$$\Phi_q = \sqrt{\frac{\iint\limits_D \left[B_0 \circ I_x I_y P \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}\right] x^2 \mathrm{d}x\mathrm{d}y}{\iint\limits_D \left[B_0 \circ I_x I_y P \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}\right] y^2 \mathrm{d}x\mathrm{d}y}} = e = 1.$$

Функционалы Φ_{ix}, Φ_{iy} также равны единице для отображений вида $B = B_0 \circ PQ$.

Легко также убедиться, что $\Phi_p = (B_0 \circ D) = \frac{1}{\sqrt{\lambda\mu}} = \frac{1}{p}$; $\Phi_q = \sqrt{\frac{\mu}{\lambda}} = \frac{1}{q}$ и значения этих функционалов, как и Φ_{ix}, Φ_{iy}, не зависят от места применения соответствующих нормализаторов в суперпозиции. Поэтому, согласно определению 4, нормализаторы F_{ix}, F_{iy}, F_q, F_p независимы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путятин Е. П. Теоретические предпосылки нормализации изображений. Сообщение I.— В сб.: Проблемы бионики. Вып. 10. Харьков, 1973, с. 47—51.
2. Курош А. Г. Теория групп. М., «Наука», 1967. 648 с.
3. Баккельман И. Я. Высшая геометрия. М., «Просвещение», 1967. 367 с.
4. Мальцев А. И. Основы линейной алгебры. М., «Наука», 1970. 400 с.

УДК 62.506.2

И. В. ШУЛЬГИН, канд. техн. наук,
Б. К. ЛОПАТЧЕНКО, *Б. В. ПИЛЬЩИКОВ*, инженеры

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕХАНИЗМОВ ЗРИТЕЛЬНОЙ РЕЦЕПЦИИ

Математические модели зрения можно строить двумя основными способами. Первый позволяет устанавливать алгоритмы работы глаза в процессе изучения принципов его работы, что вызывает необходимость исследования внутренней структуры глаза. При втором способе используется метод «черного ящика», благодаря которому можно, не изучая глубоко анатомо-физиологическое строение глаза, использовать только результаты наблюдений психических функций человека, связанных со зрительной рецепцией.

Знание физиологических процессов, лежащих в основе психических функций человека, дает возможность определять их закономерности. Однако сведения о физиологических механизмах органов чувств крайне недостаточны, не говоря уже о высших психических функциях — памяти, мышлении, воле и т. д. Имеются лишь данные психологических исследований этих процессов. В частности, описаны некоторые психические функции памяти, хотя о материальном субстрате реализации этих функций почти ничего неизвестно.

Исследования методом «черного ящика» исключают установление структуры и механизмов физиологических явлений; можно лишь получить операторы, являющиеся основой тех или иных психических функций человека. Однако для создания технических устройств, использующих, например, принципы работы органа зрения, достаточно знать именно эти операторы, так как их можно реализовать на иной основе по сравнению с глазом человека.

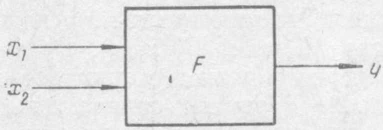

Рис. 1.

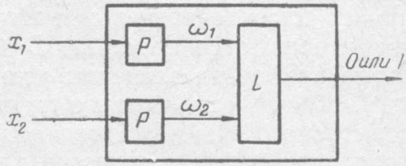

Рис. 2.

Рассмотрим систему преобразования информации — «черный ящик», который реализует некоторую функцию F (рис. 1). При этом входными сигналами служат пары (x_1, x_2) из некоторого множества X. В ответ на каждую пару входных сигналов система вырабатывает сигнал $y \in Y$, где множество $Y = \{0,1\}$.

Функцию F можно представить в виде

$$y = F\ (x_1,\ x_2), \tag{1}$$

где $x_1,\ x_2 \in X,\ y \in Y$.

В работе [1] дано более детальное описание рассматриваемого «черного ящика», который можно представить в виде схемы (рис. 2).

