

получения раскраски указанных графов в q_k цветов. Процессорное время, понадобившееся в среднем при $m_0 = 1000$ для решения задачи раскраски одного графа на ЭВМ ЕС 1045 при $n = 71 \pm 2$, составило 31,6 с, а при $n = 201 \pm 4 - 300$ с, т. е. увеличение числа вершин в 2,8 раза привело к увеличению требуемого времени в 9,5 раз. При этом основная часть времени уходит на поиск раскраски в χ цветов. Для сравнения среднее время получения раскраски в $\chi + 1$ цвет для $n = 71$ составило 3,8 с, а для $n = 201 - 35,4$.

Сопоставление этих данных с рис. 3 свидетельствует о том, что затраты машинного времени связаны в основном с работой последовательного алгоритма, временная сложность которого оценивается величиной $O(n^2)$.

Приведенные примеры демонстрируют эффективность применения предлагаемого алгоритма к раскраске графов (по крайней мере, рассматриваемого вида) с числом вершин, достигающим нескольких сотен. Представляется, что алгоритм может оказаться полезным и в случае графов с существенно большим числом вершин, если перед его применением использовать алгоритм Ершова — Кожухина, приводящий исходный граф к графу с меньшим числом вершин [1].

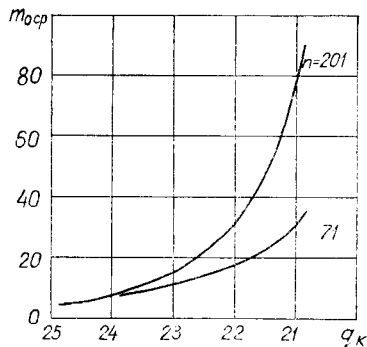


Рис. 3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евстигнеев В. А. Применение теории графов в программировании. — М.: Наука, 1985.
2. Vox F. A heuristic technique for assigning frequencies to mobile radio nets // IEEE Trans. on Vehicular Techn.— 1978.— VT-27, N 2.— P. 57.

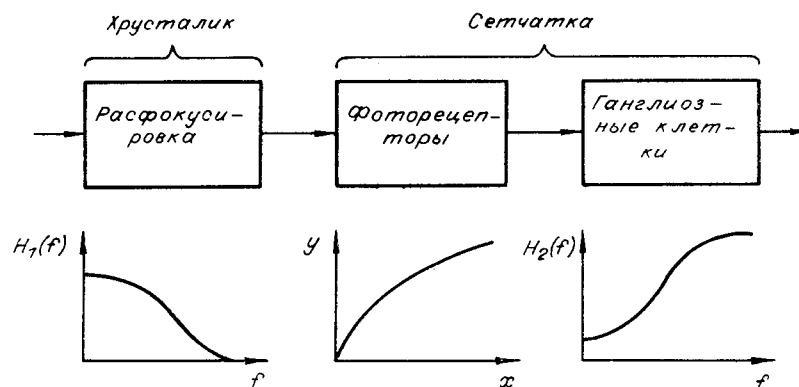
Поступило в редакцию 11 ноября 1988 г.

УДК 621.391.837

В. И. ГУПАЛ, И. В. ТРОХИМЕЦ
(Киев)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПЕРВИЧНЫХ ОТДЕЛАХ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА

При проектировании различных систем обработки изображений, конечным звеном которых является человек, большое внимание уделяется вопросам, связанным со свойствами его зрительной системы. В настоящее время подход, основанный только на учете статистических характеристик изображений, достиг предела своих возможностей и успехов можно ожидать лишь при условии согласования системы обработки изображений с особенностями зрительного анализатора человека. Это обстоятельство наглядно проявляется при разработке систем эффективного кодирования изображений [1]. С другой стороны, знание свойств зрительного анализатора человека необходимо для создания автоматических устройств распознавания изображений [2]. В этой связи большой интерес представляет исследование механизмов анализа изображений, протекающих в зрительной системе человека [1—5]. Одним из удобных путей анализа этих механизмов является исследование положений точек фиксации взора при осмотре изображений, так как анализ в зрительной системе тесно связан с движениями глаз при осмотре. На основе изучения движений глаз при осмотре в [2] сформулирована и экспериментально обоснована гипотеза, согласно которой локальные геометрические особенности изображений (информативные для человека фрагменты) могут быть выделены с помощью предложенной авторами специальной поисковой функции — функции информативности (ФИ). Значение этой функции в каждой точке изображения (в центре рассматриваемого фрагмента) есть число, характеризующее степень «регулярности» изображения в пределах данного фрагмента. Для определения этого числа в [2] использовалось стандартное изображение с максимальной нерегулярностью (например, черное пятно на белом фоне). Тогда значение функции информативности представляет собой меру различия рассматриваемого и стандартного фрагментов, понимаемую как евклидово расстояние между этими фрагментами. Предложенный таким образом подход на основе анализа экстремумов ФИ объяснил с единых позиций множество иллюзий, присущих человеческому зрению, и позволил определить, какие фрагменты изображений наиболее информативны для зрительной системы человека. Однако открытым остался вопрос, почему точки фиксации взора совпадают с экстремумами введенной таким искусственным путем ФИ. Прежде чем ответить



