

142

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ЗРИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗАТОРЕ С ПОМОЩЬЮ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ

Ю. И. Нефедов, В. Г. Червов, Ю. П. Бугай

Исследование структуры и функций зрительного анализатора человека и высших животных методом математического и физического моделирования несомненно представляет большой интерес как для понимания особенностей функционирования биологических систем переработки информации в общем плане, так и для создания эффективных технических устройств, работающих на бионических принципах. Однако в настоящее время возможности заимствования у биологических объектов сведений, полезных для построения технических устройств, в основном ограничены простейшими структурами, обеспечивающими первичную обработку зрительной информации. Важный этап обработки зрительной информации заключается в выделении ряда простейших, но достаточно универсальных и общих признаков изображений, таких, как контуры фигур, ориентированные прямолинейные отрезки контурных фигур, кривизна контуров, углы фигур и т. п. Структурные образования зрительной системы, выполняющие отдельные операции, подобные перечисленным выше, получили название детекторов соответствующих признаков.

В результате новейших микроэлектродных исследований, проведенных на различных биологических объектах, установлено существование целого ряда простых и сложных детекторов специальных признаков изображений, обнаруженных на уровне сетчатки и зрительных отделов коры головного мозга [1]. Структурной основой этих детекторов являются особые функциональные образования, состоящие из многих нервных клеток и получившие название рецептивных полей.

В работах [2, 3] показана возможность сравнительно простой формализации данных по рецептивным полям, имеющим простую пространственную конфигурацию возбуждающих и тормозящих связей; описаны математические модели нервных систем, организованных по принципу рецептивных полей, и возможные способы их физической реализации с помощью телевизионных систем. Основная цель настоящей работы состоит в том, чтобы показать возможность исследования простейших нервных систем, организованных по принципу рецептивных полей, на физической модели, реализованной с помощью телевизионной системы.

Блок-схема экспериментальной установки и основные режимы ее работы

Экспериментальная установка, на которой проводились исследования, была построена на базе двух стандартных телевизионных систем типа ПТУ-22 М. Блок-схема экспериментальной установки показана на рис. 1. К основным элементам системы относятся: передающая теле-

визионная трубка 1 с предварительным видеоусилителем 3, передающая телевизионная трубка 2 с предварительным видеоусилителем-инвертором 4, сумматор видеоимпульсов 5, парафазный видеоусилитель 6, генератор синхронизирующих импульсов 7, предназначенный для синхронного запуска генераторов кадровых (8, 10, 13) и строчных (9, 11, 12) разверток передающих трубок 1, 2 и двухлучевого индикатора 19, видеоконтрольное устройство 18, генератор высокочастотных синусоидальных колебаний 17 с двумя парафазными усилителями 14 и 15, имеющими независимую регулировку усиления, линия задержки 16.

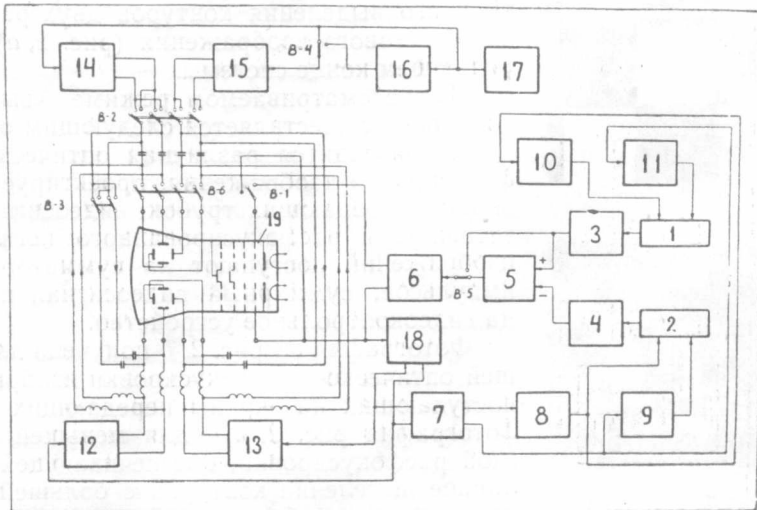


Рис. 1.