На схеме

$$y = F\,(x_1,\ x_2) = L\,(P\,(x_1),\ P\,(x_2)); \tag{2}$$

$$L\,(\omega_1,\ \omega_2) = \begin{cases} 1, \text{ если } \omega_1 = \omega_2, \\ 0, \text{ если } \omega_1 \neq \omega_2, \end{cases} \tag{3}$$

где $\omega_1 = P\,(x_1)$; $\omega_2 = P\,(x_2)$.

При этом функция F должна обладать свойствами симметричности, рефлексивности и транзитивности.

Приведенные результаты дают возможность рассмотреть построение математических моделей некоторых функций зрительного восприятия, в частности моделей преобразования информации в поле зрения, которые связаны с классификацией объектов зрения, подвергнутых некоторым афинным и яркостным преобразованиям. Человек уверенно относит к одному классу (нормализует) зрительные картины, отличающиеся такими преобразованиями, как масштаб, смещение, поворот, яркость, контрастность [2—4].

Используя экспериментальные данные, сформулируем аксиоматику нормализации объектов зрения. Для этого проанализируем конкретную психологическую задачу. Будем предъявлять испытуемому попарно зрительные картины, отличающиеся, к примеру, одним из указанных преобразований — масштабом. Испытуемый должен отвечать положительно («да»), если картины различаются масштабом, и отрицательно («нет»), если существуют какие-либо дополнительные отличия. Как показывают литературные данные [2] и эксперименты [3], испытуемый легко справляется с поставленной задачей.

Под входными сигналами «черного ящика» (рис. 1) будем понимать плоские зрительные картины $B_1(x, y)$ и $B_2(x, y)$, которые характеризуются яркостью B в каждой точке картин x, y и которые примем за элементы множества M, т. е. $B_1(x, y)$, $B_2(x,y) \in M$. В качестве выходного сигнала «черного ящика» служит ответ испытуемого «да» (1), когда он относит картины, отличающиеся лишь масштабом, к одному классу, и «нет» (0), когда картины, отличающиеся иными признаками, он относит к другому классу. Таким образом, вводится множество $P = \{0, 1\}$. Очевидно, что одной и той же картине соответствует субъективное зрительное представление испытуемого о ней, но вместе с тем существуют картины $B_1(x, y)$ и $B_2(x, y)$, отличающиеся в данном случае масштабом, т. е. удовлетворяющие условию $B_1(\lambda x, \lambda y) = B_2(x, y)$, которые у испытуемого вызывают одинаковые представления.

При многократном предъявлении одних и тех же отличающихся лишь масштабом картин испытуемый всегда дает однозначный ответ — «да» или «нет». Поэтому можно говорить о существовании функции F, реализуемой испытуемым, которая преобразует элементы из множества M в множество P, т. е.

$$y = F(B_1(x, y), B_2(x, y)), \tag{4}$$

где $B_1(x, y)$, $B_2(x, y) \in M$, $y \in P$.

Аналогичные рассуждения справедливы также для зрительных картин, отличающихся другими преобразованиями.

Функция F удовлетворяет требованиям рефлексивности, симметричности и транзитивности, которые в применении к указанной задаче означает следующее.

1. Одной и той же зрительной картине у человека соответствует одинаковое зрительное представление (рефлексивность).

2. Если о двух картинах B_1, B_2 у испытуемого существует одно и то же зрительное представление, то о картинах B_2 и B_1 оно останется прежним (симметричность).

3. Если о картинах B_1 и B_2, а также о B_2 и B_3 возникают одинаковые зрительные представления, то они одинаковы и для B_1, B_3 (транзитивность).

Сформулированные экспериментальные условия дают возможность представить функцию F в виде

$$z = F(B_1(x, y), B_2(x, y)) = L(\omega_1, \omega_2), \tag{5}$$

где L — функция, отвечающая условию (3), т. е.

$$\omega_1 = f(B_1(x, y)); \ \omega_2 = f(B_2(x, y)),$$

а f — функция преобразующая картины $B_1(x, y)$, $B_2(x, y)$, находящиеся в пространстве зрения (множество M), в элементы ω_1, ω_2 множества Ω.