изображения (углы, пересечения прямых линий и т. п.). Точки фиксации взгляда при быстрых скачкообразных движениях глаза располагаются именно там, где наблюдается информативный фрагмент при расфокусировке. Следовательно, для учета явления расфокусировки хрусталика необходимо в модель зрительной системы человека включить фильтр нижних частот (ФНЧ), передаточная функция которого должна соответствовать передаточной функции хрусталика глаза.

В настоящее время наиболее полной моделью первичных отделов зрительной системы человека является модель, состоящая из трех последовательно соединенных звеньев (рис. 1). Первое звено представляет собой пространственный изотропный ФНЧ [1], учитывает сферическую aberrацию хрусталика, влияние зрачка и частотные ограничения конечного числа фоторецепторов, так как все эти явления можно описать с помощью ФНЧ. Учитывая результаты [5], данное звено должно также отражать явление расфокусировки хрусталика относительно сетчатки. Заметим, что явление расфокусировки связано не только с периферийным, но и с центральным зрением, так как хрусталик в своем движении большую часть времени расфокусирован на 0,2–0,3 диоптрии [5]. Следовательно, доминирующим при выборе характеристики ФНЧ должно быть все же явление расфокусировки, так как минимальная частота среза ФНЧ будет именно в этом случае. Второе звено представляет собой нелинейную характеристику фоторецепторов [1, 3, 4]. Эта характеристика может быть описана логарифмической кривой или более точно зависимостью L^v при $v = 1/2$ или $v = 1/3$. Далее следует фильтр верхних частот (ФВЧ), учитывающий явление латерального торможения ганглиозных клеток [1, 3, 4]. Таким образом, данная модель может служить моделью первичных отделов зрительной системы человека, учитывающей явление расфокусировки. Анализ изображений, обработанных в соответствии с данной моделью, позволил ответить на вопрос, почему зрительная система человека реагирует на экстремумы ФИ, предложенной в [2].

В результате обработки исходного изображения в соответствии с моделью (см. рис. 1) была получена двумерная функция, заданная на том же растре, что и исходное изображение. Назовем ее информативной функцией (ИФ) рассматриваемого изображения. Обработка проводилась на ЭВМ. В качестве ФНЧ использовался рекурсивный цифровой фильтр скользящего среднего [6]

$$c_{k,l} = \frac{1}{(N_1 + N_2 + 1)(M_1 + M_2 + 1)} \sum_{m=-M_1}^{M_2} \sum_{n=-N_1}^{N_2} a_{k-m, l-n}, \quad (1)$$

где $c_{k,l}$ — элемент на выходе фильтра; N_1, N_2, M_1, M_2 — размеры окна, по которому производится усреднение; $a_{k,l}$ — элемент исходного изображения.

Роль ФВЧ выполнял аналогичный (1) рекурсивный фильтр вида

$$b_{k,l} = a_{k,l} - \frac{1}{(N_3 + N_4 + 1)(M_3 + M_4 + 1)} \sum_{m=-M_3}^{M_4} \sum_{n=-N_3}^{N_4} a_{k-m, l-n}, \quad (2)$$

здесь $b_{k,l}$ — элемент на выходе ФВЧ; N_3, N_4, M_3, M_4 — размеры окна; $a_{k,l}$ — элемент исходного изображения.

Исходными изображениями являлись контурные изображения отрезков прямых, углов, пересекающихся прямых и т. п., представленные на растре 32×32 элемента.

