ЭЛЕКТРОННАЯ МОДЕЛЬ РАСПОЗНАВАНИЯ ЦВЕТОВ ОРГАНОМ ЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

В. П. Пчелинов, Е. П. Путятин

Одним из важнейших каналов связи человека с окружающим миром является его достаточно совершенный зрительный аппарат, благодаря которому он получает подавляющую долю информации.

Поэтому для создания устройств ввода графической и цветовой информации в вычислительные машины и различные автоматические системы необходимо изучать работу органа зрения человека с целью получения алгоритмов переработки зрительной информации.

В работах [1, 2] описана математическая модель цветового зрения человека, на основе которой разработана электронная модель, описываемая в настоящей работе.

Эта модель не является полной аналогией математической модели, она воспроизводит лишь отдельные ее блоки.

Функциональная схема основных узлов модели приведена на рисунке.

На входе модели имеется система фотосопротивлений с фильтрами Φ_1, Φ_2 ... Φ_{10}, которые подобраны так, чтобы перекрывался весь видимый глазом диапазон спектра излучения.

В общем случае зрительный объект, который видит глаз человека, характеризуется распределением лучистой яркости по длине волны во времени и пространстве, т. е.

$$E = E(\lambda,\ x,\ y,\ t), \tag{1}$$

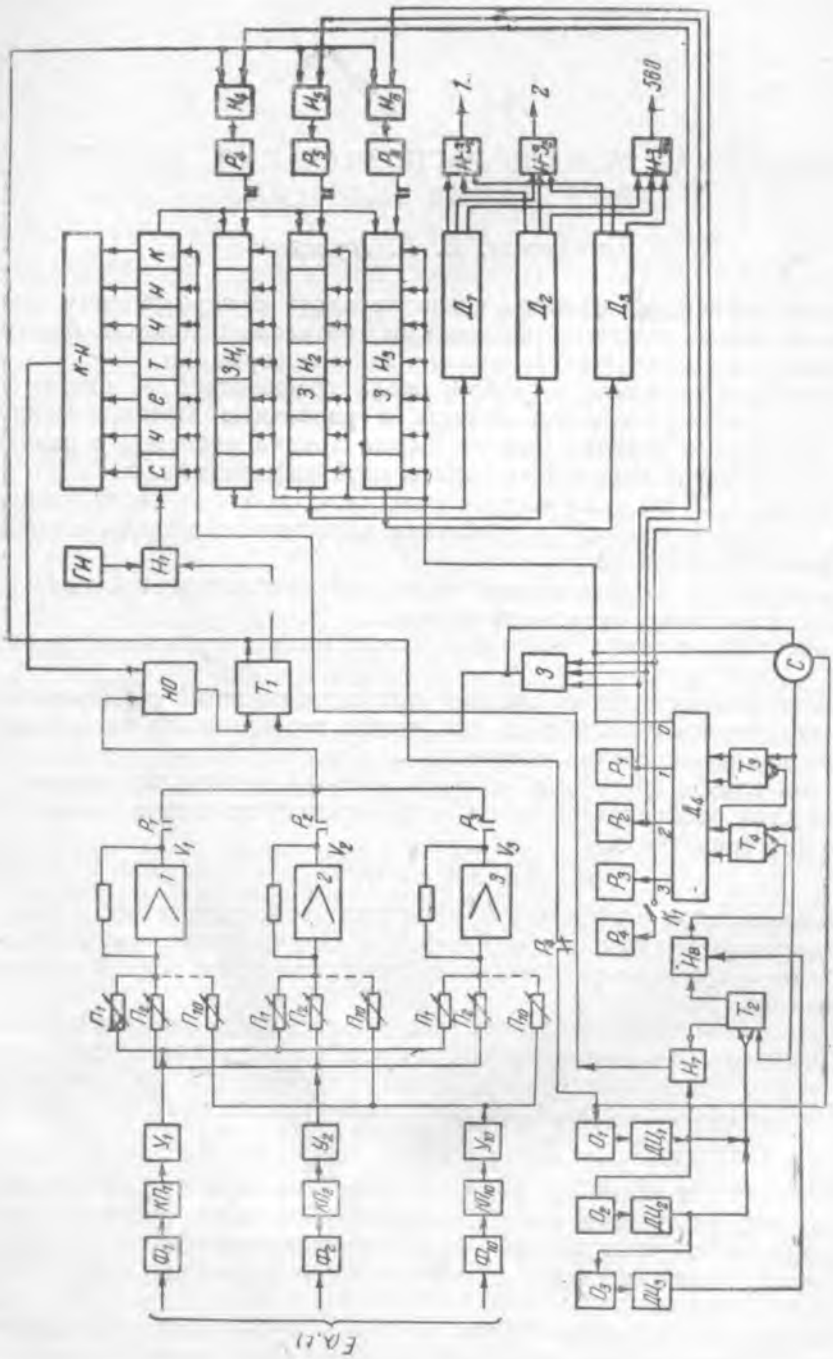
причем максимальная и минимальная яркости изображения могут изменяться в широком диапазоне при изменении освещенности, что необходимо учитывать при конструировании фотоэлектрических устройств ввода информации.

