

Список литературы: 1. Чирейкин Л. В., Шурыгин Д. Я., Лабутин В. К. Автоматический анализ электрокардиограмм.—Л.: Медицина, 1977.—248 с. 2. Мельников В. Г. Медицинская кибернетика.—Киев: Вища школа, 1978.—240 с. 3. Tamura S., Niguchi S., Tanaka K. Pattern classifications based on fuzzy Relations. IEEE Trans. Systems, man and Cybernetics, SMC—1, № 1, 1977, p. 61—66. 4. Bellman R., Kaballa R., Zadeh L. Abstraction and Pattern Classification—Journ. of Mathematical, Analysis and Applications, vol. 13 № 1, January, 1966, p. 1—7.

Поступила 7 марта 1980 г.

УДК 612.84; 62.506.2

Ю. И. НЕФЕДОВ, канд. техн. наук, В. П. ШАПКИН

О МЕХАНИЗМЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИЗНАКОВ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Рецептивные поля зрительного анализатора реагируют на определенные пространственно-временные сигналы. Функционирование рецептивных полей основано на взаимодействии процессов возбуждения и торможения в пространстве и во времени. Обнаружены рецептивные поля, имеющие сходные функциональные свойства, но отличающиеся структурно-функциональной организацией (рис. 1). Известны, например, круговые поля — детекторы контуров с центральными оп- или off-зонами и окружающими их off- или оп-областями, соответственно [1]. Причем между оп- и off-зонами поля существует взаимно тормозное взаимодействие. В зрительной коре млекопитающих найдены клетки с простыми рецептивными полями, имеющими вытянутые оп- и off-области. Обнаружено такое же количество простых полей с противоположно направленными оп- и off-зонами [2]. Простые рецептивные поля реагируют на прямые линии и световые границы со специфической ориентацией и положением. У 75% выходных нейронов простых рецептивных полей изменение контраста световой границы (т. е. поворот стимула на 180°) на входе поля приводило к изменению положительных компонентов реакции на отрицательную [3]. Свойства этих клеток можно объяснить тремя видами связей коркового нейрона с ганглиозными клетками [3]. Однако 25% клеток зрительной коры отвечают совершенно идентичными реакциями при изменении контраста световой границы. Свойства последних нельзя объяснить таким же простым механизмом.

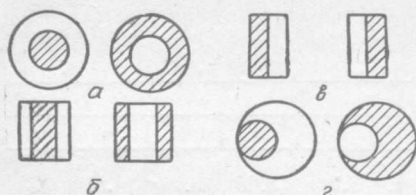


Рис. 1.

Известные нейрофизиологические данные не дают ответа на два важных вопроса: какова роль полей, имеющих противоположно расположенные оп- и off-зоны и идентичные функциональные свойства? Ответ на эти вопросы имеет значение для понимания механизмов обработки информации в зрительной системе. Известно, что рецептивные поля зрительной коры имеют сложную организацию. Обнаружены рецептивные поля, имеющие сходные функциональные свойства, но отличающиеся структурно-функциональной организацией (рис. 1). Известны, например, круговые поля — детекторы контуров с центральными оп- или off-зонами и окружающими их off- или оп-областями, соответственно [1]. Причем между оп- и off-зонами поля существует взаимно тормозное взаимодействие. В зрительной коре млекопитающих найдены клетки с простыми рецептивными полями, имеющими вытянутые оп- и off-области. Обнаружено такое же количество простых полей с противоположно направленными оп- и off-зонами [2]. Простые рецептивные поля реагируют на прямые линии и световые границы со специфической ориентацией и положением. У 75% выходных нейронов простых рецептивных полей изменение контраста световой границы (т. е. поворот стимула на 180°) на входе поля приводило к изменению положительных компонентов реакции на отрицательную [3]. Свойства этих клеток можно объяснить тремя видами связей коркового нейрона с ганглиозными клетками [3]. Однако 25% клеток зрительной коры отвечают совершенно идентичными реакциями при изменении контраста световой границы. Свойства последних нельзя объяснить таким же простым механизмом.

