

УДК 535.004

ЛЮ ЛАНЬЛАНЬ (КНР)

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОРФОЛОГИИ В ОБЛАСТИ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

A principle of mathematical morphology in image processing is introduced. Pattern recognition and edge detection are implemented by the optical-electrical image processing system, and the experimental results are given.

В связи с бурным развитием компьютерной техники использование систем обработки изображений становится все более необходимым для различных отраслей промышленности. Одной из актуальных технических задач является создание новых перспективных систем обработки изображений. Существуют различные подходы к решению этой задачи, в том числе и использование математической морфологии - относительно нового и эффективного способа обработки изображений, основанного на рассмотрении изображения в качестве некоторого множества и применении для его анализа теоретико-множественных операций [1—3]. При этом исходное изображение преобразуют в некоторую математическую модель (множество точек), к которой потом применяются морфологические операции с заданным структурирующим элементом. В математической морфологии алгоритмы просты, и при правильном выборе структурирующего элемента достаточно эффективно достигаются требуемые преобразования изображений.

В настоящей статье рассмотрены теоретические основы математической морфологии и продемонстрирована эффективность использования оптико-

электронной системы, работающей на принципах математической морфологии, для распознавания образов и выделения границ (оконтуривания) изображений.

1. Теоретические основы математической морфологии

Математическая морфология послужила основой для создания алгебры бинарных изображений [4, 5], представляющей собой одну из теоретических систем их обработки. Используя обозначения и определения из [4, 5] для описания функционирования бинарно-алгебраической системы обработки изображений, введем в пространство изображений $P(W)$ пять элементов (I, A, A^{-1}, B, B^{-1}) и три основные операции ($\oplus, \cup, \bar{}$): \oplus - расширения, \cup - объединения, $\bar{}$ - компенсации. Любые другие более сложные операции в математической морфологии могут быть выражены через эти три, которые определяются следующим образом:

1) операция компенсации для характеристики изображения X :

$$\bar{X} = \{(x, y) \mid (x, y) \in W \wedge (x, y) \notin X\},$$

где \wedge - логическая операция «и», знак \notin обозначает непринадлежность;

2) операция объединения изображений X и Y :

$$X \cup Y = \{(x, y) \mid (x, y) \in X \vee (x, y) \in Y\},$$

где \vee - логическая операция «или»;

3) операция расширения для изображения X и структурирующего изображения R :

$$X \oplus R = \begin{cases} \{(x_1 + x_2, y_1 + y_2) \in W \mid (x_1, y_1) \in X, (x_2, y_2) \in R\} & (X \neq \emptyset) \wedge (R \neq \emptyset) \\ \emptyset & (X = \emptyset) \vee (R = \emptyset) \end{cases},$$

где \emptyset - пустое множество.

Кроме указанных операций, введем еще две, которые часто используются при обработке изображений. Это - операция эрозии, определяемая формулой:

$$X \ominus R = \overline{\bar{X} \oplus \bar{R}},$$

где \ominus - операция эрозии, \bar{R} - отраженное изображение и операция фильтрации, определяемая формулой:

$$X \prod_p R = \{(x, y) \in X \mid |X \cap R_a| \geq p\},$$

где знак p обозначает порог (обычно $1 < p < |R|$). При этом, если $p = |R|$, то

$X \prod_p R$ преобразуется в $X \ominus R$; если $p = 1$, то $X \prod_p R$ преобразуется в $X \oplus R$.

2. Оптико-электронная система для обработки изображений

Типичная схема оптико-электронной системы для обработки изображений представлена на рис. 1. Исследуемое изображение, полученное с помощью камеры 1, передается на экран монитора 4. Жидкокристаллический индикатор 3 является структурирующим элементом-шаблоном, управляемым при помощи компьютера 6. Монитор 4, жидкокристаллический индикатор 3, линза 5 и камера 2 составляют некогерентно-оптический коррелятор. На зондирующей площади камеры 2 получаем мультиплексно-суперпозиционное отображение исходного изображения, задаваемого камерой 1, и отображения структурирующего элемента 3. Зарегистрированное камерой 2 мультиплексно-суперпозиционное отображение фиксируется платой захвата изображения 7 и преобразуется с помощью специально разработанной компьютерной программы. Описанная система работает в режиме реального времени, и полученные результаты можно наблюдать на экране монитора 8.

Проиллюстрируем принцип работы этой системы на примере операции распознавания образов и выделения границ для изображения китайского иерогли-

фа (рис. 2, 3). Исследуемое изображение с помощью камеры 1 воспроизводится на экране монитора 4. Для распознавания какого-либо фрагмента исследуемого изображения или выделения границ всего изображения необходимо создать на жидкокристаллическом индикаторе 3 соответствующий структурирующий элемент, который синтезируется с помощью компьютера 6. Зарегистрированное камерой 2 мультиплексно-суперпозиционное изображение попадает в плату захвата изображения 7, и далее реализуются операции математической морфологии.

