

стимула. Уменьшение времени горения лампочки до 0,07 сек вызывает увеличение латентного времени соответственно до 0,28 и 0,33 сек.

Согласно [4, 5, 6] относительно корреляции между скоростью скачка и углом поворота, предполагается, что программа скачка составляется за латентное время. Наши эксперименты показали, что глаз не может изменить свою первоначальную программу даже при исчезновении стимула и появлении нового до начала движения. При этом местоположение стимула не имеет никакого значения.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Асланиди К. Буцадзе за техническую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. M. G. Saslow. Latency for saccadic eye movement. I. Opt. Soc. Amer., 1962, v. 58, № 8.
2. G. White, R. Eason, W. Bartlett. Latency and duration of eye movement in horizontal plane. I. Opt. Soc. Amer., 1962, v. 52, p. 210.
3. Инженерно-технологические требования к системам управления ВНИИТЭ. Государственный комитет Совета Министров СССР по науке и технике, Министерство радиопромышленности. М., 1967.
4. Л. И. Леушина. Движение глаз и пространственное зрение. В кн: «Вопросы физиологии сенсорных систем». Изд-во «Наука», 1966.
5. А. Р. Шахнович, В. Р. Шахнович. Пупиллография. Изд-во «Медицина», 1964.
6. G. Westheimer. Eye movement responses to a horizontally moving visual stimulus. Arch. Ophthalmol., 1954, v. 52, pp. 932 — 941.
7. Е. П. Кок, Л. И. Леушина. О состоянии глазодвигательной системы при расстройствах пространственного восприятия. «Невропатология и психиатрия», 1959, № 11.
8. А. Л. Ярубус. Роль движения глаз в процессе зрения. Изд-во «Наука», 1966.

МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Е. П. Пуятин, В. П. Пчелинов, Г. М. Пуяткина

Человеческому зрению свойственна следующая особенность: многокомпонентное излучение, совершенно различные по спектральному составу, глаз воспринимает одинаково. Например, среди монохроматических излучений можно выделить множество дополнительных пар, которые при смешении кажутся белыми. Кроме того, белый цвет получается при смешении красного, зеленого и синего цветов в определенных пропорциях. Подобные примеры объясняются наличием интегральных блоков в математической модели зрения. Как показано в [1, 2], экспериментальные законы Грассмана позволяют изобразить математическую модель однородных стационарных зрительных процессов в виде структурной схемы, состоящей из двух преобразований (рис. 1):

Блок 1

$$u_i = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E(\lambda) A_i(\lambda) d(\lambda),$$

Блок 2

$$V_i = f(u_i) \quad (i = 1, 2, 3).$$

Здесь $E(\lambda)$ — спектральная функция лучистой яркости;
 $A_i(\lambda)$ — кривые сложения фотоприемников глаза;
 λ_1, λ_2 — длины волн, соответствующие границам видимого диапазона;
 f — взаимно-однозначная функция,
 B_1, B_2, B_3 — тройка чисел, характеризующая светлоту, цветовой тон и насыщенность зрительного ощущения.

Два излучения видятся одинаково, если одинаковы тройки чисел u_1, u_2, u_3 , поскольку последние находятся во взаимно-однозначной зависимости с субъективными характеристиками цвета B_1, B_2, B_3 , представляющими выходные сигналы математической модели. Из [1] следует, что одинаковые тройки чисел u_1, u_2, u_3 получаются при совершенно различных спектрах излучений $E(\lambda)$.

Таким образом, трансформируя бесконечномерное пространство спектров в трехмерное пространство координат цвета, человеческий глаз теряет огромную часть информации о свойствах окружающих объектов. Во многих областях науки и техники необходим более высокий уровень анализа световых сигналов, чем тот, который доступен зрительной системе человека. Глаз представляет собой систему фотоприемников трех видов с тремя линейно независимыми спектральными характеристиками. Очевидно, чтобы устройство могло анализировать большую гамму спектров, чем человеческий глаз, необходим датчик, состоящий из четырех и больше фотоприемников с линейно независимыми спектральными характеристиками. Тогда в общем случае для n -компонентного датчика можно записать:

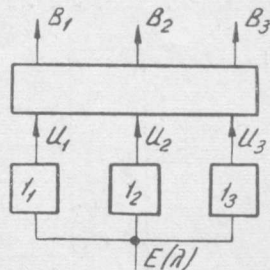


Рис. 1.

$$u_i = \int_{-\infty}^{+\infty} E(\lambda) A_i(\lambda) d(\lambda) \quad (i = 1, 2, 3, \dots n), \quad (3)$$

где $A_1(\lambda), A_2(\lambda), \dots, A_n(\lambda)$ — линейно независимые спектральные характеристики фотоприемников.

