. Выходящий из сетчатки зрительный нерв попадает в колленчатом теле на следующие нейронные слои, и, наконец, зрительная информация достигает коры головного мозга, которая также состоит из множества слоистых структур. Нейронные слоистые структуры соединены не только одна с другой. Внутри слои имеют свои, латеральные связи. Изучение передачи и обработки информации такими структурами затруднено из-за сложности нервной системы, а часто и полного отсутствия сведений о ее структуре. В теории систем однородных слоев поставлена задача описания достаточно сложных слоистых структур простыми приемами [9, 10]. Интегро-дифференциальные операции, осуществляемые в различных нервных слоях, в линейном приближении описываются соотношениями, подобными (1). Характер осуществляемого преобразования (фильтрация, кодирование — декодирование) определяется ядром интегрального преобразования (1). Таким образом, приближенное представление различных слоев нервных клеток в виде однородных и неоднородных непрерывных сред, с одной стороны, и данные о тонких структурных и функциональных особенностях этих слоев, с другой — позволяют формализованно рассматривать любые аналогии между голографическими и нервными системами. Основные предпосылки использования голографических аналогий при описании нервных систем обусловлены данными физиологических исследований [11, 12]. В частности, установлена зависимость функциональных нарушений в нервной системе от количества разрушенной нервной ткани и независимость нарушений от места разрушения. Эта зависимость обобщена в виде:

1) закона действия масс, согласно которому функциональные нарушения пропорциональны массе поврежденной ткани головного мозга;

2) закона равнозначности, по которому функциональные нарушения не зависят от места повреждения.

Первоначально эти законы были сформулированы после многочисленных безуспешных попыток в процессе нейрофизиологи-

ческих исследований экспериментально выделить определенные части мозга, участвующие в распознавании образов. Некоторые виды голограмм включают оба закона в упрощенной форме. Так, эксперименты показали, что чем меньше участок голограммы, используемый для восстановления изображения, тем меньше отношение сигнал/шум (это качественно моделирует первый закон). Кроме того, любой небольшой участок голограммы, площадь которого превосходит определенный минимум, позволяет восстановить изображение первоначального объекта. Это указывает на проявление свойства распределенности, качественно совпадающего со вторым законом.

Ассоциативные свойства и связанные с ними способности нервной системы к прогнозированию легко воспроизводятся в голографических моделях именно благодаря распределенности голографических кодов. Еще одним преимуществом голографической интерпретации методов обработки информации в нервных структурах является, как и в нервной системе, практически одновременная обработка исходной информации по всему полю входного многомерного сигнала. Голографическая система не нуждается в операциях сканирования изображения, что согласуется с известным, свойственным нервной системе, принципом параллельной обработки информации, поступающей по многим входным каналам анализаторов.

Рассмотрев функциональную аналогию нервных и голографических систем и выяснив структурные особенности нервных систем, проанализируем образы как целостные образования в отраженном. Целостность образа является для организма необходимым средством выражения качественной обособленности и устойчивости объектов внешней среды. Различимость отдельных элементов воспринимаемого образа обеспечивает условия адекватного поведения организма в среде. М. Борн предлагал целостный психический образ «приравнять к математическому понятию «инвариант» и говорить об «инвариантах восприятия» как элементах нашего духовного мира» [13, с. 282].

Инварианты восприятия, образы как нечто остающееся в восприятии неизменным необходимы живым организмам для успешного целенаправленного поведения. Единственный способ выявить инварианты — это осуществить ряд преобразований объекта, которые соответствуют его возможным изменениям при воздействиях извне. Вероятно, формирование образа как целого в отраженном и последующее его разностороннее преобразование для выявления инвариантного содержания и есть способ функционирования нервной системы организмов, способных к обучению.

