

На выбранном множестве входных слов алгоритм работает безошибочно. Если же расширить это множество (словами или псевдословами), то погрешность работы алгоритма все равно будет ничтожно мала.

Составленный алгоритм реализован на ЭЦВМ «Минск-22». Полученная программа отлажена на различных массивах глагольных форм. Предложенный алгоритм может найти применение при решении различных задач классификации и представить самостоятельный интерес.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грамматика современного русского литературного языка. М., «Наука», 1970. 767 с.
2. Грамматика русского языка, т. I. М., изд-во АН СССР, 1960. 719 с.
3. Орфографический словарь русского языка, изд. 11-е, М., «Сов. энциклопедия», 1971. 520 с.
4. Бондаренко М. Ф., Соловьева Е. А. Методы решения задач морфологической и субморфологической классификации. Сб. «Проблемы бионики», вып. 10. Изд-во Харьковск. ун-та, 1973, с. 145—149.

НОРМАЛИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЯРКОСТИ И КОНТРАСТНОСТИ

*Е. П. Путятин, Б. К. Лопатченко, В. Б. Левиков,
Б. Я. Сердюченко*

Распознавание человеком зрительных картин обусловлено не абсолютным распределением лучистой яркости зрительной картины, а относительными различиями яркостей отдельных точек картины. В частности, пропорциональное изменение яркости зрительной картины и ее контрастность не влияют в широких пределах на результат узнавания.

Для зрительных картин, заданных в виде функций распределения яркости в поле зрения $B(x, y)$, эти изменения соответствуют преобразованию

$$B(x, y) = kB_0(x, y) + c, \quad (1)$$

где $B_0(x, y)$ — изображение с эталонной яркостью и контрастностью;

k, c — произвольные постоянные.

Нормализовать такие картины — значит построить некоторый оператор $F(B)$, действующий из пространства изображений снова в пространство изображений, и такой, что для каждого изображения из класса эквивалентности, образованного соотношением (1), будет выполняться тождество

$$F[B(x, y)] = B_0(x, y). \quad (2)$$

Число классов эквивалентности равно количеству различных типов изображений.

Построение операторов нормализации при пропорциональном изменении яркости изображения

Примером пропорционального изменения яркости изображения может служить изменение картины отраженной яркости при перемене ее освещенности (если в этом случае коэффициенты отражения всех ее точек остаются прежними). Преобразование функции яркости такой картины описывается соотношением (1), где постоянная $c = 0$.

В данном примере

$$k = \frac{E}{E_0},$$

где E_0 — первоначальная освещенность картины;

E — новое значение освещенности картины.

Рассмотрим процесс нахождения оператора нормализации, приводящего подобные картины к эталонному виду.

Пусть имеются зрительные картины $B(x, y)$ и $B_0(x, y)$. Тогда если

$$B(x, y) = kB_0(x, y), \quad (3)$$

то

$$F[B(x, y)] = F[B_0(x, y)] = B_0(x, y). \quad (3a)$$

Поскольку множество зрительных картин, согласно условию (3), образует группу, то оператор F надо искать в виде

$$F[B(x, y)] = \frac{B_0(x, y)}{\Phi(B)}, \quad (4)$$

где $\Phi(B)$ — произвольный вещественный функционал.

Легко показать, что предложение (3a) справедливо. Чтобы удовлетворялось условие (3a), необходимо и достаточно выполнить для (4) соотношение

$$\Phi(B) = k\Phi(B_0). \quad (5)$$

Действительно, для группы пропорционального изменения яркости условие нормализации (3a) запишется в виде

$$\frac{B(x, y)}{\Phi(B)} = \frac{B_0(x, y)}{\Phi_0(B_0)}.$$

С учетом (3) получаем необходимое условие (5), накладываемое на функционалы $\Phi(B)$ и являющееся достаточным. Условию (5) удовлетворяет любой линейный функционал. Действительно,

$$\frac{\Phi(B)}{\Phi(B_0)} = \frac{\iint_D kB_0(x, y)K(x, y) dx dy}{\iint_D B_0(x, y)K(x, y) dx dy} \equiv k.$$