В общем случае, чтобы функция была линейно независимой по отношению к произвольным кривым $A_1(\lambda), A_2(\lambda), \dots, A_{n-1}(\lambda)$, необходимо, чтобы из равенства

$$\sum_{i=1}^n a_i A_i(\lambda) = 0 \quad (4)$$

вытекало, что $a_n = 0$, где $a_i (i = 1, 2, \dots, n)$ — произвольные вещественные числа.

Например, чтобы система четырех функций $A_1(\lambda), A_2(\lambda), A_3(\lambda), A_4(\lambda)$ была линейно независимой, достаточно, чтобы из равенства

$$a_1 A_1(\lambda) + a_2 A_2(\lambda) + a_3 A_3(\lambda) + a_4 A_4(\lambda) = 0 \quad (5)$$

следовало

$$a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = 0. \quad (6)$$

Таким образом, конструирование многокомпонентных систем для восприятия излучений довольно просто.

Особый вид многокомпонентных систем для анализа спектров представляют трехкомпонентная система, соответствующая нормальному человеческому зрению, и двухкомпонентная, которой соответствует зрение дихроматов. В отличие от этих систем однокомпонентная соответствует

ахроматическому зрению, воспринимающему информацию только о яркости излучений (зрение протанопов).

На периферии сетчатки зрение человека при достаточно низких уровнях освещения, когда в работу включаются колбочки и палочки глаза, можно рассматривать как четырехкомпонентную систему.

Рассмотрим теперь вопросы, связанные с конструированием многокомпонентных устройств для автоматического распознавания спектров. Под распознаванием здесь понимается автоматическое появление сигнала определенной величины или сигнала в определенной ячейке памяти выходе системы при предъявлении на вход определенного спектра излучений или класса спектров. При этом объективный колориметр, например, может явиться лишь датчиком прибора для распознавания цветов.

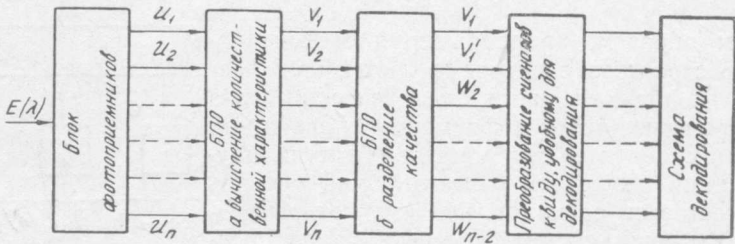


Рис. 2.

Процесс распознавания можно разбить на ряд ступеней в соответствии с общей схемой конструирования перцептронных устройств:

- 1) восприятие информации об излучениях;
- 2) предварительная обработка информации;
- 3) преобразование сигналов к виду, удобному для декодирования;
- 4) декодирование выделенных характеристик.

На рис. 2 изображена блок-схема такого устройства. На выходе блока фотоприемников формируются сигналы u_1, u_2, \dots, u_n .

Количество компонентов должно определяться особо в каждом конкретном случае. Очевидно, что чем больше компонентов содержит система восприятия информации об излучениях, тем более глубокий анализ спектрального состава излучения она производит. Однако по мере роста числа компонентов увеличиваются технические трудности, связанные с декодированием сигналов на выходе фотоприемников. По этой причине в качестве датчика, воспринимающего информацию об излучениях, нельзя использовать спектрофотометры, поскольку последние являются, в сущности, системой с бесконечным (теоретически) количеством компонентов.

Блок предварительной обработки сигналов об излучениях предназначен для выделения необходимых признаков. В случае трехкомпонентной системы такими признаками могут быть светлота, цветовой тон или насыщенность. Для получения этих признаков могут быть использованы математические модели цветового зрения [2].

Для n -компонентной системы также можно ввести количественную характеристику излучения по аналогии со светлотой для зрения, определив ее как линейную комбинацию выходных сигналов с фотоприемников

$$V_i = a_1 u_1 + a_2 u_2 + \dots + a_n u_n.$$

Можно ввести также качественные характеристики излучения, определив их как семейство относительных значений

$$V_i = \frac{u_i}{V_1}.$$

В (7) и (8) $V_i (i = 1, 2, \dots, n)$ обозначают выходные сигналы первого блока предварительной обработки, в котором осуществляется разделение информации на качественную и количественную. По аналогии с основным психофизическим законом Вебера — Фехнера, справедливым для живых организмов в достаточно широком диапазоне изменения входного раздражителя, введем логарифмические преобразователи в блок предварительной обработки (БПО).

В результате отношения (8) будут заменены разностями

$$V_i = \lg u_i - \lg V_1 \quad (i = 2, 3, \dots, n), \quad (9)$$

что упрощает техническую реализацию последних и расширяет динамический диапазон входных сигналов.

Вторая ступень предварительной обработки (БПО-2) предназначена для определения характерных признаков цвета из сигналов качественной информации излучения.