Известные механизмы формирования последовательных зрительных образов [14] и различные виды движения глаз при зрительном восприятии можно оценить как конкретные элементы деятельности нервной системы, действия в целях получения зри-

тельных образов — инвариантов. Однако необходимо выяснить, чем является именно целостность образа, что скрывается за интуитивно понимаемым целым и каковы критерии последнего. Наиболее конструктивным следует считать путь рассуждений от критериев целостности отображаемых объектов внешнего мира к соответствующим критериям для образов этих объектов в отображенном.

Отображаемый материальный предмет объективно представляет собой нечто целое, если элементы этого предмета связаны отношениями, которые определяют состояние и изменение всех его элементов, а также само существование предмета. Подобные отношения элементов можно назвать существенными, тем самым подчеркнув их роль в существовании предмета как такового. Соответственно несущественными следует назвать отношения, которые не влияют на состояние отдельных элементов их множества и не обязательны для существования некоторого предмета.

Итак, в качестве объективного критерия целостности множества взаимодействующих предметов можно использовать существенность совместного, суммарного влияния всех предметов на каждый отдельный предмет множества. Приведенный качественный критерий целостности можно конкретизировать и довести до количественной оценки.

В общем случае результат совместного влияния всех материальных предметов множества в некоторой точке пространственно-временной области, в которой находятся все указанные предметы, описывается в виде интегрального соотношения, подобного выражению (1):

$$U(\vec{x}, t) = \iiint_{R_i} \int_{-\infty}^t G(\vec{x}, \vec{x}', t, t') J(\vec{x}', t') d\vec{x}' dt'. \quad (5)$$

Здесь $G(\vec{x}, \vec{x}', t, t')$ — функция, описывающая характер влияния каждого из элементов множества на окружающую область и их вклад в суммарное влияние $U(\vec{x}, t)$ всех элементов во всякой точке области;

$J(\vec{x}', t')$ — функция, учитывающая расположение и вес элементов множества в различные моменты времени.

Реальные объекты могут одновременно находиться в различных отношениях R_i друг с другом, и каждому из этих отношений можно поставить в соответствие свою особую функцию влияния $G_i(\vec{x}, \vec{x}', t, t')$. Для любой из этих функций с помощью соотношения (5) следует найти величину суммарного влияния $U_i(\vec{x}, t)$ в любой точке рассматриваемой области. Роль различных отношений может оказаться неодинаковой, так что некото-

рыми отношениями можно пренебречь. Посредством существенного отношения элементы множества объединены в систему. Количественным критерием целостности, «системности» группы элементов, находящихся в некотором отношении R_i , служит величина $U_i(\vec{x}, t)$, превышающая некоторое установленное, например какое-то пороговое $U_{i \text{ пор}}$, значение. Другими словами, элементы множества объектов при помощи данного отношения включены в целое и являются элементами системы, если они оказываются в области, где $U_i(\vec{x}, t) \geq U_{i \text{ пор}}$. Элементы, находящиеся в области, где $U_i(\vec{x}, t) < U_{i \text{ пор}}$, не принадлежат данной системе. Аналогичные рассуждения можно провести для любого существенного отношения (или их группы) в множестве объектов. При этом посредством различных существенных отношений одни и те же элементы множества могут включаться в различные системы.

Целостность материальных систем определяется очень многими конкретными отношениями. Однако в системах отображения фиксируются лишь некоторые свойства и отношения элементов материальных объектов, в том числе и несущественные для отображаемых объектов, но существенные по какой-либо причине для отображающих объектов. Указанная способность отображающих систем фиксировать несущественные отношения и возводить их в ранг существенных в отображаемом принципиально важна для понимания сущности проблемы синтеза образов и трактовки последних как целостных образований в отображенном. Отношения, устанавливаемые внутри отображающей системы, могут иметь совершенно иную природу и отражать лишь внешнее проявление существенных отношений элементов отображаемых объектов. Тем не менее возможность адекватного отражения при этом сохраняется [1, с. 178], но появляется также вероятность неадекватного отражения вследствие специфичности структуры отображающего [15]. Независимо от того, каким отношениям отображаемого поставлены в соответствие отношения в отображающем, существенность последних и их роль в формировании образа как целого следует оценивать аналогично целостным материальным системам. Распределенные пространственные коды, рассмотренные в настоящей работе, возможно, позволят объяснить механизмы формирования целостных нервных образов. Так, в силу своей распределенности эти коды обеспечивают взаимосвязь всех нервных элементов, участвующих в отображении входного сигнала. Если при этом все элементы находятся в сфере взаимного влияния, то суммарное действие на один из них со стороны всех остальных может быть значительным.