Элементы ω_1, ω_2 можно трактовать как зрительные образы предъявляемых картин. В рассмотренной задаче эти субъективные зрительные образы абстрагируются от какого-либо из аффинных или яркостных преобразований, т. е. происходит нормализация зрительных образов, и испытуемый как бы отстраивается от масштаба, поворота или переноса указанных картин в поле зрения, а также от яркости и контрастности. В этом случае $\omega_1 = \omega_2$.

Совокупность всех зрительных образов, абстрагированных от размера определенной зрительной картины, образует множество Ω_1. Совокупность всех зрительных картин, абстрагированных от параллельного переноса, яркости, контрастности, образует соответственно множества Ω_2, Ω_3, Ω_4, Ω_5.

Сформулируем аксиоматические требования, которым должна удовлетворять любая функция $f(B(x, y))$, входящая в выражение

$$z = L[f B_1(x, y)), f(B_2(x, y))]. \tag{6}$$

Требование 1 (при двусторонней произвольной деформации зрительных картин). Равенство $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$ имеет место в том и только в том случае, если $B_1(\lambda x, \mu y) = B_2(x, y)$, где λ, μ — коэффициенты сжатия (растяжения).

Требование 2 (при односторонней деформации зрительных картин). Равенство $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$ имеет место в том и только в том случае, если $B_1(\lambda x, y) = B_2(x, y)$.

Требование 3 (при деформации одномерных картин). Равенство $f(B_1(x)) = f(B_2(x))$ имеет место в том и только в том случае, если $B_1(\lambda x) = B_2(x)$.

Требование 4 (при изменении масштаба). Равенство $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$ имеет место в том и только в том случае, если $B_1(\lambda x, \lambda y) = B_2(x, y)$.

Требование 5 (при двустороннем смещении зрительных картин в поле зрения). Равенство $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$ имеет место в том и только в том случае, если $B_1(x - l, y - m) = B_2(x, y)$, где l, m — произвольные вещественные числа.

Требование 6 (при одностороннем смещении зрительных картин). Равенство $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$ имеет место в том и только в том случае, если $B_1(x - l, y) = B_2(x, y)$.

Требование 7 (при смещении одномерных картин). Равенство $f(B_1(x)) = f(B_2(x))$ имеет место в том и только в том случае, если $B_1(x - l) = B_2(x)$.

Требование 8 (при повороте зрительных картин в поле зрения). Равенство $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$ имеет место в том и только в том случае, если $B_1(x \cos\theta + y \sin\theta - x \sin\theta + y \cos\theta) = B_2(x, y)$, где θ — угол поворота одной зрительной картины относительно другой.

Требование 9 (при изменении яркости зрительных картин). Равенство $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$ имеет место в том и только в том случае, если $\kappa B_1(x, y) = B_2(x, y)$, где κ — произвольная постоянная.

Требование 10 (при изменении контрастности с фоном). Равенство $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$ имеет место в том и только в том случае, если $B_1(x, y) + c = B_2(x, y)$, где c — произвольная постоянная.

Эти требования означают, что две зрительные картины, отличающиеся любым из приведенных преобразований, вызывают у человека одинаковые зрительные образы. Справедливо также обратное утверждение о том, что две зрительные картины, порождающие у испытуемого одинаковые зрительные образы, могут отличаться любым из указанных преобразований.

Приведем некоторые виды функций, удовлетворяющие сформулированной аксиоматике.

Для зрительных картин, отличающихся масштабом, функция имеет вид

$$f(B(x, y)) = \Phi\left[B\left(x\sqrt{\iint\limits_D B(\xi, \eta)\, d\xi\, d\eta},\ y\sqrt{\iint\limits_D B(\xi, \eta)\, d\xi\, d\eta}\right)\right], \tag{7}$$

где Φ — произвольная функция, имеющая однозначную обратную функцию, отражающую множество Ω на некоторое множество Ω';

D — область интегрирования;

ξ, η — связанные переменные.

