



операции над всем вводимым в ЭВМ кадром или над частью кадра. Применение матричного процессора позволяет существенно сократить время предварительной обработки интерферограмм, что сказывается на характеристиках всей системы в целом.

Отображение результатов ввода и обработки интерферограмм с помощью полутонного черно-белого дисплея дает возможность оперативно изменять режимы обработки изображений.

Оперативная память (ОЗУ), выполненная в стандарте КАМАК, позволяет хранить два кадра (256×256 точек), не используя внешних носителей информации, что значительно сокращает время всей обработки.

Применение описанной системы дает экспериментатору возможность анализировать результаты обработки в реальном времени, что существенно повышает эффективность его работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Де С. Т., Козачок А. Г., Логинов А. В., Солодкин Ю. Н. Голографическая система для получения, обработки и расшифровки интерферограмм.— Квант. электроника, 1977, т. 4, № 1.
2. Де С. Т., Козачок А. Г., Логинов А. В., Солодкин Ю. Н. Голографический интерферометр с минимальной погрешностью измерения смещений и деформаций.— В кн.: Голографические измерительные системы/Под ред. А. Г. Козачка. Новосибирск: изд. НЭТИ, 1978.
3. Де С. Т., Козачок А. Г., Логинова Н. А., Натальченко В. В. Измерительная система для исследования статистических характеристик яркости изображений.— В кн.: Голографические измерительные системы/Под ред. А. Г. Козачка. Новосибирск: изд. НЭТИ, 1978.
4. Брейтман Б. А. и др. Матричный процессор в системе восстановления изображений из цифровых голограмм, выполненной в стандарте КАМАК.— В кн.: Тез. докл. VI Всесоюз. конф. «Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ». Новосибирск: изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1981.

Поступило в редакцию 13 января 1982 г.

УДК 681.3.06

В. П. КОСЫХ, А. И. ПУСТОВСКИХ, Н. С. ЯКОВЕНКО
(Новосибирск)

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА

В работе приводится описание программной реализации специализированного процессора для обработки изображений. Методологической основой процессора являются принципы математической морфологии, разработанные в трудах сотрудников Центра математической морфологии (Фонтенбло, Франция) [1, 2 и др.]. Специализированный процессор, выполненный в виде системы программных модулей для ЭВМ ЕС-1010, позволяет реализовать цифровую обработку бинарных и полутонных изображений.

Структура исходного изображения и представление данных. Для представления данных выбрано гексагональное поле; в этом случае каждая точка (кроме граничных) имеет шесть соседей. Если устройство ввода информации не обладает возможностью считывания изображения в таком порядке, то гексагональное поле можно получить из изображения, разложенного по строкам: из первой строки берутся только четные точки, следующая строка пропускается, из третьей берутся только нечетные, четвертая пропускается, из пятой — снова четные точки и т. д. Бинарное изображение получается из исходного полутонового посредством задания порогового уровня. Основной рабочий буфер процессора позволяет хранить данные и производить операции на восьми плоскостях по 128×128 бит. Структурным элементом будем называть множество, состоящее из центральной точки и шести ее соседей; причем каждой из семи точек соответствует значение « ϕ », «1» или «произвольно» (т. е. « ϕ » или «1»). Кроме того, некоторые структурные элементы (не имеющие центральной симметрии) могут быть повернуты на 1, 2, ..., 5 позиций по часовой стрелке относительно исходного положения. Основная операция математической морфологии — сравнение (HIT OR MISS) — заключается в пошаговом просмотре и сравнении точек (вместе с шестью соседями) одной из плоскостей рабочего буфера с заданным структурным элементом. Если очередная семерка точек совпадает по значению со структурным элементом (если точке приписано значение «произвольно», то она считается совпадающей со сравниваемой точкой независимо от того, какое значение той приписано), то в точку результирующей плоскости, имеющую те же координаты, что и центральная точка сравниваемой семерки исходной плоскости, помещается «1», в противном случае — « ϕ ».

Операции клеточной логики и математической морфологии. Операции программно-реализованного специализированного процессора математической морфологии разбиты на несколько видов. К одноместным операциям относятся также, для которых в качестве исходной и результирующей плоскостей используется плоскость рабочего буфера. Параметрами таких операций являются номер плоскости, бинарная переменная, а также при подсчете площади целочисленная переменная (количество единиц в плоскости), а в случае поиска — две координатные целочисленные переменные. К одноместным операциям относятся: CLEAR — заполнение всей плоскости « ϕ » или «1», FRAME — занесение « ϕ » или «1» во все граничные точки, COMPLEMENT — логическое дополнение, AREA — вычисление площади. Двухместные операции используют в качестве исходных одну либо две плоскости и в качестве результирующей вторую из них. К таким операциям относятся: SEEK — поиск первой единицы при последовательном просмотре плоскости (результатирующая плоскость будет содержать одну «1», остальные — «0»); SEND — пересылка содержимого одной плоскости в другую; LOGICAL AND — логическое И; LOGICAL INCLUSIVE OR — логическое ИЛИ; LOGICAL EXCLUSIVE OR — логическое исключающее ИЛИ; LOGICAL SUBTRACTION — логическое вычитание. К двухместным операциям относятся также операции математической морфологии, у которых одним из параметров является структурный элемент. Основная морфологическая операция — HIT OR MISS — сравнение, остальные операции получаются из сравнения и логических операций: EROSION — эрозия (сравнение со структурным элементом, состоящим из всех «1»); DILATATION — дилатация (две последовательно выполняемые операции: сравнение со структурным элементом, состоящим из всех единиц, и логическое дополнение результирующей плоскости); OPENING — заполнение (эрозия и дилатация); CLOSING — пошление (дилатация и эрозия); THINNING — утоньшение (сравнение и логическое вычитание); THICKING — утолщение (сравнение и логическое ИЛИ).