Рассматриваются следующие режимы работы экспериментальной установки:

- 1) режим изотропного выделения контуров предъявляемых изображений на передающем конце;
- 2) режим преимущественной индикации прямолинейных отрезков контурного изображения, имеющих определенную ориентацию;
- 3) режим преимущественной индикации прямолинейных отрезков контурного изображения, ориентированных в двух различных направлениях, или режим индикации углов контурных фигур;
- 4) режим индикации элементов контурного изображения с любой заданной кривизной.

Работа системы в режиме изотропного выделения контуров предъявляемого изображения в некотором приближении воспроизводит особенности функционирования нервной системы с рецептивными полями круговой формы, имеющими, например, в центре круговую зону возбуждения и кольцевую зону торможения на периферии рецептивного поля. Такие рецептивные поля найдены в сетчатке глаза и обеспечивают зрительной системе возможность выделения с некоторой разрешающей способностью наиболее информационных контурных элементов изображений. В рассматриваемой модели круговую зону возбуждения и торможения можно имитировать круговой оптической или электронной расфокусировкой предъявляемого изображения, а эффект выделения контуров обеспечить путем наложения негативного и позитивного изображений на экране двухлучевого индикатора 19 или на

уровне видеосигналов на передающем конце в сумматоре видеосигналов 5.

В режиме изотропного выделения контуров в качестве датчика исходного видеосигнала для двухлучевого индикатора 19 могут быть использованы одна или обе передающих трубки (1 и 2), в зависимости от того, где осуществляется выделение контуров,— на приемном или передающем конце системы.

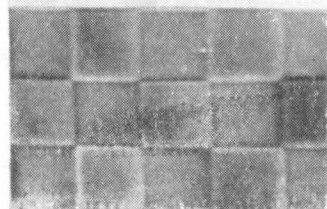
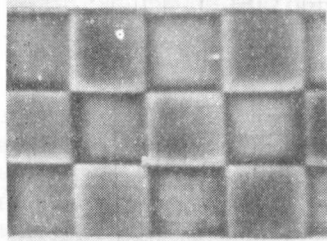
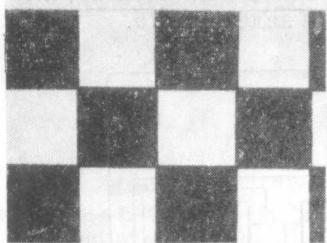


Рис. 2.

На рис. 2, б, в показаны фотографии, полученные с экрана двухлучевого индикатора, иллюстрирующие работу системы в режиме изотропного выделения контуров двухградационного тестового изображения (рис. 2, а) на передающем конце системы.

В рассматриваемом режиме выделение контуров осуществляется следующим образом.

Производится различная оптическая расфокусировка изображения, проектируемого на экраны передающих трубок; видеосигналы позитивного и расфокусированного негативного изображений поступают на сумматор видеопульсов; суммарный видеосигнал подается на видеоконтрольное устройство.

Фотография на рис. 2, б получена для большей оптической расфокусировки изображений, поступающих на экраны передающих трубок, фотография рис. 2, в — для меньшей оптической расфокусировки, обеспечивающей двупольное выделение контуров с большей разрешающей способностью. Изменением оптической расфокусировки на модели воспроизводится эффект перестройки величины рецептивного поля и разрешающей способности сетчатки при различном уровне освещенности. Это свойство модели может быть весьма полезным в том случае, если необходимо ослабить в исходном изображении мелкие детали, меньшие эффективных размеров рецептивного поля, или помехи на изображении в виде черных и белых точек.

В экспериментах, проведенных на кошках и обезьянах, на уровне семнадцатого поля зрительной коры обнаружены детекторы прямолинейных отрезков контурных изображений, имеющих различную ориентацию [1]. Существование большого числа детекторов ориентированных отрезков (для трех четвертей от общего числа детекторов семнадцатого поля коры) позволяет предположить, что эти детекторы имеют важное функциональное назначение в работе зрительного анализатора. Вероятно, они играют роль своеобразного алфавита детекторов [4], позволяющего обеспечить преимущественную индикацию сложных фигур, состоящих из прямолинейных отрезков различной ориентации. Рассмотрим работу системы в режиме преимущественной индикации прямолинейных отрезков контурного изображения, имеющих различную ориентацию.

