

Таблица 3

Q	S_i после работы блока «Кольцо»	S_i после итераций
73	72, 75, 73	73
80	16, 72, 12, 80, 75, 13, 63, 24	80
20	16, 31, 70, 20, 12, 86, 30, 63, 69, 24	20

ЛИТЕРАТУРА

1. H. M. Pratt. The Performance of CALAXY.— Publ. Roy. Observ. Edinburgh, 1971, v. 8, N 11.
2. Л. В. Бурый, В. П. Коронкевич, Ю. Е. Нестерихин, А. А. Нестеров, Б. М. Пушной, С. Е. Ткач, А. М. Щербаченко. Прецизионный фотограмметрический автомат.— Автометрия, 1974, № 4.
3. Я. К. Балодис. Об автоматическом отождествлении звезд.— Ученые записки Латв. ГУ, т. 169. Рига, 1972.
4. E. Vogel. Principes et Formules Classiques du Calcul des Probabilites. Traite du Calcul des Probabilites et de ses Applications. Paris, Gauthier — Villars, 1925.
5. В. Феллер. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. М., «Мир», 1967.
6. В. В. Подобед. Фундаментальная астрометрия. М., «Наука», 1968.

Поступила в редакцию 28 января 1974 г.

УДК 681.3.06

А. М. ОСТАПЕНКО, Э. А. ТАЛНЫКИН

(Новосибирск)

ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИИ

Введение. При автоматической обработке результатов эксперимента, зарегистрированных на фотопленке, возникает необходимость в устройстве, способном измерять плотность изображения в точке с заданными координатами и передавать результат в ЭВМ. Цифровой сканирующий автомат (ЦСА) [1] отвечает этим требованиям. Сложность обработки изображения таким инструментом обусловлена в основном последовательным восприятием информации вычислительной машиной. Попытка распознать в такой ситуации, что же все-таки изображено, эквивалентна попытке рассмотреть картину через черный лист бумаги с «окном» диаметра намного меньшего, чем характерный размер детали изображения.

Автоматическое распознавание изображения представляется непомерно сложной задачей, если не известна примерная конфигурация изображения. Например, если известно, что на снимке присутствует прямая линия, то сравнительно просто построить алгоритм ее нахождения, т. е. определения углового коэффициента или других параметров. В этой связи представляется эффективной начальная оценка изображения человеком для определения некоторых глобальных характеристик, таких как «типичные» точки, начало поиска и т. д. При наличии экранного нуля или другого средства активного взаимодействия такой подход может дать положительный эффект, исключая огромные затраты на автоматическую реализацию «оценочных» функций.

Другая проблема связана с большим объемом информации. Даже сравнительно небольшое изображение невозможно разместить в оперативной памяти современной ЭВМ. Если же использовать в качестве «памяти» само изображение, обращаясь к нему по необходимости каждый раз заново, общее время обработки становится настолько большим, что такая автоматизация практически не дает выигрыша по сравнению с ручной обработкой. Некоторым выходом из этой ситуации [2] является перезапись изображения на быстрый внешний носитель (диски, магнитные ленты и т. п.), но здесь получается проигрыш в оперативности, так как мы будем иметь дело уже не с самим изображением, а с некоторым его образом.

Ниже на простом примере подсчета связанных областей будет показано, каким образом можно преодолеть некоторые из перечисленных трудностей. Рассматривается задача подсчета числа светлых (темных) областей и определения их площадей. Алгоритм основан на принципе «щели», т. е. изображение рассматривается через горизонтальную щель, которая один раз проходит по изображению в вертикальном направлении. Проблема времени и памяти решается за счет разделения операций обработки и считывания. Пока очередная порция информации считывается, происходит обработка предыдущей порции. Таким образом, нет необходимости хранить в памяти все изображение и не возникает дополнительных затрат времени на ввод информации. Практическое опробование алгоритма показало, что полное время обработки равно времени ввода обрабатываемого изображения, причем эта ситуация останется в силе, если трудоемкость обработки увеличится, например, вдвое. Виртуальное совмещение обработки и считывания обеспечивается системным окружением [3], хотя обмен с ЦСА может происходить только через программный канал ЭВМ.

Описанный метод может применяться к широкому классу задач по определению параметров, габаритов, диаметров и т. п. Задача «площадей» выбрана для описания как наиболее характерная.

Алгоритм реализован на языке ассемблера ЭВМ HP2116B и описан в виде процедуры на АЛГОЛе.

Постановка задачи. Любое плоское изображение можно аппроксимировать множеством вершин прямоугольной решетки [4] (включая в аппроксимирующее множество вершины, покрываемые данным изображением). Если при этом каждой вершине приписать вес, равный площади одного прямоугольника решетки, то число точек в аппроксимирующем множестве может использоваться как некоторое приближение площади изображения.

Каждую вершину решетки будем представлять парой (i, j) , где i и j есть целочисленные декартовы координаты вершины.

