

В большинстве случаев благодаря гибкости и практичности вторая методика преимуществ первой. Строго говоря, первую методику можно считать некоторым крайним случаем второй.

ВЫВОДЫ

1. Задача распознавания сводится к тому, чтобы обучить систему S вычислять некоторую функцию $f_R(x)$. Последняя определяется на множестве G и принимает конечное число значений. Функция $f_R(x)$ однозначно представляет некоторое разбиение R . Функции $f_R(x)$ и $\varphi_R(x)$ считаются одинаковыми, если представляют одно и то же разбиение.

2. При обучении система S воспринимает серию обучающих пар $(x_1, f_R(x_1)), (x_2, f_R(x_2)), \dots, (x_n, f_R(x_n))$ и на основании этих пар с применением априорной информации о функции $f_R(x)$ система должна построить схему, вычисляющую функцию $f_R(x)$ (или некоторое ее приближение).

3. При обучении возникают следующие проблемы: а) экономия памяти системы S ; б) быстрдействие обучения системы S (т. е. необходимость как можно быстрее обучить систему S); в) построение вычисляющей функции схемы, чтобы по некоторым важным параметрам она была оптимальной (например, по объему, быстрдействию, надежности и т. д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Аркадьев, Э. М. Браверман. Обучение машины классификации объектов. М., «Наука», 1971.

2. Н. Нильсон. Обучающиеся машины, пер. с англ. М., «Мир», 1967.

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ ЛОКАЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА

Ю. П. Бугай, В. А. Бахтигозин, В. Г. Червов

Нейрон — основная структурная и функциональная единица нервной системы на клеточном уровне. На уровне ансамблей нервных клеток такой единицей является рецептивное поле. Обнаружены рецептивные поля со сложной конфигурацией возбуждающих и тормозящих связей. Эти рецептивные поля выполняют роль так называемых детекторов пространственно-временных признаков сигналов. Детекторы особо чувствительны к тем или иным элементам формы изображений и к их изменению во времени. Если детекторы реагируют на некоторое определенное свойство конфигурации стимулов только в определенном месте поля зрения, то они называются детекторами локальных свойств [1].

В настоящей работе описана линейная физическая модель, предназначенная для имитации пространственно-временных свойств рецептивных полей с любой формой зон возбуждения и торможения. В таблице схематически изображены некоторые типичные для зрительной системы формы рецептивных полей [2, 3]. Во втором столбце таблицы указаны стимулы, на которые соответствующие рецептивные поля реагируют максимально. Из анализа пространственных и временных особенностей рецептивных полей

Тип	Форма рецептивно-го поля	Оптимальный стимул	Диафрагмы	
			а	б
1		Светлая ориентированная линия		
2		Темная ориентированная линия		
3		Граница силуэта		
4				
5		Прямолинейная ориентированная граница		
6		Прямолинейная ориентированная граница		
7		Прямолинейная ориентированная граница		
8		Движение в предпочтительном направлении		

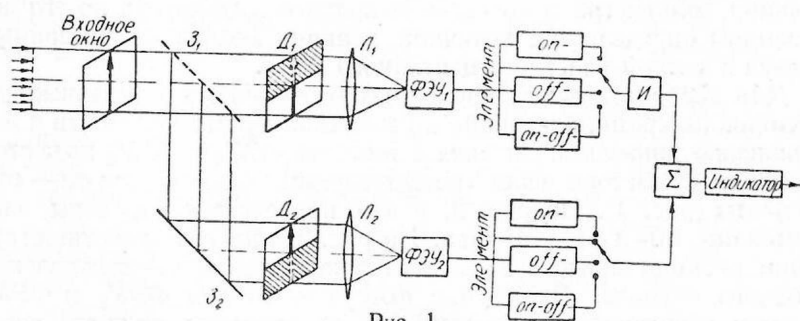


Рис. 1.

вытекает ряд требований к моделирующей системе. Прежде всего, необходимо, чтобы в модели можно было воспроизводить любые формы зон возбуждения и торможения различных рецептивных полей. Во-вторых, должна быть обеспечена возможность воспроизведения следующих временных свойств нервных элементов: чувствительность к включению стимула (для элементов *оп*-типа), к его выключению (для элементов *off*-типа) и к включению — выключению стимулов (для элементов *оп — off*-типа). Блок-схема моделирующего устройства, удовлетворяющего этим требованиям, приведена на рис. 1.