Анализ полученных ИФ всех контурных изображений показал, что расположение локальных экстремумов этих функций полностью совпадает с расположением локальных экстремумов ФИ, введенной в [2]. Один из примеров рассмотренных изображений приведен на рис. 2. На рис. 3 представлена его ИФ при следующих значениях входящих в (1), (2) величин: $N_1 = N_2 = M_1 = M_2 = 1$ и $N_3 = N_4 = M_3 = M_4 = 4$. Сплошными линиями на рисунке изображены области с одинаковыми значениями функции, величина которых помечена цифрами в разрывах соответствующих линий, штриховыми линиями — нулевой уровень. Локальные минимумы обозначены знаком \otimes , а локальные максимумы — \bullet . Из рисунка видно, что ИФ отрезка прямой имеет локальные максимумы вблизи конечных точек. Локальные минимумы и максимумы ИФ для изображения прямого угла расположены внутри него, причем максимум находится ближе к вершине. Кроме того, существует еще два локальных минимума, расположенных с внешней стороны угла вблизи вершины (см. рис. 3).

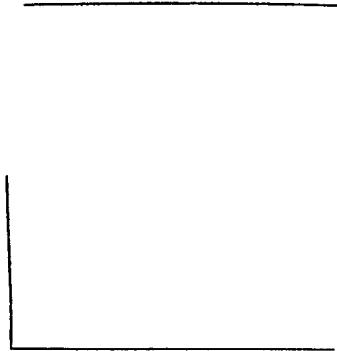


Рис. 2

Представляет интерес исследовать зависимость положения экстремумов ИФ от характеристик ФНЧ и ФВЧ. Увеличим расфокусировку при неизменной характеристике ФВЧ. Это достигается увеличением N_1, N_2, M_1, M_2 в (1), т. е. уменьшением частоты среза ФНЧ. В этом случае все локальные экстремумы ИФ уменьшаются по абсолютному значению и смещаются в сторону, противоположную контуру. Экстремум вблизи конца отрезка прямой линии смещается к центру отрезка, раздваивается и уменьшается по абсолютной величине. При дальнейшем увеличении расфокусировки образуется один экстремум в середине отрезка. Аналогичное явление имело место при увеличении размеров окна стандартного изображения в [2].

Пусть теперь характеристика ФНЧ будет постоянной, а изменяется частота среза ФВЧ. Этого можно достичь увеличением N_3, N_4, M_3, M_4 в (2). В такой ситуации экстремумы ИФ растут по абсолютной величине, а расстояние между ними увеличивается за счет смещения дальних экстремумов. Следует также отметить, что ИФ

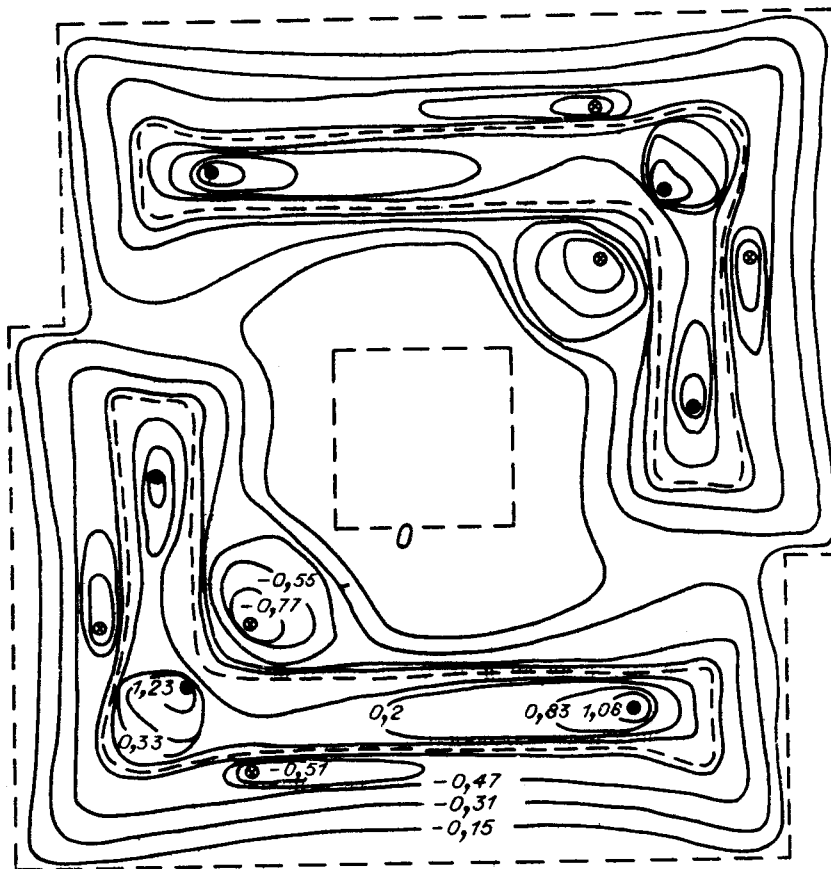


Рис. 3

очень сильно меняется в зависимости от соотношения между характеристиками ФНЧ и ФВЧ. При преобладании в модели свойств ФВЧ ИФ позволяет выделить даже края контуров (два противоположных перепада), которые характеризуют конечную толщину контура.