Если же ограничиться условием, что объект, предназначенный для анализа, однороден и освещается одним и тем же источником света, то входной сигнал будет представлять собой лучистую яркость, изменяющуюся только в зависимости от длины волны и времени, т. е.

$$E = E(\lambda,\ t). \tag{2}$$

Для восприятия такой информации блок фотоприемников должен состоять из трех фотоэлементов с фильтрами. При этом требуется, чтобы спектральные системы фильтр — фотоприемник совпадали с кривыми смешения глаза человека с точностью до линейных преобразований.

Однако процесс создания такой системы фотоприемников весьма трудоемок, так как трудно подбирать фильтры с заданной характеристикой. Фотоприемники же имеют разброс параметров, не стабильны во времени, и поэтому, чтобы такая система работала достаточно надежно, необходимо корректировать спектральные характеристики фильтров, что весьма затруднительно.



Функциональная схема модели.

Процесс конструирования системы, обладающей заданными характеристиками, можно облегчить, используя избыточное количество фотоприемников ($n > 3$) с различными спектральными характеристиками и применяя затем необходимые математические преобразования, приведенные в работе [3], которые сводятся к интерполированию заданной функции системой известных.

В этом случае возможна корректировка спектральной характеристики системы без подгонки фильтров путем изменения сопротивлений потенциометров $П_1$, $П_2$, ... $П_{10}$ на входе решающих усилителей

В данной модели использовалось 10 фотоприемников. Чтобы обеспечить необходимую стабильность фотосопротивлений и устранить влияние посторонних источников света, объект, цвет которого требовалось определить, освещали пульсирующим источником света. В качестве такого источника использовалась лампа дневного света, которая мигала с частотой 50 *гц*.

Для создания такого режима лампу включали в электрическую сеть через диод, благодаря чему срезалась одна полуволна синусоиды напряжения сети.

С фотосопротивлений пульсирующее напряжение поступало на катодные повторители $КП_1$, $КП_2$, ... $КП_{10}$ и переменная составляющая его усиливалась усилителями $У_1$, $У_2$, ... $У_{10}$. Постоянную составляющую сигнала, получаемую за счет освещения объекта посторонними источниками света, не пропускает конденсатор, стоящий на входе каждого усилителя. Поэтому на выходе усилителей $У_1$, $У_2$ ..., $У_{10}$ будет сигнал, получаемый от освещения объекта только пульсирующим источником света. Затем этот сигнал, имеющий форму, близкую к пилообразной, сглаживается электрическими фильтрами и поступает на соответствующие входы решающих усилителей.

После математических преобразований на выходе этих усилителей получаются сигналы V_1, V_2, V_3 в виде уровней напряжений, которые пропорциональны кривым смешения глаза человека, т. е. координатам цвета.

Корректировку этих напряжений в случае необходимости, можно осуществлять потенциометрами $П_1$, $П_2$, ..., $П_{10}$.

Затем напряжения поочередно подаются на преобразователь аналог — код, который является преобразователем с обратной связью и состоит из генератора импульсов ГИ, нуль-органа НО, триггера $Т_1$, схемы $И_1$, семиразрядного счетчика импульсов, преобразователя код — напряжение КН и трех схем запоминания и индикации чисел, образующихся в счетчике $ЗИ_1$, $ЗИ_2$, $ЗИ_3$. Работает этот преобразователь следующим образом: при подаче одного из напряжений V_1, V_2, V_3 на одну из шин нуль-органа триггер $Т_1$ устанавливается в такое положение, что схема $И_1$ пропускает импульсы генератора на счетчик импульсов. Последний их считает и выдает информацию на обратный преобразователь код — напряжение. В момент, когда напряжение на второй шине нуль-органа от преобразователя код — напряжение достигнет значения входного напряжения, нуль-орган начнет генерировать импульсы, которые поступают на второй вход триггера $Т_1$, и первым же импульсом триггер перебрасывается в другое состояние. При этом на схему $И_1$ подается сигнал, запрещающий подачу импульсов на счетчик. Таким образом, в счетчике будет зафиксировано число, соответствующее величине входного напряжения.