Описание модели

Зоны возбуждения и торможения воспроизводятся в модели раздельно путем использования дополняющих друг друга диафрагм. Исходное изображение, поступающее, например, от диапроектора через входное окно системы, на полупрозрачном зеркале Z_1 разделяется на два изображения. Одно из них через диафрагму D_1 после собирающей линзы L_1 поступает на фотоумножитель $\PhiЭУ_1$. Второе изображение, отразившись от зеркала Z_2 , поступает через диафрагму D_2 и собирающую линзу L_2 на второй фотоумножитель $\PhiЭУ_2$. Плоскости, в которых находятся диафрагмы D_1 и D_2 , — это плоскости четких изображений входного сигнала. На диафрагме D_1 прозрачна (частично или полностью) только часть, повторяющая форму зоны возбуждения, а на D_2 — повторяющая по форме зону возбуждения рецептивного поля. Линзы L_1 и L_2 играют роль интеграторов, которые собирают полные световые потоки, прошедшие через соответствующие диафрагмы.

С фотоумножителя $\PhiЭУ_1$ через инвертор *И* и от $\PhiЭУ_2$ непосредственно сигналы поступают на сумматор разнополярных сигналов Σ . С выхода его сигнал поступает на индикатор, например, на вольтметр или на вход осциллографа с потенциальным входом. Осциллограф удобен тем, что стимул в зоне входного окна модели можно перемещать на величину, прямо пропорциональную горизонтальному смещению луча осциллографа. Тогда на экране можно непосредственно наблюдать кривую зависимости амплитуды реакции от движения стимула вдоль некоторой прямой в зоне входного окна модели рецептивного поля. При использовании вольтметра в качестве выходного индикатора по его показаниям определяется величина реакции модели на указанный стимул в данном участке рецептивного поля.

Для воспроизведения временных особенностей локальных детекторов (инерции, адаптации и различной чувствительности к направлению движения) сигналы с выходов $\PhiЭУ_1$ и $\PhiЭУ_2$ подаются на входы сумматора через соответствующие *оп*-, *off*- или *оп — off*-элементы (рис. 1). На рис. 2, *а* и *б* приведены блок-схемы элементов *оп*-, *off*- и *оп — off*-типа. На рис. 2, *в* показаны соответствующие реакции каждого из элементов на включение — выключение входного сигнала. Включение фотоумножителей $\PhiЭУ_1$ и $\PhiЭУ_2$ к входам сумматора, например, через элементы *оп*-типа, соот-

ветствует тому, что все элементы зоны возбуждения и торможения рецептивного поля принадлежат к оп-типу.

При моделировании детекторов движения, в частности, детекторов направленного движения, возникает необходимость воспроизводить элементы оп-типа в зонах возбуждения рецептивного поля, а в зонах торможения — элементы off-типа. Это требование удовлетворяется в системе включением $\Phi Э У_1$ через элемент off-типа, а $\Phi Э У_2$ — через элемент оп-типа к соответствующим входам сумматора. Элемент включения (рис. 2, а) оп-типа является инерционным, адаптирующимся и не реагирует на постоянно

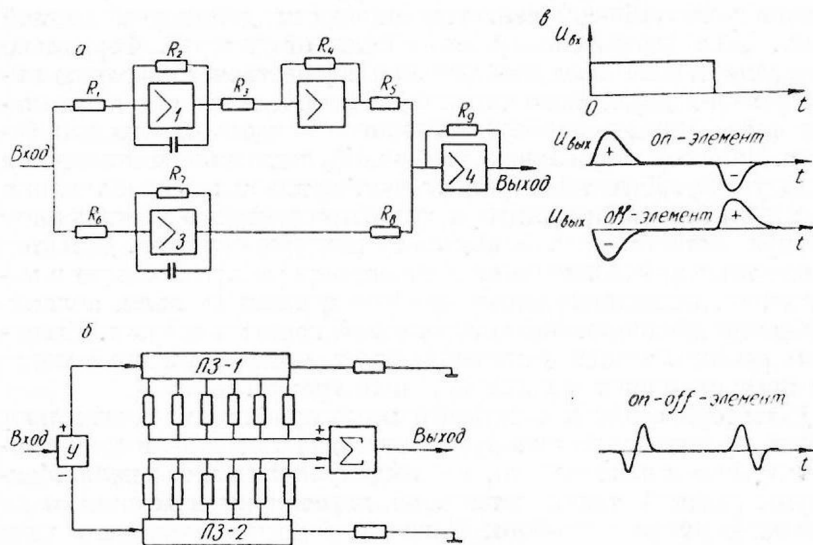


Рис. 2.