Для зрительных картин, подвергнутых произвольной деформации по осям координат x и y:

$$f(B(x, y)) = \Phi\left\{B\left[x\int\limits_a^b B\left(\xi, \int\limits_{\varphi_1(\xi)}^{\psi_2(\xi)} B(\xi, \eta)\, d\eta\right) d\xi,\ y\int\limits_c^d B\left(\int\limits_{\psi_1(\eta)}^{\psi_2(\eta)} B(\xi, \eta)\, d\xi, \eta\right) d\eta\right]\right\}, \tag{8}$$

где ξ, η — текущие переменные;

a, b и c, d — соответственно крайние абсциссы и крайние ординаты области интегрирования D;

$\varphi_1(\xi)$, $\varphi_2(\xi)$, $\psi_1(\eta)$, $\psi_2(\eta)$ — функции, выражающие соответственно ординаты и абсциссы нижней и верхней граничных линий области D.

Для зрительных картин, подвергнутых параллельному переносу в поле зрения, функция $f(B(x, y))$ может быть представлена следующим образом:

$$f(B(x, y)) = \Phi\left[B\left(x + \frac{\iint\limits_D B(\xi, \eta)\, \xi d\xi d\eta}{\iint\limits_D B(\xi, \eta)\, d\xi d\eta},\ y + \frac{\iint\limits_D B(\xi, \eta)\, \eta d\xi d\eta}{\iint\limits_D B(\xi, \eta)\, d\xi d\eta}\right)\right]. \tag{9}$$

Для случая изменения яркости функция $f\ (B\ (x,\ y))$ имеет вид

$$f\ (B\ (x,\ y)) = \frac{B\ (x,\ y)}{\iint\limits_D B\ (\xi,\ \eta)\ d\xi d\eta}. \tag{10}$$

При изменении контрастности одной из возможных форм представления функции $f\ (B\ (x,\ y))$ может быть

$$f\ (B\ (x,\ y)) = B\ (x,\ y) - \frac{\iint\limits_D B\ (\xi,\ \eta)\ d\xi d\eta}{\iint\limits_D d\xi d\eta}. \tag{11}$$

Кроме представленных функций, можно привести целый ряд других, которые с точностью до взаимно-однозначного соответствия характеризуют процесс нормализации, осуществляемый зрительной системой человека. Справедливость приведенных аксиом была проверена специальными экспериментами. Опыты по проверке аксиом и порогам нормализации при аффинных преобразованиях изображений описаны в работе [3].

Покажем равносильность введенных аксиоматических требований и математических моделей, описывающих процесс нормализации, на примере приведенной модели нормализации при двусторонней деформации зрительных картин.

Теорема. *Если и только если выполняется требование 1, то функция нормализации может быть представлена в виде*

$$f\ (B\ (x,\ y)) = \Phi\left\{B\left[x\int\limits_a^b B\ (\xi\int\limits_{\varphi_1(\xi)}^{\varphi_2(\xi)} B\ (\xi,\ \eta)\ d\eta)\ d\xi,\ y\int\limits_c^d B\left(\int\limits_{\psi_1(\eta)}^{\psi_2(\eta)} B\ (\xi,\eta)\ d\xi,\eta)\ d\eta\right]\right\}, \tag{12}$$

Доказательство. Пусть выполняется требование 1. В соответствии с (12)

$$f\,(B_1\,(x,\,y)) = B_1\left\{x\int\limits_{a_1}^{b_1} B_1\left[\xi,\ \int\limits_{\varphi_1(\xi)}^{\varphi_2(\xi)} B_1\ (\xi,\ \eta)\ d\eta\right]d\xi,\ y\int\limits_{c_1}^{d_1} B_1\left[\int\limits_{\psi_1(\eta)}^{\psi_2(\eta)} B_1\ (\xi,\ \eta)\ d\xi,\ \eta\right]d\eta\right\};$$

$$f\ (B_2\ (x,\ y)) = B_2\left\{x\int\limits_{a_2}^{b_1} B_2\left[\xi,\ \int\limits_{\varphi_1'(\xi)}^{\varphi_2''(\xi)} B_2\ (\xi,\ \eta)\ d\eta\right]d\xi,\ y\int\limits_{c_2}^{d_2} B_2\left[\int\limits_{\psi_1'(\eta)}^{\psi_2''(\eta)} B_2\ (\xi,\ \eta)\ d\xi,\ \eta\right]d\eta\right\}. \tag{13}$$