Функция $K(x, y)$, в частности, может быть тождественно равна единице. Тогда оператор принимает вид

$$F[B(x, y)] = \frac{B(x, y)}{\iint_D B(x, y) dx dy}. \quad (6)$$

Функционалами $\Phi(B)$ могут служить выражения для нормы в соответствующем пространстве. Так, если функции $B(x, y)$ отнести к пространству L_2 , то

$$\Phi(B) = \|B\| = \sqrt{\iint_D [B(x, y)]^2 dx dy}. \quad (7)$$

Оператор в форме (6) фактически содержит выражения для нормы в пространстве суммируемых функций L . Обобщая (6) и (7), записываем

$$\Phi(B) = \sqrt[m]{\iint_D [B(x, y)]^m K(x, y) dx dy}. \quad (8)$$

При этом

$$\frac{\Phi(B)}{\Phi(B_0)} = \sqrt[m]{\frac{\iint_D k^m [B_0(x, y)]^m K(x, y) dx dy}{\iint_D [B_0(x, y)]^m K(x, y) dx dy}} \equiv k,$$

т. е. условие (5) выполняется.

Наконец, в качестве функционалов $\Phi(B)$, удовлетворяющих (5), применимы значения функции $B(x, y)$ в любой точке (x_0, y_0) , так как, по условию (3),

$$B(x_0, y_0) = kB_0(x_0, y_0).$$

Для удобства технической реализации целесообразно выбирать значения $\max B(x, y)$ или $\min B(x, y)$. При этом оператор нормализации будет иметь вид

$$F(B) = \frac{B(x, y)}{\max B(x, y)}$$

либо

$$F(B) = \frac{B(x, y)}{\min B(x, y)}. \quad (9)$$

Нормализация зрительных картин при изменении контрастности

Глаз человека распознает одни и те же зрительные картины, отличающиеся степенью контрастности. Под контрастностью картины β понимается отношение яркостей B самых светлых и самых темных деталей картины, т. е.

$$\beta = \frac{B_{\max}}{B_{\min}}.$$

Контрастность наблюдаемых в природе объектов достигает величин 1000 : 1 и более. Контрастность фотографических изобра-

жений значительно ниже 30:1. Тем не менее при наблюдении таких картин восприятие не затруднено. Человек уверенно распознает картины, контрастность которых меньше 10:1.

Контрастность изображения уменьшается при изменении подсветки внешним источником телевизионного экрана или экрана диапроекции. В этом случае преобразование функций яркости таких картин описывается выражением

$$B(x, y) = B_0(x, y) + c,$$

где c — произвольное число, соответствующее яркости подсветки.

Построим оператор отстройки от фона подсветки, учитывая, что изменение уровня яркости соответствует аддитивной группе.

Пусть заданы зрительные картины $B(x, y)$ и $B_0(x, y)$. При этом справедливо

Утверждение. Если

$$B(x, y) = B_0(x, y) + c,$$

то

$$F[B(x, y)] = F[B_0(x, y)] = B_0(x, y). \quad (10)$$

Оператор $F[B(x, y)]$ ищем в виде

$$S(x, y) = B(x, y) - \Phi(B) + c_0, \quad (11)$$

где $\Phi(B)$ — некоторый вещественный функционал.

Легко доказать

Утверждение. Для выполнения условия (10) необходимо и достаточно, чтобы

$$\Phi(B) - \Phi(B_0) = c. \quad (12)$$

Для линейных функционалов соотношение (12) не имеет места. Действительно,

$$\begin{aligned} L(B) - L(B_0) &= \iint_D [B_0(x, y) + c] K(x, y) dx dy - \\ &- \iint_D B_0(x, y) K(x, y) dx dy = c \iint_D K(x, y) dx dy. \end{aligned}$$

Анализируя это выражение, заключаем, что в качестве функционалов $\Phi(B)$ нужно выбирать

$$\Phi(B) = \frac{\iint_D B(x, y) K(x, y) dx dy}{\iint_D K(x, y) dx dy}. \quad (13)$$

Функция $K(x, y)$ может приниматься тождественно равной единице. Тогда выражение в знаменателе физически означает площадь поля зрения.