Известные нейрофизиологические данные не дают ответа на два важных вопроса: какова роль полей, имеющих противоположно расположенные оп- и off-зоны и идентичные функциональные свойства? Ответ на эти вопросы имеет значение для понимания механизмов обработки информации в зрительной системе.

ные свойства, при распознавании; как формируются рецептивные поля 25% клеток зрительной коры с одинаковыми реакциями на световые стимулы, имеющие противоположный контраст?

Ответ на эти вопросы может дать диалектический метод исследования, рассматривающий взаимодействие противоположных частей системы (единство и борьбу противоположностей) как внутреннее содержание процесса развития.

Устойчивое функционирование нервной и мышечной систем осуществляется посредством «антагонистического» взаимодействия процессов возбуждения и торможения в пространстве и во времени. В рецептивных полях зрительного анализатора это взаимодействие может вызвать по крайней мере два эффекта: во-первых, характеристики пространственно-временных сигналов, на которые реагирует рецептивное поле, будут строго ограничены; во-вторых, реакция на данные сигналы будет кратковременной, т. е. возникает адаптация, связанная с уменьшением активности. Единство противоположных частей рецептивного поля (суммация оп- и off-ответов) и их «антагонистическое» взаимодействие в сочетании с пространственной анизотропией структуры поля обеспечивает адаптацию к неизменяющимся на сенсорном входе сигналами и детектирование определенных элементов сенсорной информации. Такая структурно-функциональная организация рецептивных полей обнаруживается на всех уровнях зрительного анализатора. Можно по аналогии распространить подобный принцип взаимодействия функционально противоположных частей системы на более сложные структуры, образуемые конвергенцией рецептивных полей с противоположными пространственно-временными характеристиками (рис. 1.). Это позволит предсказать их возможное функциональное назначение в процессе распознавания и объяснить механизм формирования рецептивных полей с одинаковыми реакциями на световые сигналы противоположного контраста.

Рассмотрим гипотетическую модель структуры (рис. 2.), образованной конвергирующими на один суммирующий нейрон (Σ) двумя простыми рецептивными полями (A и B), пространственно совмещенными друг с другом в плоскости xu проектируемого изображения. Поля A и B имеют противоположное расположение областей с оп- и off-ответами. Поэтому на выходе суммирующего элемента (Σ) возникает одинаковая реакция на включение и выключение света в любой части поля (т. е. оп- и off-ответ). Найдем реакцию данной структуры, на светлую полосу шириной b , ориентация которой изменяется на угол α . Пусть в начальный момент времени светлая полоса закрывает всю центральную область структуры шириной b (т. е. $\alpha_{t=0} = 0$). Будем считать, что изменение ориентации полосы происходит за время, значительно меньшее длительности оп-off ответов, а величина реакции при точечной стимуляции равна I_0 . При данных условиях ответ суммирующего элемента на изменение ориента-

дни полосы можно представить в виде произведения I_0 и площади поля, на которой изменилась освещенность при повороте полосы. На рис. 3,а показана проекция полей A и B на плоскость xy , где указанная площадь заштрихована. Причем на участках, отмеченных двойной штриховкой, произошло включение света (в поле B), а простой штриховкой — выключение света (в поле A). Нетрудно заметить, что вся площадь заштрихованной области равна площади центральной зоны рецептивной области поля. Так как оп- и off-ответы суммируются, то реакция на изменение ориентации полосы света будет оп-off-типа и наибольшая

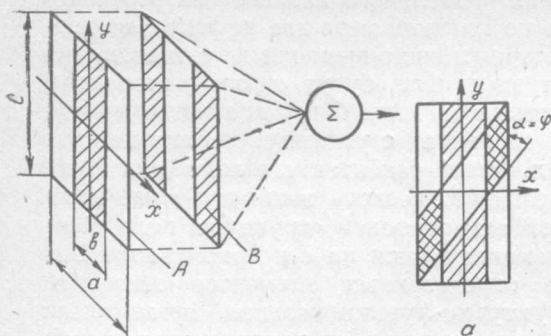


Рис. 2.

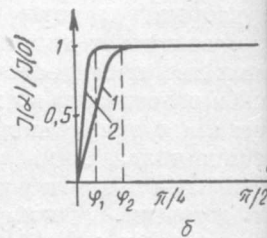


Рис. 3.