Покажем, что при выполнении условий $a_2 = \frac{a_1}{\lambda}$, $b_2 = \frac{b_1}{\lambda}$, $c_2 = \frac{c_1}{\lambda}$, $d_2 = \frac{d_1}{\lambda}$, $\varphi_1'\ (\xi) = \varphi_1\left(\frac{\xi}{\lambda}\right)$, $\varphi_2'(\xi) = \varphi_2\left(\frac{\xi}{\lambda}\right)$, $\psi_1'\ (\eta) = \psi_1\left(\frac{\eta}{\mu}\right)$, $\psi_1'\ \ (\eta) = \psi_2\left(\frac{\eta}{\mu}\right)$ выполняется равенство $f\ (B_1\ (x,\ y)) = f\ (B_2\ (x,\ y))$.

В значение для $f(B_2(x, y))$ подставим $B_1(\lambda x, \mu y) = B_2(x, y)$:

$$f(B_2(x, y)) = B_1\left\{\lambda x \int_{a_2}^{b_2} B_1\left[\lambda\xi, \mu \int_{\varphi_1'(\xi)}^{\varphi_2'(\xi)} B_1(\lambda\xi, \mu\eta d\eta\right] d\xi,\right.$$

$$\left.\mu y \int_{c_2}^{d_2} B_1\left[\int_{\psi_1'(\eta)}^{\psi_2'(\eta)} B_1(\lambda\xi, \mu\eta)\, d\xi, \mu\eta\right] d\eta\right\}.$$

Произведем замену переменных:

$$\xi^* = \lambda\xi,\ d\xi^* = \lambda d\xi;\ \eta^* = \mu\eta,\ d\eta^* = \mu d\eta.$$

При этом ξ^* в случае изменения ξ от $a_2 = \frac{a_1}{\lambda}$ до $b_2 = \frac{b_1}{\lambda}$ будет изменяться соответственно от a_1 до b_1; $\varphi(\xi^*)$ при изменении $\varphi'(\xi)$ от $\varphi_1'(\xi) = \varphi_1\left(\frac{\xi}{\lambda}\right)$ до $\varphi_2'(\xi) = \varphi_2\left(\frac{\xi}{\lambda}\right)$ будет изменяться соответственно от $\varphi_1(\xi)$ до $\varphi_2(\xi)$; η^* при изменении η от $c_2 = \frac{c_1}{\lambda}$ до $d_2 = \frac{d_1}{\lambda}$ будет изменяться соответственно от c_1 до d_1, а $\psi(\eta^*)$ при изменении $\psi'(\eta)$ от $\psi_1'(\eta) = \psi_1\left(\frac{\eta}{\mu}\right)$ до $\psi_2'(\eta) = \psi_2\left(\frac{\eta}{\lambda}\right)$ будет изменяться от $\psi_1(\eta)$ до $\psi_2(\eta)$.

Следовательно,

$$f(B_2(x, y)) = B_1\left\{\lambda x \int_{a_1}^{b_1} B_1\left[\xi^*, \mu \int_{\varphi_1(\xi)}^{\varphi_2(\xi)} B_1\left(\xi^*, \eta^* \frac{d\eta^*}{\mu}\right]\frac{d\xi^*}{\lambda},\right.\right.$$

$$\left.\mu y \int_{c_1}^{d_1} B_1\left[\int_{\psi_1(\eta)}^{\psi_1(\eta)} B_1(\xi^*, \eta^*)\frac{d\xi^*}{\lambda}, \eta^*\right]\frac{d\eta^*}{\mu}\right\} = B_1\left\{x \int_{a_1}^{b_1} B_1\left[\xi^*, \int_{\varphi_1(\xi)}^{\varphi_2(\xi)} B_1(\xi^*, \eta^*)\, d\xi^*\right] d\xi^*,\right.$$

$$\left. y \int_{c_1}^{d_1} B_1\left[\int_{\psi_1(\eta)}^{\psi_2(\eta)} B_1(\xi^*, \eta^*)\, d\xi^*, \eta\right] d\eta^*\right\}.$$