Оператор нормализации принимает вид

$$F[B(x, y)] = B(x, y) - \frac{\iint_D B(x, y) dx dy}{\iint_D dx dy} + c_0. \quad (14)$$

В качестве функционалов $\Phi(B)$, удовлетворяющих соотношению (12), очевидно, можно выбрать яркость отдельной точки. Для произвольной точки (x_0, y_0) зрительной картины, согласно условию (10), выполняется соотношение

$$B(x_0, y_0) - B_0(x_0, y_0) = c. \quad (15)$$

Оператор отстройки от фона в этом случае будет иметь наиболее простой вид

$$F[B(x, y)] = B(x, y) - B(x_0, y_0) + c_0. \quad (16)$$

Константу c_0 следует выбирать из условия $\min F[B(x, y)] \geq 0$, так как яркость не может быть отрицательной.

При этом

$$\begin{aligned} \min F[B(x, y)] &= \min [B(x, y) + c_0 - \Phi(B)] = \\ &= \min B(x, y) + c_0 - \Phi(B) \geq 0, \end{aligned}$$

т. е.

$$c_0 \geq \Phi(B) - \min B(x, y). \quad (17)$$

Величину $\Phi(B)$ оцениваем следующим образом:

$$\begin{aligned} \Phi(B) &= \frac{\iint_D B(x, y) K(x, y) dx dy}{\iint_D K(x, y) dx dy} \leq \frac{\iint_D \max B(x, y) K(x, y) dx dy}{\iint_D K(x, y) dx dy} = \\ &= \max B(x, y). \end{aligned}$$

Поэтому достаточно $c_0 \geq \max B(x, y) - \min B(x, y) = \delta B$, чтобы условие (17) выполнялось, каким бы ни было ядро функционала $K(x, y)$. Очевидно, что δB — величина, инвариантная изменению уровня яркости изображения. Для изображений одного класса δB постоянна, для изображений же различных классов она может меняться. Поэтому c_0 надо выбирать так, чтобы

$$c_0 \geq \max \delta B, \quad (18)$$

где $\max \delta B$ — наибольшее из значений δB для рассматриваемых классов эквивалентных изображений.

Нормализация изображений при одновременном изменении уровня яркости и контрастности

В практике чаще всего встречаются комбинированные преобразования картин, где одновременно изменяются и уровень яркости, и контрастность изображения. В этом случае произвольное и эталонное изображения связаны соотношением

$$B(x, y) = kB_0(x, y) + c, \quad k \neq 0.$$

Преобразования такого вида образуют группу. В самом деле, последовательно применяя к изображению $B_0(x, y)$ два преобразования с параметрами $(k_1 c_1)$ и $(k_2 c_2)$, получаем

$$k_2 [k_1 B_0(x, y) + c_1] + c_2 = k_2 k_1 B_0(x, y) + k_2 c_1 + c_2,$$

что равносильно использованию одного преобразования с параметрами $(k_2 k_1, k_2 c_1 + c_2)$, т. е. $\begin{pmatrix} k_2 \\ c_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_1 \\ c_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_2 k_1 \\ k_2 c_1 + c_2 \end{pmatrix}$.

При этом выполняется требование ассоциативности

$$\begin{pmatrix} k_3 \\ c_3 \end{pmatrix} \left[\begin{pmatrix} k_2 \\ c_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_1 \\ c_1 \end{pmatrix} \right] = \left[\begin{pmatrix} k_3 \\ c_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_2 \\ c_2 \end{pmatrix} \right] \begin{pmatrix} k_1 \\ c_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_3 k_2 k_1 \\ k_3 k_2 c_1 + k_3 c_2 + c_3 \end{pmatrix}.$$

Единичное (тождественное) преобразование также определено и имеет параметры $k = 1, c = 0$. Для каждого преобразования с параметрами (k, c) существует обратное с параметрами

$$\left(\frac{1}{k}; -\frac{c}{k} \right).$$

Сказанное выше позволяет искать оператор нормализации в виде

$$F [B(x, y)] = \frac{B(x, y) - \Phi_1(B)}{\Phi_2(B)}, \quad (19)$$

где функционалы $\Phi_1(B)$ и $\Phi_2(B)$ должны удовлетворять необходимым и достаточным условиям

$$\begin{aligned} \Phi_1(B) &= k\Phi_1(B_0) - c; \\ \Phi_2(B) &= k\Phi_2(B_0). \end{aligned} \quad (20)$$

Функционал $\Phi_2(B)$ ищем в виде разности двух функционалов $\Phi_2'(B)$ и $\Phi_2''(B)$, каждый из которых удовлетворяет условиям

$$\begin{aligned} \Phi_2'(B) &= k\Phi_2'(B_0) - c; \\ \Phi_2''(B) &= k\Phi_2''(B_0) - c. \end{aligned} \quad (21)$$

При этом один из указанных функционалов может совпадать с $\Phi_1(B)$.