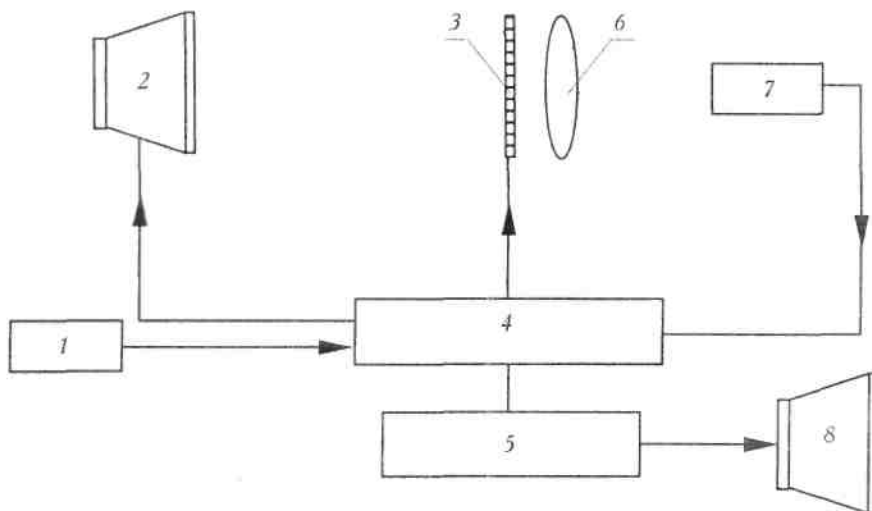


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1, 7 - камера, 2, 8- монитор, 3 - жидкокристаллический индикатор, 4 - плата захвата изображения, 5 - компьютер, 6 - линза

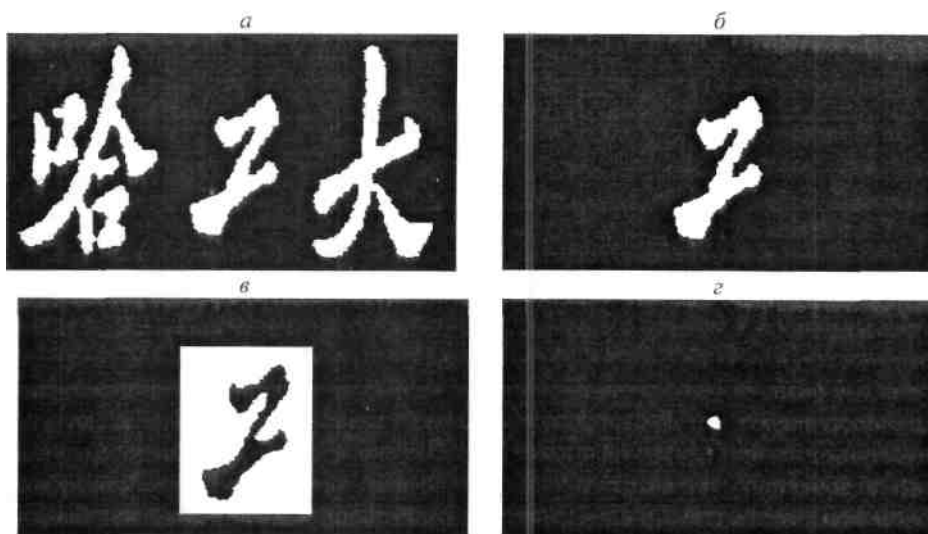


Рис.2. Экспериментальный результат по распознаванию образов: а - исходное изображение, б - структурирующий элемент, в - структурирующий элемент фона, г - изображение на выходе системы

Для распознавания образов используем сортировочное НМ-преобразование [6]:

$$X \oplus_{p,q} (E, F) = (X \prod_p E) \cap (\bar{X} \prod_q F),$$

где $\oplus_{p,q}$ - сортировочное НМ-преобразование, E - структурирующий элемент, F - структурирующий элемент фона. E и F находим по формулам:

$$E = S,$$

$$F = M / S, \quad (1)$$

где / - операция разности, S - изображение, ожидающее распознавания, M -шаблон изображения, определяющий размер образа.