Для трехкомпонентной зрительной системы такими характерными признаками будут цветовой тон и насыщенность. В общей модели зрения [3] предлагаются возможные алгоритмы образования сигналов цветового тона и насыщенности. При этом насыщенность определяется как длина полярного радиуса, а цветовой тон — как полярный угол. Понятие насыщенности можно распространить на n -компонентные системы, определив его как расстояние до начала координат любой точки в n -мерном пространстве V_2, V_3, \dots, V_n :

$$V_1 = \sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}. \quad (10)$$

Тогда остальные характеристики излучений можно ввести как углы наклона радиуса насыщенности к осям n -мерного пространства. Таким образом, если в трехмерном цветовом пространстве множество цветовых тонов, различаемых человеческим глазом, систематизируется цветовым кругом Ньютона на одной плоскости, то для n -компонентной системы таких плоскостей нужно выделить $(n - 2)$:

$$W_i = \arccos \frac{V_i}{V_1}, \quad (i = 2, 3, \dots, n - 2). \quad (11)$$

Данная n -компонентная система построена по аналогии со зрительной системой, однако возможны и другие алгоритмы функционирования БПО в зависимости от выделения признаков, характеризующих ту или иную сторону излучений.

После их выделения необходимо декодирование выделенных характеристик излучения.

Для зрительной системы — это задача о распознавании всевозможных цветовых оттенков. Для n -компонентной системы схема декодирования должна ставить сигналы на выходе определенных ячеек памяти в соответствие различным комбинациям величин

$$V_1, V'_1, W_2, W_3, \dots, W_{n-2},$$

характеризующих определенные спектры.

Задачу декодирования сигналов об излучениях легче всего решать при помощи универсальной цифровой вычислительной машины. В этом случае в машину необходимо ввести в качестве эталонов N чисел, определяющих излучение в n -компонентной системе, либо получить их путем обучения. Однако при конструировании специализированных устройств целесообразно применять жесткую схему декодирования выделенных признаков.

С этой целью можно использовать дешифратор, предварительно преобразовав сигналы $V_1, V'_1, W_2, W_3, \dots, W_{n-2}$ в цифровые коды. Тогда

преобразования сигналов к виду, удобному для декодирования (рис. 2) представляет собой преобразователь аналог—код. Число разрядов двоичного счетчика преобразователя зависит от требуемой точности преобразования непрерывно изменяющихся сигналов и от количества подлежащих распознаванию спектров.

Дешифратор ставит в соответствие каждой комбинации сигналов $V_1, W_2, W_3, \dots, W_{n-2}$ на выходе преобразователя аналог—код в общем случае n -возбужденных шин. Информация с выхода дешифратора может записываться в регистр памяти, соответствующие ячейки которого объединяются в схемы совпадений.

Для уменьшения количества оборудования сигналы $V_1, W_2, W_3, \dots, W_{n-2}$ можно подавать на преобразователь аналог—код через коммутатор последовательно во времени. При этом только усложнится логическая схема управления прибора и увеличится время распознавания объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. П. Шабанов-Кушнаренок. Вывод модели цветового зрения из законов Грассмана. Сб. «Проблемы бионики», вып. 2. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969.
2. В. П. Пчелинов, Е. П. Путятин. Электронная модель распознавания цветов органом зрения человека. Сб. «Проблемы бионики», вып. 2. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969.
3. Ю. П. Шабанов-Кушнаренок. Математическая модель переработки информации в органе зрения человека. Сб. «Моделирование в биологии и медицине», вып. 2. Изд-во «Наукова думка», Киев, 1966.

АКСИОМАТИЧЕСКОЕ ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ

Ю. П. Шабанов-Кушнаренок

1. Постановка вопроса

В статье рассматривается задача математического моделирования стационарных и однородных зрительных процессов. Эта задача сводится к отысканию вида зависимости

$$\bar{S} = F[b(\lambda)],$$

где $b(\lambda)$ — входной сигнал органа зрения в виде спектра излучения

λ — длина волны световых колебаний;

\bar{S} — выходной сигнал органа зрения в виде трехмерного вектора цвета;

F — искомая функциональная зависимость выходного сигнала от входного.

Исследования Ньютона [1], Ломоносова [2], Юнга [3], Максвелла [4], Гельмгольца [5] и других авторов привели к построению трехкомпонентной теории цветового зрения, которую можно сформулировать следующим образом.

Всевозможные излучения $B(\lambda)$, для которых совпадают тройки чисел B_1, B_2, B_3 , вычисляемые по формулам

$$B_1 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda) m(\lambda) d\lambda, \quad B_2 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda) n(\lambda) d\lambda, \quad B_3 = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda) p(\lambda) d\lambda,$$

вызывают одинаковые цвета. Вместе с тем излучения, для которых тройки чисел различны, влекут за собой различные цвета. В формулах