Это число запоминается соответствующей схемой ЗИ и выводится в виде светящихся неоновых лампочек. Затем автоматически производится сброс счетчика в нулевое состояние, подключение следующего

по порядку напряжения V_i ($i = 1, 2, 3$) и установка триггера T_1 в первоначальное состояние. Далее процесс повторяется.

Данная модель может работать в двух режимах: следящем, если на входе цвет объекта не стационарен, т. е. $E = E(\lambda, t)$, и стационарном, если на входе картина постоянна, т. е. $E = E(\lambda)$. Нужный режим задается переключателем K_1. Автоматическая работа модели осуществляется следующим образом.

Перед началом работы кнопкой сброс «C» все элементы модели приводятся в исходное состояние. При этом на вход одновибратора O_1 (заторможенного мультивибратора) подается импульс, который запускает его, и на выходе дифференцирующей цепочки $ДЦ_1$ образуются два импульса: положительный — при запуске одновибратора и отрицательный при его возвращении в исходное состояние.

Положительным импульсом триггер T_2 переводится в противоположное состояние, подготавливает ячейку $И_7$ по одному из входов, а отрицательный импульс поступает на другой вход схемы $И_7$. На выходе ее образуется сигнал, который является импульсом сброса для счетчика импульсов преобразователя аналог — код.

Этот же отрицательный импульс запускает одновибратор O_2, выход которого подается на дифференцирующую ячейку $ДЦ_2$. Положительным импульсом с выхода этой ячейки триггер T_2 переводится в противоположное состояние и подготавливает ячейку $И_8$ по одному из входов. Этим же импульсом запускается одновибратор O_3, и образующийся после него на дифференцирующей ячейке $ДЦ_3$ отрицательный импульс подается на второй вход схемы $И_8$, проходит через нее и поступает на двухразрядный счетчик, состоящий из триггеров T_3 и T_4.

Записанная таким образом в счетчике единица идет на дешифратор $Д_4$, в результате чего на его первой шине образуется сигнал, который включает реле P_1. При этом контакты реле замыкаются и первое преобразуемое напряжение подается на преобразователь аналог — код.

Кроме того, с первой шины дешифратора $Д_4$ подается сигнал на схему $И_4$, подготавливающий ее по одному из входов.

После окончания преобразования напряжения в код с выхода нуль-органа $НО$ подается сигнал на триггер T_1, означающий окончание преобразования. На выходе триггера T_1, кроме сигнала, поступающего на схему $И_1$, который запрещает подачу импульсов на счетчик, образуется еще сигнал, поступающий на второй вход $И_4$, реле P_4 срабатывает, обеспечивая этим считывание информации со счетчика в схему запоминания и индикации. При этом загораются лампочки, соответствующие числу, записанному на счетчике.

Этот же сигнал с триггера T_1 одновременно поступает на вход одновибратора O_1, запускает его и процесс повторяется.

По окончании процесса в счетчик импульсов на триггерах T_3, T_4 добавится еще единица, на выходе дешифратора теперь окажется возбужденной вторая шина, сработает реле P_2, подключив напряжение V_2, а реле P_1 отключится.

Затем аналогичным образом будет подано на вход преобразователя аналог — код напряжение V_3. При этом на выходе схем запоминания $ЗИ_1$, $ЗИ_2$, $ЗИ_3$ будут гореть лампочки, соответствующие кодам напряжений V_1, V_2, V_3. Кроме того, информация с этих схем поступает на дешифраторы (соответственно $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$), выходы которых подаются на схемы $И - З_1$, $И - З_2$, ... $И - З_{560}$.

Таким образом, любой комбинации чисел в схемах $ЗИ_1$, $ЗИ_2$, $ЗИ_3$, т. е. любой комбинации напряжений V_1, V_2, V_3, в свою очередь, зависящих от напряжений на входах решающих усилителей, поступающих от

фотоприемников, соответствует своя схема *И*-3, на выходе которой будет сигнал. Этот сигнал зажигает соответствующую лампочку, либо может подаваться как регулирующий или управляющий сигнал в автоматическую систему.