Кроме того, полученная ИФ хорошо объясняет многие иллюзии, присущие человеческому зрению. Так, с ее помощью становятся очевидными причины многих геометрических иллюзий [2], а также иллюзий Эйнтховена [2], полос Маха и одновременного контраста [4].

Таким образом, приведенные результаты позволяют сделать вывод, что в качестве модели первичных отделов зрительной системы человека целесообразно использовать модель, представленную на рис. 1. Получаемая на ее выходе ИФ позволяет объяснить многие особенности восприятия изображений человеком-наблюдателем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кунт М., Икономопулос А., Кошер М. Методы кодирования второго поколения // ТИИЭР.— 1984.— 72, № 4.
2. Завалишин Н. В., Мучник И. Б. Модели зрительного восприятия и алгоритмы анализа изображений.— М.: Наука, 1974.
3. Гранрат Д. Дж. Роль моделей зрения человека в обработке изображений // ТИИЭР.— 1981.— 69, № 5.
4. Стокхем Т. Обработка изображений в контексте моделей зрения // ТИИЭР.— 1972.— 60, № 7.
5. Гишбург В. М. Формирование и обработка изображений в реальном времени: Методы быстрого сканирования.— М.: Радио и связь, 1986.
6. Ярославский Л. П. Введение в цифровую обработку изображений.— М.: Сов. радио, 1979.

Поступило в редакцию 24 ноября 1987 г.

УДК 681.327

Ю. А. БУНЯК, Н. М. ДАНИЛЬЧУК, Я. И. КАПИЦКИЙ
(Винница)

ИНТЕРФЕЙСНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МИКРОЭВМ «ЭЛЕКТРОНИКА 60» И ДВК

Одна из центральных задач в организации информационно-вычислительных систем (ИВС) состоит в сопряжении базовой микроЭВМ с устройствами первичной обработки данных. Ограничение на число модулей в крейте микроЭВМ обуславливает требование минимально возможного объема устройства сопряжения — интерфейсного модуля (ИМ). Такой ИМ представлен в данной работе. Он предназначен для сопряжения аппаратуры различного целевого назначения и микроЭВМ с интерфейсом типа МПИ [1]. ИМ выполняет следующие функции: обмен ЭВМ с 32 регистрами, четыре из которых принадлежат ИМ; передачу массива данных произвольной длины в заданную область памяти ЭВМ в режиме прямого доступа (ПДП); иницирование прерывания программы по двум программно устанавливаемым векторам прерывания (ВП).

На рисунке приведена структурная схема ИМ, которая включает магистральные преемопередатчики Д1 и Д11 для подключения шины данных (ШД) ИМ соответственно к каналу адреса/данных (КА/Д) ЭВМ и к шине данных интерфейсного канала (ИК). Функции согласования сигналов управления обменом данными в ИК с протоколом обмена в канале ЭВМ выполняет БИС управления интерфейсом (УИ) КР1802ВВ2 Д2 [2]. Структурная схема также включает селектор адреса (СА) Д3, блоки синхронизаторов обмена (СО) и доступа (СД) к КА/Д, регистры Д4—Д6, Д8 и Д9, счетчик Д7, схему сравнения Д10, магистральные передатчики Д12, Д14 и приемники Д13.

В табл. 1 приведены перечень и назначение сигналов ИК, в табл. 2 — формат регистра слова состояния и управления (РССУ). Рассмотрим выполнение ИМ перечисленных выше функций.

Доступ к регистрам ИМ и ИК выполняется с помощью СА, который в адресной части обмена сравнивает состояние ШД с установленным на втором входе СА кодом адреса ИМ (АИМ); по фронту сигнала СИА результат сравнения и пять младших разрядов (кроме нулевого) фиксируются в регистре Д4. Если обмен производится с регистрами ИК, то СО формирует сигнал В-ИК (см. табл. 1). Синхронно с сигналами ВВОД или ВЫВОД выполняются циклы чтения или записи, при этом