Нетрудно убедиться, что в качестве функционалов $\Phi_1(B) = \Phi_2'(B)$ и $\Phi_2''(B)$ могут быть выбраны

$$\Phi_1'(B) = \frac{\iint_D B(x, y) \varphi_1(x, y) dx dy}{\iint_D \varphi_1(x, y) dx dy}; \quad \Phi_2''(B) = \frac{\iint_D B(x, y) \varphi_2(x, y) dx dy}{\iint_D \varphi_2(x, y) dx dy}, \quad (22)$$

где $\varphi_1(x, y)$ и $\varphi_2(x, y)$ — некоторые линейно независимые функции. Функционалы

$$\Phi_1'(B) = \max B(x, y); \quad \Phi_2''(B) = \min B(x, y) \quad (23)$$

также удовлетворяют необходимым и достаточным условиям (21).

Техническая реализация алгоритмов нормализации

Алгоритмы (6), (9) широко используются в телевизионных автоматах, например в целях поддержания на фотослое передающей трубки постоянной освещенности или для автоматического регулирования режима работы трубки.

Оператор (14) можно реализовать согласно схеме, представленной на рис. 1. Схема содержит передающую камеру 1, фотоприемник (например, ФЭУ) 2, видеоусилитель 3, аналоговые вычитающие устройства 4 и 5, блок формирования стандартного телевизионного сигнала 6, видеоконтрольное устройство 7.

Изображение, характеризующее лучистой яркостью $B(x, y)$, представляется в поле зрения объектива 8 и одновременно посредством светоделительного устройства 9 проектируется на светочувствительные входы передающей трубки 1 и фотоприемника 2.

При этом на выходе видеоусилителя 3 возникает последовательность видеоимпульсов $U(t)$, соответствующих лучистой яркости $B(x, y)$ изображения объекта. В случае линейности световых характеристик передающей трубки

$$B(x, y) + c \sim U(t) + U_0,$$

где c — уровень фона подсветки;

U_0 — уровень постоянной составляющей видеосигнала, соответствующий уровню подсветки.

На выходе фотоприемника 2 возникает сигнал постоянного тока, численно равный интегральной яркости нормализуемой картины:

$$U \sim \alpha \iint_D B(x, y) dx dy.$$

При этом коэффициент пропорциональности α может быть всегда подобран таким образом, что его величина

$$\alpha = \frac{1}{\iint_D dx dy}.$$

Сигнал с выхода фотоприемника 2 поступает на вход вычитающего устройства 4. Здесь из него вычитается постоянное напряжение, соответствующее величине c_0 , которая выбирается для данного класса картин из условия (18). В вычитающем блоке 5, на входы которого подключены выходы видеоусилителя 3 и блока 4, происходит окончательное преобразование, соответ-

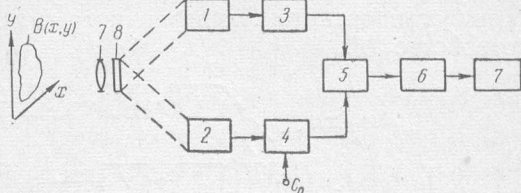


Рис. 1.

ствующее (14). В результате параметры функции, описывающей изображение объекта, остаются постоянными на экране видеоконтрольного устройства 7 при изменении уровня подсветки изображения.

Рассмотрим методы технической реализации алгоритма (19). Блок-схема устройства нормализации изображения представлена на рис. 2. Устройство имеет передающую телевизионную камеру 1, фотоприемники 2, 3 с оптическими фильтрами 4 и 5, видеоусилитель 6, потенциометрические делители 7, 8, аналоговые вычитающие устройства 9, 10, делительное устройство 11, блок формирования стандартного телевизионного сигнала 12, видеоконтрольное устройство 13.