действующее возмущение. На выходе этого элемента, воспроизводящего подпороговые реакции нервных клеток, возникает положительный сигнал при включении (аналог деполяризации нервной клетки) и отрицательный — при выключении (аналог гиперполяризации клетки). Функциональная схема элемента off-типа не отличается от схемы элемента оп-типа. Нужно только коэффициенты усиления и постоянные времени у операционных усилителей 1 и 2 (рис. 2, а) поменять таким образом, чтобы у 1 оказались все параметры звена на усилителе 2, и наоборот. Модели оп-, off- и оп — off-элементов описаны в работе [4]. Одна из возможных реализаций элемента оп — off-типа показана на рис. 2, б. Рассмотрим работу элемента оп — off-типа. Входной сигнал с выходов усилителя $У$ в виде двух разнополярных сигналов поступает на входы линий задержки ЛЗ1 и ЛЗ2, воспроизводящих инерционные возбуждение и торможение нервных элементов. Способ распределения мгновенных значений входного сигнала во времени (весовая функция системы) определяется изменением сопро-

тивлений на выходах линий задержки. Сигналы возбуждения и торможения складываются на сумматоре Σ и поступают на выход в виде сигнала, схематически изображенного на нижнем графике рис. 2, в, если на входе элемента действует возмущение в форме прямоугольного импульса. Элемент *on-off*-типа можно выполнить из элемента *on*-типа, если инвертировать отрицательные сигналы последнего.

В таблице (а и б) показаны формы диафрагм D_1 и D_2 , которые нужно использовать для воспроизведения функциональных особенностей соответствующих рецептивных полей. Рецептивное поле первого типа (таблица) является локальным детектором светлой линии. Зона торможения у этого поля отсутствует. Формально такое рецептивное поле приближенно осуществляет операцию интегрирования двумерного сигнала в направлении оси рецептивного поля — анизотропное интегрирование вдоль одного направления. Детектор второго типа в таблице функционально аналогичен предыдущему. Детекторы третьего и четвертого типов приближенно вычисляют вторую производную входного сигнала со знаками плюс и минус соответственно и выделяют контуры силуэтов. Детектор пятого типа приближенно определяет первую производную в направлении, перпендикулярном к оси рецептивного поля, являясь локальным детектором ориентированной границы силуэта. Максимумы реакции такого детектора имеют противоположные знаки для надвигающихся светлой и темной границ.

Детекторы шестого и седьмого типов приближенно вычисляют вторую производную и вторую производную со знаком минус соответственно в направлении, перпендикулярном к оси поля. Максимумы реакций таких детекторов двуполярны и возникают на границе светлого и темного. Наконец, детектор последнего типа чувствителен к движению объекта в предпочтительном направлении, указанном в таблице стрелкой.

Дискретные модели локальных детекторов и способы их реализации на цифровых вычислительных машинах описаны в работе [5]. Непрерывные модели, аналогичные рассмотренным выше и позволяющие воспроизводить пространственно-временные свойства любых локальных детекторов, нам неизвестны. Рассмотренный вариант модели или специально модернизированный может быть использован в качестве базового элемента универсальной оптической вычислительной машины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Розенблатт. Принципы нейродинамики. М., «Мир», 1965.
2. Б. Бернс. Неопределенность в нервной системе. М., «Мир», 1969.
3. D. H. Hubel, T. N. Wiesel. Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's visual cortex. «J. Physiol.» **160**, 106 (1962).
4. Ю. П. Бугай. Исследование нейроподобных элементов и систем как устройств первичной переработки информации. Автореф. канд. дисс., Харьков, 1968.
5. М. М. Бонгард. Проблемы узнавания. М., «Наука», 1967.