После замены переменных $\xi^* = \xi$, $\eta^* = \eta$

$$f(B_2(x, y)) = B_1\left\{x \int_{a_1}^{b_1} B_1\left[\xi, \int_{\varphi_1(\xi)}^{\varphi_2(\xi)} B_1(\xi, \eta)\, d\eta\right] d\xi,\ y \int_{c_1}^{d_1} B_1\left[\int_{\psi_1(\eta)}^{\psi_2(\eta)} B_1(\xi, \eta)\, d\xi, \eta\right] d\eta.\right.$$

В силу (13) $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$.

Покажем теперь, что при $f(B_1(x, y)) = f(B_2(x, y))$ должно выполняться равенство $B_1(\lambda x, \mu y) = B_2(x, y)$.

Пусть

$$B_1\left\{x \int_{a_1}^{b_1} B_1\left[\xi, \int_{\varphi_1(\xi)}^{\varphi(\xi)} B_1(\xi, \eta)\, d\eta\right] d\xi,\ y \int_{c_1}^{d_1} B_1\left[\int_{\psi_1(\eta)}^{\psi_2(\eta)} B_1(\xi, \eta) d\xi, \eta\right] d\eta\right\} =$$

$$= B_2\left\{x\int\limits_{a_2}^{b_2} B_2\left[\xi, \int\limits_{\varphi_1'(\xi)}^{\varphi_2'(\xi)} B_2(\xi, \eta)\, d\eta\right] d\xi,\ y\int\limits_{c_2}^{d_2} B_2\left[\int\limits_{\psi_1''(\eta)}^{\psi_2''(\eta)} B_2(\xi, \eta)\, d\xi, \eta\right] d\eta\right\}. \qquad (14)$$

Обозначим

$$x\int\limits_{a_2}^{b_2} B_2\left[(\xi, \int\limits_{\varphi_1'(\xi)}^{\varphi_2'(\xi)} B_2(\xi, \eta)\, d\eta\right] d\xi = x^*;\ y\int\limits_{c_2}^{d_2} B_2\left[\int\limits_{\psi_1(\eta)}^{\psi_2'(\eta)} B_2(\xi, \eta)\, d\xi, \eta\right] d\eta = y^*.$$

Отсюда

$$x = \frac{x^*}{\int\limits_{a_2}^{b_2} B_2\left[\xi, \int\limits_{\varphi_1'(\xi)}^{\varphi_2'(\xi)} B_2(\xi,\eta)\, d\eta\right] d\xi};\ y = \frac{y^*}{\int\limits_{c_2}^{d_2} B_2\left[\int\limits_{\psi_1'(\eta)}^{\psi_2'(\eta)} B_2(\xi, \eta)\, d\xi, \eta\right] d\xi}.$$

Подставляем x, y в выражение (14):

$$B_2(x^*, y^*) = B_1\left\{x^* \frac{\int\limits_{a_1}^{b_1} B_1\left[\xi, \int\limits_{\varphi_1(\xi)}^{\varphi_2(\xi)} B_1(\xi, \eta)\, d\eta\right] d\xi}{\int\limits_{c_2}^{d_2} B_2\left[\xi, \int\limits_{\varphi_1'(\xi)}^{\varphi_2'(\xi)} B_2(\xi, \eta)\, d\eta\right] d\xi};\right.$$

$$\left. y^* = \frac{\int\limits_{c_1}^{d_1} B_1\left[\int\limits_{\varphi_1(\eta)}^{\psi_2(\eta)} B_1(\xi, \eta)\, d\xi, \eta\right] d\xi}{\int\limits_{c_2}^{d_2} B_2\left[\int\limits_{\psi_1(\eta)}^{\psi_2(\eta)} B_2(\xi, \eta)\, d\xi, \eta\right] d\xi}\right\}.$$