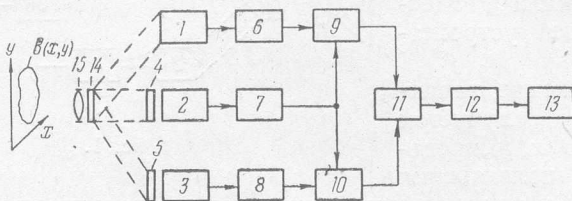


Рис. 2.

Изображение $B(x, y)$ с помощью объектива 14 и светоделительного устройства 15 проектируется на светочувствительные входы фотоприемников 2, 3 через оптические фильтры 4, 5 и непосредственно на светочувствительный вход передающей камеры 1.

Сигнал на выходе фотоприемника 2 пропорционален

$$\alpha \iint_D B(x, y) \varphi_1(x, y) dx dy,$$

где $\varphi_1(x, y)$ — характеристика закона распределения оптической плотности пространственного фильтра 4;

α — коэффициент пропорциональности, подбираемый таким образом, что $\alpha = \frac{1}{\iint_D \varphi_1(x, y) dx dy}$.

Последнее достигается надлежащим выбором коэффициента деления потенциометрической схемы 7. Таким образом, на выходе блока 7 получается численное значение функционала $\Phi_2'(B)$, а на выходе блока 8 — значение функционала $\Phi_2''(B)$. Вычитающее устройство 10 определяет разность этих функционалов. Назначение блока 9 (рис. 2) и блоков 4, 5 (рис. 1) аналогично.

Окончательно алгоритм (19) реализуется в аналоговом делительном устройстве 11. Блок 12 формирует стандартный телевизионный сигнал. Последний, поступая на вход видеоконтрольного устройства 13, вызывает появление изображения, параметры кото-

рого остаются постоянными независимо от яркостных преобразований исходного изображения.

Описанные устройства упрощают сравнение картин с эталонами и могут использоваться для распознавания образов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путятин Е. П., Шульгин И. В., Юрченко В. П., Абрамов О. М. К вопросу о моделировании механизмов нормализации зрительных образов. Сб. «Проблемы бионики», вып. 5. Изд-во Харьковск. ун-та, 1971, с. 102—106.

2. Путятин Е. П., Шульгин И. В., Юрченко В. П. Построение инвариантов смещения и поворота зрительных картин. Сб. «Биологическая, медицинская кибернетика и бионика», вып. 3. Ин-т кибернетики АН УССР, Киев, 1970, с. 51—64.

3. Путятин Е. П., Левиков В. Б. Нормализация изображений при аффинных преобразованиях. Сб. «Проблемы бионики», вып. 8. Изд-во Харьковск. ун-та, 1972, с. 44—52.

4. Ковалевский В. А. Корреляционный метод распознавания изображений. Ж. выч. матем. и матем. физ., 1962, т. 2, № 4, с. 120—126.

МОДЕЛИ ЦВЕТОВЫХ РЕЦЕПТИВНЫХ ПОЛЕЙ СЕТЧАТКИ СУСЛИКА

Ю. А. Куманин, Ю. И. Зозуля, В. Г. Червов

Изучение цветового зрения — одно из направлений в исследованиях зрительного восприятия. Установлено, что сетчатка глаза выделяет спектральные характеристики света и генерирует определенный вид сигналов, несущих закодированную информацию о цвете. Эти сигналы преобразуются подкорковыми нервными центрами, в частности наружным коленчатым телом, и поступают в цветоощущающие центры коры головного мозга. В коре сигналы, определенным образом взаимодействуя между собой, вызывают такие изменения метаболических процессов в клетках цветоощущающих центров, которые соответствуют ощущению определенного цвета. Это ощущение качественно характеризует воспринимаемые глазом физические параметры световых сигналов. Таким образом, цвет как реальная объективная характеристика окружающего мира воспринимается субъективно. Поэтому один и тот же световой стимул может восприниматься по-разному в зависимости от окружающих условий, эмоционального состояния и других факторов, влияющих на цветоощущение. Это значит, что цветовое зрение нельзя представлять только в виде простого процесса обработки световых сигналов.