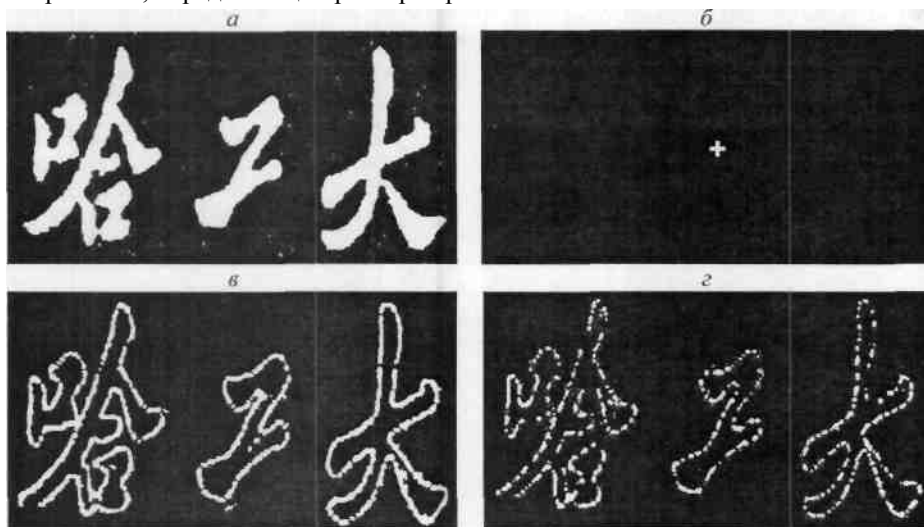


Рис. 3. Экспериментальный результат по выделению границ: a -исходное изображение, $б$ -структурирующий элемент, $в, г$ - изображения на выходе системы при различных порогах

Для выполнения сортировочного НМ-преобразования необходимо:

- 1) выбрать подходящий порог p , чтобы реализовать операцию фильтрации $X \prod_p E$
- 2) выбрать подходящий фоновый порог q , чтобы реализовать операцию фильтрации $\overline{X \prod_q F}$;
- 3) выполнить операцию пересечения по результатам первых двух операций.

Экспериментальный результат распознавания образа приведен на рис. 2. Исходное изображение содержит три объекта (рис. 2 a). Если мы хотим распознать один объект, например иероглиф, находящийся в центре исходного изображения, то выбираем соответствующий структурирующий элемент (рис. 2 $б$), который синтезируется с помощью компьютера на жидкокристаллическом индикаторе. Структурирующий элемент фона определяется согласно формуле (1) (рис. 2 $в$). Реализация операции распознавания образа проводится с помощью компьютерной программы. Светлое пятно на экране монитора $г$ (рис. 2 $г$) означает, что объект распознан и находится в центре исходного изображения. При этом, изменяя значения порогов p и q , можно управлять размером светлого пятна.

Для выделения границ изображения используем операцию сортировочного выделения границ, которая для исходного изображения X определяется следующей формулой:

$$RO_{p,q} \{ED(X)\} = (X \prod_p R) \cap (\overline{X \prod_q R}),$$

где $p < q$

Сортировочное выделение границ возможно при выполнении следующих операций:

- 1) выбрать подходящий порог p для реализации операции фильтрации $X \prod_p R$;

2) выбрать подходящий порог q для реализации операции фильтрации

$$X \prod_q R;$$

3) выполнить операцию компенсации для изображения, полученного в результате операции фильтрации второго этапа;

4) выполнить операцию пересечения двух результатов, полученных после выполнения операций первого и третьего этапов.

Экспериментальные результаты по выделению границ (оконтуриванию) изображений приведены на рис. 3. Выбран симметричный структурирующий элемент (рис. 3 б) и успешно проведена операция по выделению границ (рис. 3 в, г).

Заметим, что, в отличие от обычных (классических) алгоритмов [7], использование которых дает границы в виде линий определенной ширины, алгоритм сортировочного выделения границ позволяет за счет выбора различных порогов p и q получить разные по ширине линии границы. Этот момент является существенным при анализе изображений с сильным искажением.

Таким образом, в настоящей работе рассмотрены теоретические основы математической морфологии и продемонстрированы возможности оптико-электронной системы для обработки изображений на примере распознавания образа и выделения границ (оконтуривания) изображения. Преимуществами предложенной системы являются простота конструкции, реализация различных операций математической морфологии в режиме реального времени, эффективное подавление шумов.

1. Matheron G. Random sets and integral geometry. New York, 1975.

2. Serra J. Image analysis and mathematical morphology. New York, 1982.

3. А бла мей ко СВ., Ла гу но в с к и й Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. Мн., 2000. С. 101.

4. Huang K.S., Jenkins B.K., Sawchuk A. A. // Proc. SPIE. 1987. Vol. 829. P. 331. 5. Huang K. S., Jenkins B.K., Sawchuk A. A. // Computer Vision, Graphics, and Image Processing. 1989. Vol. 45. P. 295.

6. Liu L.L., Zhang S. // J. of Beijing Jiaotong University. 1998. Vol. 22. № 5. P. 37.

7. Park D.J., Nam K.M., Park R. H. // Pattern Recognition. 1995. Vol. 28. №2. P. 211.

Поступила в редакцию 28.10.04.

Лю Ланьлань - кандидат физико-математических наук, доцент Пекинского университета транспорта и путей сообщения.