по величине, равная реакции $I(0)$ на включение или выключение полосы в центральной зоне поля. Простой расчет позволяет найти величину реакции, как функцию угла α :

$$I(\alpha) = I_0 \left(\frac{ab - 2b^2}{\sin \alpha} + bc \right). \quad (1)$$

Здесь a, b, c — константы, определяющие размеры поля (рис. 2). Из полученного соотношения следует, что при равенстве площадей оп- и off-зон ($a = 2b$) реакция принимает наибольшее значение: $I_{\max} = I_0 bc$ (2).

В этом случае угол поворота α может принимать любые значения, лежащие в пределах $\varphi \leq \alpha \leq \pi - \varphi$, где φ — некоторый минимальный угол поворота (рис. 3), зависящий от отношения длины поля c к его ширине a . При увеличении отношения c/a угол φ уменьшается. На рис. 3,б приведены полученные аналитически графики зависимости от угла α отношения реакции $I(\alpha)$ к наибольшей реакции $I(0)$ для случаев $c/a = 3$ (кривая 1), $c/a = 6$ (кривая 2).

Анализ решений для случаев $\alpha_{t=0} \neq n\pi$, $\alpha_{t=0} + \alpha \neq n\pi$, где $n = 0, 1, 2 \dots$, т. е. при отличной начальной и конечной ориентациях полосы света и центральной зоны поля, показывает, что по величине реакция на изменение ориентации стимула во много раз меньше ее максимального значения (2).

Результаты проведенных исследований позволяют дать ответ на поставленные выше вопросы и сделать вывод о функциях рассмотренной модели рецептивного поля, образованного конвергенцией двух простых рецептивных полей с противоположно расположенными оп- и off-зонами. Данное поле отвечает наибольшей реакцией на изменение ориентации полосы от положения, при котором полоса покрывает центральную область поля, т. е. при котором ориентации стимула и поля совпадают. Включение и выключение света в центральной части поля вызывает такой же ответ. Аналогичная реакция возникает и при движении через поле полосы или прямолинейной световой границы, ориентация которых совпадает с ориентацией поля. При этом изменение контраста ходных сигналов на противоположный не приводит к изменениям ответов. Таким образом, данное рецептивное поле можно рассматривать как детектор изменения ориентации прямых линий от заданного значения (новизны ориентации) и как детектор ориентированных прямых линий.

Можно сформулировать гипотезу о назначении рецептивных полей с противоположной структурно-функциональной организацией (рис. 1): данные поля, совмещенные друг с другом в плоскости изображения, конвергируя образуют структуру, детектирующую изменения (новизну) таких пространственно-временных признаков изображений, на которые избирательно реагирует каждое из полей.

Применение подобных детекторов новизны в устройствах распознавания зрительных образов может привести к существенному сокращению описания изображений.

В устройствах распознавания зрительных образов сокращение описания изображений обычно осуществляется путем выделения характерных признаков, на базе которых возможна идентификация образов. При анализе динамически изменяющейся визуальной информации повторяющиеся данные о выделенных признаках избыточны. Кратковременное запоминание набора признаков и выделение детекторами новизны их изменений позволит устранить поток данных об элементах изображений не меняющих пространственно-временные характеристики. Такое уплотнение информации должно привести к экономии усилий (уменьшению числа операций) при распознавании, увеличению пропускной способности канала передачи данных и к сокращению времени распознавания изображений.

Список литературы 1. *Wiesel T. N.* Receptive fields of ganglion cells in the cat's retina.— *Journ. Physiol.*, 1960, 28, p. 583—594. 2. *Hubel D. H., Wiesel T. N.* Receptive fields of single neurons in the cat's striate cortex.— *Journ. Physiol.*, 1959, 148, p. 574—591. 3. *Бернс Б.* Неопределенность в нервной системе. Пер. с англ.— М.: Мир, 1969.—251 с. 4. *Barlow H. B., Hill R. M., Levick W. R.* Retinal ganglion cells responding selectively to direction and speed of image motion in the rabbit.— *Journ. Physiol.*, 1964, 173, p. 377—398.

Поступила 23 февраля 1980 г.