Из литературных данных [5] и из исследований, проведенных нами на математических моделях [6], известно, что для обеспечения преимущественной индикации прямолинейных отрезков изображений

заданной ориентации в телевизионной системе можно использовать развертку изображений электронным лучом с узкой прямолинейной апертурой, имеющей некоторую ориентацию по отношению к направлению строк разложения, — развертку штрих-фокусом. Такую форму сканирующего луча можно обеспечить дополнительным высокочастотным отклонением луча с малой амплитудой. В рассматриваемой системе дополнительное высокочастотное отклонение луча осуществлялось на экране индикатора с электростатическим отклонением лучей от

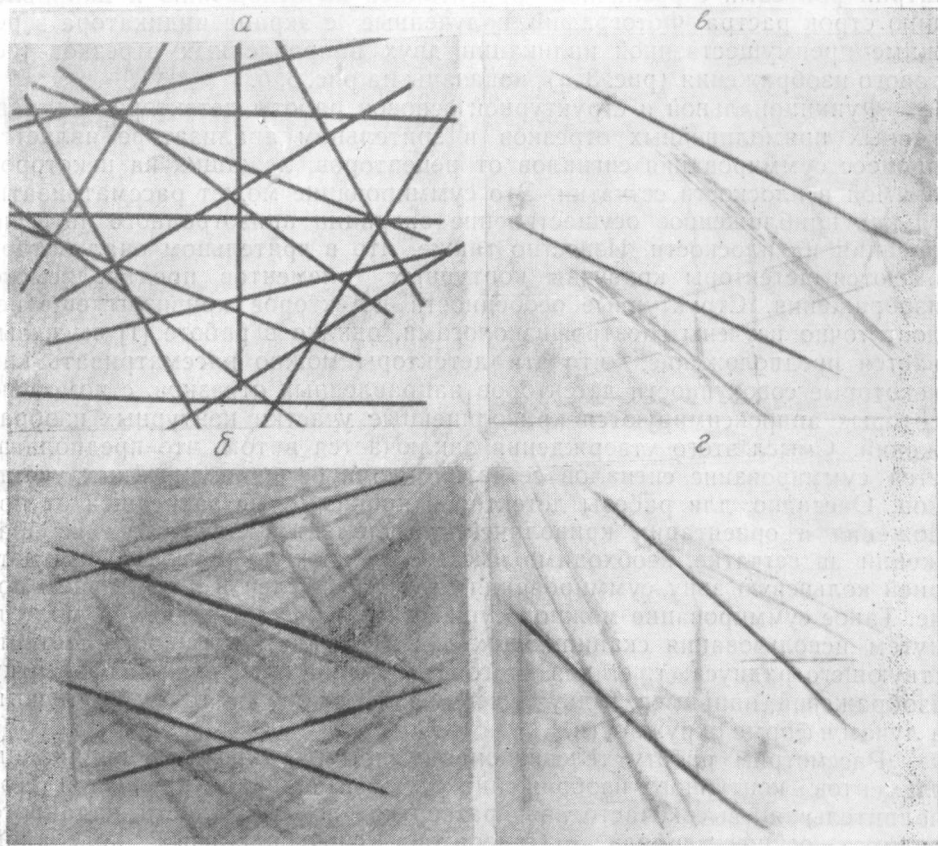


Рис. 3.

генератора синусоидальных колебаний на частоте $2 \div 4$ мГц. Сигналы с генератора поступали на входы парафазных усилителей, с выходов которых эти сигналы подавались через переключатель В-2 (рис. 1) на горизонтальные и вертикальные пластины двухлучевого индикатора. Раздельной регулировкой амплитуд высокочастотного напряжения на горизонтальных и вертикальных пластинах можно обеспечить изменение положения штрих-фокуса (при постоянной его длине) по отношению к направлению строк на экране индикатора в пределах от нуля до девяноста градусов.