Обозначим

$$\lambda = \frac{\int\limits_{a_1}^{b_1} B_1\left[\xi, \int\limits_{\varphi_1(\xi)}^{\varphi_2(\xi)} B_1(\xi, \eta)\, d\eta\right] d\xi}{\int\limits_{c_2}^{d_2} B_2\left[\xi, \int\limits_{\varphi_1'(\xi)}^{\varphi_2'(\xi)} B_2(\xi, \eta) d\eta\right] d\xi};\quad \mu = \frac{\int\limits_{c_1}^{d_1} B_1\left[\int\limits_{\psi_1(\eta)}^{\psi_2(\eta)} B_1(\xi, \eta) d\xi, \eta\right] d\xi}{\int\limits_{c_2}^{d_2} B_2\left[\int\limits_{\psi_1'(\eta)}^{\psi_2'(\eta)} B_2(\xi, \eta)\, d\xi, \eta\right] d\xi}.$$

Тогда $B_1(\lambda x^*, \mu y) = B_2(x^*, y^*)$, а после замены переменных $\{x^* = x,\ y^* = y$ $B_1(\lambda x, \mu y) = B_2(x, y)$, что и требовалось доказать.

Аналогично можно доказать равносильность остальных введенных аксиом и предложенных моделей нормализации.

Согласно изложенным аксиоматическим требованиям, обосновывающим построение математических моделей нормализации зрительных образов, разработана теория инвариантных преобразований зрительных образов в пространстве изображений [4—6]. В связи с этим зрительные картины, подвергнутые ряду преобразований, можно приводить к некоторому эталонному виду, что следует использовать в технических устройствах, реализующих процессы нормализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульгин И. В., Лопатченко Б. К., Пильщиков Б. В. Математическое моделирование восприятия человеком монокулярного зрительного пространства.— В сб.: Проблемы бионики. Вып. 9. Харьков, 1972, с. 49—53.
2. Глезер В. Д. Механизмы опознавания зрительных образов. Л., «Наука», 1966. 286 с.
3. Путятин Е. П., Шульгин И. В., Лопатченко Б. К., Юрченко В. П. Психофизическое исследование механизмов нормализации человеком зрительных картин.— В сб.: Проблемы бионики. Вып. 6. Харьков, 1971, с. 26—30.
4. Путятин Е. П., Лопатченко Б. К., Левиков В. Б., Сердюченко В. Я. Нормализация изображений при изменении яркости и контрастности.— В сб.: Проблемы бионики. Вып. 11. Харьков, 1973, с. 15—21.
5. Путятин Е. П., Шульгин И. В., Юрченко В. П. Построение инвариантов смещения и поворота зрительных картин.— В сб.: Биологическая медицинская кибернетика и бионика. Вып. 3. Ин-т кибернетики АН УССР, Киев, 1970, с. 86—89.
6. Путятин Е. П., Шульгин И. В., Юрченко В. П., Абрамов О. М. К вопросу о моделировании механизмов нормализации зрительных образов.— В сб.: Проблемы бионики. Вып. 5. Харьков, 1970, с. 28—31.

УДК 62.506.2

Ю. А. КУМАНИН, инж.

ОБРАБОТКА ЦВЕТОВЫХ СИГНАЛОВ ПРОТИВОПОЛОЖНО-ЦВЕТОВЫМИ РЕЦЕПТИВНЫМИ ПОЛЯМИ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ЗРИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗАТОРА. *СООБЩЕНИЕ I*

Зрительная информация при обработке в зрительном анализаторе последовательно проходит ряд его уровней, где осуществляются кодирование, выделение существенных признаков, запоминание и воспроизведение, анализ и синтез зрительных сигналов. Слой фоторецепторов является первым уровнем зрительной системы, воспринимающим всю необходимую информацию из внешнего мира. В дальнейшем зрительная информация обрабатывается в сетчатке, рецептивные поля которой выделяют определенные признаки сигналов, поступающих из слоя рецепторов.

У приматов большая часть зрительных волокон (аксонов ганглиозных клеток сетчатки) оканчивается в наружном коленчатом теле (НКТ). Рецептивные поля НКТ, состоящие из рецептивных полей сетчатки [8—10] *, выделяют из сигналов сет-