Ввод/вывод. Содержимое любой из восьми плоскостей можно вывести на телевизионный монитор с помощью операции DISPLAY — визуализация. Исполняемая программа COPYSQ мониторного типа, работающая в диалоговом режиме с инициативой программы, позволяет производить все 18 указанных операций клеточной логики и математической морфологии. Помимо этого, программа дает возможность осуществить выбор порогового уровня для получения одной плоскости бинарного файла (хранящего 8 бинарных изображений), производит преобразование структуры файла из обычного прямоугольного формата изображения в гексагональный, позволяет переместить любую плоскость одного бинарного файла в заданную плоскость другого и, наконец, визуализировать одну или несколько плоскостей бинарного файла.

Программная реализация процессора, оптимизированного по времени исполнения описанных операций, обеспечивает следующее быстроедействие: логическая операция над двумя плоскостями по 128×128 бит выполняется за 1,8 с, операция сравнения (HIT OR MISS) над средними по сложности изображениями — за 6 с. Опыт эксплуатации процессора показал его эффективность в задачах обработки изображений (фильтрация, классификация, выделение и разделение объектов и т. д.) и позволил начать разработку аппаратно-морфологического процессора.

В заключение авторы выражают признательность проф. Ж. Серра из Центра математической морфологии, любезно предоставившему препринт своих лекций по математической морфологии [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Матерон Ж. Случайные множества и интегральная геометрия.— М.: Мир, 1978.
2. Serra J. Lectures on Image Analysis by Mathematical Morphology.— Fontainebleau, Juillet, 1976, N-475.
3. Serra J. Summer School in Mathematical Morphology.— Fontainebleau, June, 1981, C-91.

Поступило в редакцию 23 февраля 1982 г.

УДК 621.382

А. Г. ЕРМОЛАЕВ
(Москва)

ОПТИМИЗАЦИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Под идентификацией изображений будем понимать следующую задачу морфологического анализа: пусть известен набор «идеальных» изображений, определяющих форму [1] эталонов и представляющих собой кусочно-постоянные функции, заданные на поле зрения X :

$$\varphi_n(x) = \sum_{i=1}^m c_{in} \chi_{ni}(x) \quad (n = 1, 2, \dots), \quad (1)$$

где $\{\chi_{ni}(x), i = 1, \dots, m\}$ — набор индикаторных функций подмножеств поля зрения $X = \bigcup_{i=1}^m A_{ni} (A_{ni} \cap A_{nj} = \emptyset, i \neq j)$; c_{in} — некоторые константы, характеризующие «яркость» изображения $\varphi_n(x)$ на множестве $A_{ni} \subset X$. Для идентификации предъявляется изображение $\psi(x) = \sum_{i=1}^m c_i \chi_{ki}(x) + v(x)$. Здесь c_i — вообще говоря, другие постоянные, $v(x)$ — некоррелированный гауссов шум с известными моментами $E v(x) = 0$ и $D v(x) = \sigma_0^2$. По наблюдаемому изображению $\psi(x)$ необходимо определить, каким «идеальным» $\varphi_n(x)$ оно порождено. Решающее правило, минимизирующее среднее число ошибок идентификации [2], предписывает высказываться в пользу изображения с номером k , если выполнено условие

$$\|\psi(x) - P_k \psi(x)\| < \|\psi(x) - P_n \psi(x)\|, \quad k \neq n. \quad (2)$$

Морфологический оператор P_n определяется формулами

$$P_n \psi = \sum_{i=1}^m c_i \chi_{ni}; \quad c_i = (\psi, \chi_{ni}) / \text{mes } A_{ni}. \quad (3)$$

Предположим, что поле зрения X состоит из N дискретных точек, тогда φ, ψ, χ_{ni} будут векторами в N -мерном евклидовом пространстве R_N . Определим скалярное произведение $(\varphi, \psi) = \sum_{x=1}^N \varphi(x) \psi(x)$ и норму $\|\psi\|^2 = (\psi, \psi)$.

Несложно подсчитать, что трудоемкость вычислений по формулам (2), (3) пропорциональна N . С другой стороны, практика показывает [2], что помехозащищенность морфологических методов очень высока и увеличивается с ростом N . Поэтому имеет смысл поставить задачу об оптимальном выборе N , гарантирующем заданное среднее число верных идентификаций в серии испытаний. Будем решать эту задачу для набора из двух эталонных изображений ($n = 1, 2$ в (1)) с индикаторными функциями $\{\chi_i(x)\}$ и $\{\tilde{\chi}_i(x)\}$, $i = 1, \dots, m$, которые по формуле (3) определяют операторы P и \tilde{P} соответственно. Тогда, если $\psi(x) = \sum_{i=1}^m c_i \chi_i(x) + v(x)$, то величина $\xi_1 = \|\psi - P\psi\|^2 / (N - m)$ будет случайной величиной, контролируемой распределением Пирсона с $N - m$ степенями свободы, математическим ожиданием σ_0^2 и дисперсией $2\sigma_0^4 / (N - m)$. $\xi_2 = \|\psi - \tilde{P}\psi\|^2 / (N - m)$ также контролируется распределением Пирсона с тем же числом степеней свободы, но со смещением

$$\delta = \sum_{i=1}^m (c_i^2 \tau_i - \tilde{c}_i^2 \tilde{\tau}_i) / (N - m),$$

где $\tilde{c}_i = \sum_{k=1}^m c_k (\chi_k, \tilde{\chi}_i) / \tilde{\tau}_i$, $\tilde{\tau}_i = \sum_{k=1}^m (\chi_k, \tilde{\chi}_i)$ и $\tau_i = \sum_{k=1}^m (\chi_i, \tilde{\chi}_k)$.