Фотографии, полученные с экрана двухлучевого индикатора при развертке изображения штрих-фокусом для двух различных ориентаций последнего, показаны на рис. 3, в, г. Исходное тестовое изображение приведено на рис. 3, а. Как видно из фотографий, наибольшую яркость и четкость имеют только те линии тестового изображения, на-

правление которых совпадает с ориентацией штрих-фокуса. Линии, имеющие другую ориентацию, размыты в большей или меньшей степени.

В рассматриваемой системе может быть осуществлено преимущественное выделение направленных прямолинейных отрезков одновременно в двух различных направлениях (детектирование углов с заданной ориентацией сторон). Для этого необходимо произвести развертку двух совмещенных изображений на экране двухлучевого индикатора двумя штрих-фокусами с различной ориентацией по отношению к направлению строк раstra. Фотографии, полученные с экрана индикатора в режиме преимущественной индикации двух направленных отрезков тестового изображения (рис. 3, а), показаны на рис. 3, б.

Функциональной и структурной основой работы детекторов направленных прямолинейных отрезков в зрительном анализаторе является процесс суммирования сигналов от рецепторов, лежащих на некоторой прямой в плоскости сетчатки. Это суммирование может рассматриваться как приближенное осуществление операции анизотропного интегрирования на плоскости. Известно также, что в зрительном анализаторе имеются детекторы кривизны контурных элементов предъявляемого изображения. Структурные особенности детекторов кривизны еще недостаточно изучены электрофизиологами, однако в работе [1] высказывается предположение, что эти детекторы можно рассматривать как некоторые совокупности детекторов направленных отрезков, с помощью которых аппроксимируются криволинейные участки контурных изображений. Смысл этого утверждения заключается в том, что предполагается суммирование сигналов сетчатки вдоль ее криволинейных участков. Очевидно, для работы детекторов кривизны, не зависящей от положения и ориентации криволинейных элементов контурных изображений на сетчатке, необходимо иметь обладающую круговой симметрией кольцевую зону суммирования раздражителей в рецептивном поле. Такое суммирование можно осуществить в рассматриваемой модели путем использования сканирующих лучей в виде окружности соответствующего радиуса, т. е. для этого достаточно производить развертку изображений, например, в двухлучевом индикаторе не точечным лучом, а лучом в форме окружности.

Рассмотрим работу телевизионной системы в режиме индикации элементов контурного изображения с любой заданной кривизной. Дополнительная высокочастотная развертка по окружности заданного радиуса осуществлялась от генератора синусоидальных колебаний сдвинутыми на четверть периода (с помощью линии задержки) напряжениями, поступающими через парафазные усилители на вертикальные и горизонтальные отклоняющие пластины двухлучевого индикатора.

На рис. 4, а схематически изображены процессы суммирования сигналов от каждой точки тестового изображения в форме окружности (тестовые окружности показаны более жирной линией) при различных радиусах сканирующих окружностей. Для крайней слева фигуры на рис. 4, а радиус тестовой окружности совпадает с радиусом сканирующей окружности, для средней фигуры рис. 4, а радиус сканирующей окружности меньше, а для крайней справа — больше радиуса тестовой окружности. Точка с большой «яркостью» появляется только на первой слева фигуре при совпадении радиусов сканирующей и тестовой окружностей. Фотографии, полученные с экрана индикатора для тестового изображения (рис. 4, б), показаны на рис. 4, в, г. На рис. 4, в радиус сканирующей окружности совпадает с радиусом третьей по по-

ряду тестовой окружности, в центре которой формируется наиболее яркая точка, на рис. 4, *г* — с радиусом четвертой по порядку тестовой окружности. Достаточно яркая точка в центре окружности, аппроксимирующей отдельные участки любых контурных изображений, соответствуют участку кривой, составляющему лишь малую часть полной окружности. Таким образом, рассматриваемый детектор кривизны из