ВЫВОДЫ

1. Если образ есть целое, то по аналогии с материальными системами его можно рассматривать как такое состояние отображающего субстрата, при котором элементы последнего объединяются под влиянием отображаемого в систему. Если при этом всякому отображаемому ставится в соответствие свой закон взаимосвязи элементов, то, как в голограмме и ее обобщенных вариантах, становится возможным отображение и раздельное воспроизведение многих объектов на одном и том же носителе.

2. Механизм движения глаз животных может обеспечить необходимый способ оригинального кодирования каждого входного сигнала (например, при формировании зрительного образа). Эти движения обеспечивают многократное предъявление одного и того же зрительного сигнала проекционной зоне коры зрительного анализатора во многих ракурсах. Таким образом, способ распределения информации задается самой формой входного изображения, разной для каждого изображения.

3. При движении глаз учитываются контуры изображения и взгляд фиксируется вблизи контура изображения [16]. Это свойство зрительной системы фактически обеспечивает распределение каждой точки изображения на целую область проекционной зоны зрительной коры по закону, повторяющему форму самого изображения. Это распределение, происходящее преимущественно в точках контура одного из ракурсов изображения, обеспечивает осуществление процедуры, являющейся нервным аналогом вычисления автокорреляционной функции.

4. Автокорреляционная функция для большинства контурных изображений и любых дискретизированных по случайному знакопеременному закону неконтурных изображений имеет один или несколько резко выраженных максимумов. Эти максимумы, например в виде зон с повышенной нервной активностью, могут сигнализировать в зрительной системе о завершении формирования зрительного образа для последующего запоминания или распознавания либо являться результатом, фиксируемым в длительной памяти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тютин В. С. Отражение, системы, кибернетика. М., «Наука», 1972. 256 с.
2. Бахтигозин В. А., Бугай Ю. П. Математическая модель пространственного кодирования в зрительном анализаторе. — В сб.: Проблемы бионики. Вып. 8. Харьков, 1972, с. 52—55.
3. Строук Дж. Введение в когерентную оптику и голографию. М., «Мир», 1967. 347 с.
4. Сороко Л. М. Основы голографии и когерентной оптики. М., «Наука», 1971. 616 с.
5. Суайгерт К. Дж., Фогельгут П. О. Пространственная фильтрация в модели нейронной сети. — В сб.: Модели нейронных структур. М., «Наука», 1970, с. 244—265.
6. Westlake P. R. The Possibilities of Neural Holographic Processes with in the Brain. — «Kybernetik», Bd 7, N 4, S. 129—153.
7. Barrett T. W. Holography, Information Theory and Cerebral Cortex. — «Mathematical Biosciences». vol. 9, p. 49—60.
8. Габор Д. Ассоциативная голографическая память. — «Зарубежная радиоэлектроника», 1970, № 4, с. 61—67.
9. Бугай Ю. П. Исследование нейроподобных элементов и систем как устройства первичной переработки информации. Автореф. канд. дис. Харьков, 1968. 27 с.
10. Marko H. Die Sistemtheorie der homogenen Schichten. Mathematische Grundlagen. — «Kybernetik», Bd 5, N 6, S. 221—240.
11. Лешли К. С. Мозг и интеллект. М. — Л., Госэнергоиздат, 1933. 222 с.
12. Pribram K. H. The Neurophysiology of Remembering. — «Scientific American», 1969, vol. 22, N 1.