Если модель работает в следящем режиме, то после срабатывания реле P_3 будет возбуждаться нулевая схема дешифратора $Д_4$, которая осуществляет сброс информации во всех схемах *ЗИ*, после чего все снова повторяется.

Если же модель работает в стационарном режиме, который задается замыканием контактов переключателя K_1, то одновременно со срабатыванием реле P_3, срабатывает реле P_4, которое разомкнет цепь подачи сигнала с триггера T_1 на одновибратор O_1, и работа модели прекратится. Для следующего запуска ее достаточно нажать кнопку *С*.

Из описания схемы модели видно, что точность ее работы и количество определяемых цветовых оттенков зависит от количества фотоприемников, а также от числа разрядов счетчика импульсов преобразователя аналог — код и от количества разрядов дешифраторов $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$.

Человеческий глаз различает несколько тысяч оттенков и построить устройство с таким количеством выходов затруднительно, поэтому в данной модели мы приняли 560 выходов. Число разрядов счетчика преобразователя аналог — код равно семи, что соответствует десятичному числу 128, так как $2^7 = 128$. Однако информация на дешифраторы подается только с последних четырех разрядов.

Этим достигается необходимая точность получения координат цвета и ограничение количества выходов.

Таким образом, на выходе каждого из дешифраторов $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ будет по 16 шин, которые комбинируются по три на входах различных схем *И*-3. Следовательно, общее число схем *И*-3, т. е. число выходов модели будет равно числу сочетаний 16 элементов по три.

$$C_{16}^3 = \frac{16!}{3!\,(16-3)!} = 560. \qquad (3)$$

Если бы мы сделали дешифраторы $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$ на все разряды счетчика, то число выходов было бы равно

$$C_{128}^3 = \frac{128!}{3!\,(128-3)!} = 341\,376. \qquad (4)$$

Оптимальный вариант, по-видимому, соотвествует пяти разрядам счетчика; при этом число выходов равно 4690, что соответствует среднему числу цветовых оттенков, различаемых человеческим глазом, известному из литературы. Однако при таком количестве выходов устройство будет слишком громоздким.

Быстродействие модели в основном определяется частотой работы генератора *Г*, которая равна 5 *кгц* и может регулироваться. Максимальное время заполнения счетчика составляет

$$t = \frac{1}{5 \cdot 10^3} \cdot 128 = 25{,}6 \text{ } мсек. \qquad (5)$$

Если к этому времени прибавить время работы одновибраторов O_1, O_2, и O_3 для каждого из них равное 1 *мсек*, то общее время такта, за который определяется одна из координат цвета, равно 28,6 *мсек*. Полное время определения цветового оттенка составляет $28{,}6 \cdot 3 = 85{,}8$ *мсек*. Таким образом, модель в следящем режиме следит за изменением цветового оттенка с частотой 11,6 *гц*. Если необходимо, эту частоту можно увеличить во много раз, увеличив частоту генератора.

Различные узлы модели выполняются на разных электронных элементах. Катодные повторители $КП_1$, $КП_2$, ... $КП_{10}$, усилители $У_1$, $У_2$, ... $У_{10}$ и решающие усилители выполняются на электронных лампах, а все остальные блоки на полупроводниковых приборах и неоновых лампах. Такая комбинация элементов обеспечивает простоту и необходимую стабильность работы модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. П. Шабанов-Кушнаренко, Е. П. Путятин. «Математическая модель цветового зрения человека». XXI Всесоюзная научная сессия, посвященная 70-летию изобретения радио А. С. Поповым. Докл. секции бионики, изд. НТОР и Э, М., 1965.

2. Ю. П. Шабанов-Кушнаренко, Е. П. Путятин, Г. Д. Майстровский. Моделирование однородных стационарных зрительных процессов. Сб. «Моделирование в биологии и медицине», вып. II, изд-во «Наукова думка», К., 1966.

3. Н. Я. Какурин, Е. П. Путятин, В. П. Пчелинов. Некоторые вопросы построения датчиков ввода цветовой информации в ЭЦВМ. Сб. «Приборы и системы автоматики», вып. 7, Изд-во ХГУ, 1968.

4. А. О. Олеск. Фоторезисторы, изд-во «Энергия», 1966.