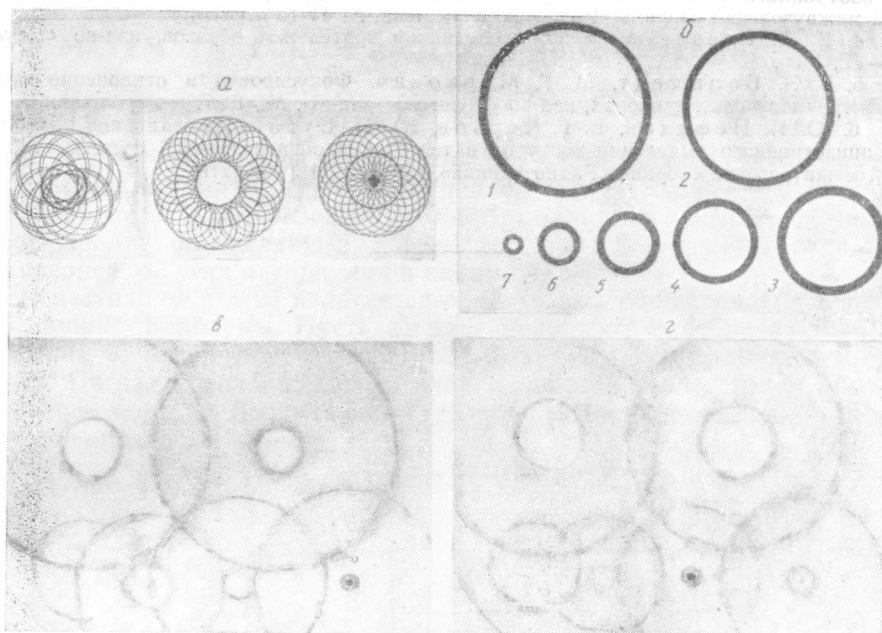


Рис. 4

всего изображения выделяет только элементы кривых фигур с заданной кривизной, «отмечая» эти элементы более или менее яркой точкой в центре аппроксимирующей окружности.

ВЫВОДЫ

Использование телевизионной системы с различными формами апертур сканирующих лучей на приемном и передающем концах системы позволяет достаточно простыми средствами моделировать работу отдельных систем — детекторов зрительного анализатора, состоящих из миллионов отдельных элементов. Различные гипотезы, возникающие при описании функциональных и структурных особенностей детекторов зрительного анализатора, можно проверить на моделирующей телевизионной системе при использовании соответствующих форм апертур сканирующих лучей в передающих и приемных телевизионных трубках. Рассмотренная телевизионная система позволяет одновременно провести несколько различных преобразований, имитирующих параллельную работу нескольких детекторов. Возможно, например, одновременное выделение контура, ориентированных отрезков из этого контура и элементов заданной кривизны из контурной кривой.

Телевизионные системы, подобные рассмотренным в настоящей работе, могут быть непосредственно использованы для решения ряда практических задач в устройствах автоматического анализа изображений, а также в качестве входных устройств опознающих систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. D. H. Hubel, T. N. Wiesel. Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *J. Phys. (Engl.)* 1968, 195, № 1, 215—243.
2. Ю. П. Бугай. Исследование нейроноподобных элементов и систем как устройств первичной переработки информации. Автореф. канд. дисс., Харьков, 1968.
3. Ю. И. Нефедов, В. Г. Червов, Ю. П. Бугай. Исследование возможности изотропного выделения контуров в телевизионной передающей системе. Украинский межвузовский сборник «Радиотехника», 1969, № 11 (в печати).
4. В. Д. Глезер. Механизмы опознания зрительных образов, изд-во «Наука», М.—Л., 1966.
5. Б. Э. Бонштедт, М. Г. Маркович. Фокусировка и отклонение пучков в электроннолучевых приборах, изд-во «Советское радио», М., 1967.
6. Ю. И. Нефедов, В. Г. Червов, Ю. П. Бугай. Исследование возможности анизотропного выделения контуров в телевизионной передающей системе. Украинский межвузовский сборник «Радиотехника», 1969, № 11 (в печати).