Последовательность пар

$$(i_0, j_0), (i_1, j_1), \dots, (i_n, j_n)$$

будем называть путем, объединяющим точки (i_0, j_0) и (i_n, j_n) .

Множество S вершин прямоугольной решетки будем называть связным, если для любых двух точек (x, y) и (U, Z) из S существует путь

$$(i_0, j_0), (i_1, j_1), \dots, (i_n, j_n)$$

такой, что

$$\begin{aligned} (i_0, j_0) &= (x, y), \\ (i_n, j_n) &= (U, Z), \\ |i_{k-1} - i_k| &\leq 1 \quad \text{для } 1 \leq k \leq n, \\ |j_{k-1} - j_k| &\leq 1 \quad \text{для } 1 \leq k \leq n, \\ (i_k, j_k) &\in S \quad \text{для } 0 \leq k \leq n. \end{aligned}$$

Пусть каким-либо образом выделено множество вершин прямоугольной решетки, заключенное в некоторый прямоугольник. Требуется построить алгоритм для определения числа связанных компонент множества и числа вершин в каждой компоненте.

Для редукции исходной задачи выбирается прямоугольный участок кадра и рассматривается только точки с координатами, кратными некоторому шагу, который выбирается кратным максимальному разрешению ЦСА.

Принадлежность точки светлой (темной) области определяется процедурой «Выделение», которая квантует изображение на два уровня по некоторому порогу. (В общем случае процедура «Выделение» может выделять изображение по другому принципу.) На ряду с проблемами, перечисленными во введении, операции выделения изображения и отсеивания шума также представляют значительную трудность.

Описание алгоритма. Алгоритм описывается в виде процедуры на АЛГОЛе. Результат работы процедуры остается в массиве M , который должен быть передан в качестве параметра. При выходе из процедуры в $M[0]$ будет находиться число связанных компонент, а в $M[1], M[2], \dots, M[M[0]]$ — соответствующие площади. В качестве площади выдается число вершин в связанной компоненте, дальнейшее же масштабирование должно производиться во внешнем блоке.

В процессе работы процедуры используются три рабочих массива длиной в одну строку. Длина строки также является параметром процедуры («размер по x »). В первом массиве хранится результат просмотра предыдущей строки: 0 — если точка не включена в выделенное множество, в противном случае — индекс соответствующего элемента массива M , где накапливается площадь ее компоненты связности.

Во втором рабочем массиве находится результат выделения очередной строки, а именно: 0 — если точка не включена процедурой «Выделение» в выделенное множество, и 1 — если включена. Пока происходит обработка очередной строки, в третий массив считывается следующая строка, которая затем обрабатывается процедурой «Выделение», и массивы далее циклически меняются местами. Указанные массивы будем именовать A, B и C .

В начале работы два массива заполняются нулями (рис. 1)

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2	1	1								
2	2	4	4								
3	2	6	6								
4	2	9	7								
5	2	9	10								
6	2	9	10								
7	5	9	10	1	1	1					
8	4	9	10	5	1						

Рис. 2.

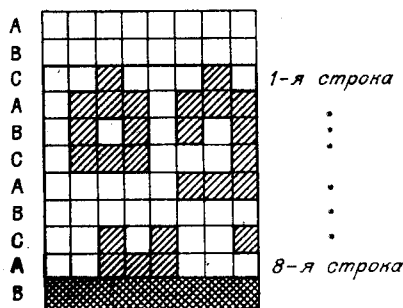


Рис. 1.

и происходит один «холостой» просмотр, во время которого производится считывание первой строки информации. В конце происходит считывание лишней строки (см. рис. 1), которое никак не влияет на дальнейший ход работы алгоритма, так как считывание происходит автономно.

Пусть имеется изображение размером 8×8 , показанное на рис. 1. Рассмотрим работу процеду-

ры на этом простом примере. Процесс накопления площадей можно проследить по рис.2, где в первой колонке стоит номер очередной просматриваемой строки, во второй — состояние массива M после просмотра, а в третьей — имя и состояние рабочего массива, куда была считана очередная строка. Нулевое значение элемента рабочего массива означает индекс элемента массива M , где накапливается площадь соответствующей компоненты связности. В результате работы процедуры получаем четыре компоненты связности с площадями 9, 10, 5 и 1.

Более детальное описание алгоритма наряду с реализацией можно найти в следующем пункте. Здесь в отличие от реализации на языке ассемблера мы старались сделать алгоритм более наглядным и не заботились об оптимальности АЛГОЛ-программы.

Реализация

процедура подсчет связных областей (*порог*, x_0 , y_0 , размер по x , размер по y , шаг по x , шаг по y , M);

целый x_0 , y_0 , размер по x , размер по y , шаг по x , шаг по y , *порог*;

значение x_0 , y_0 , размер по x , размер по y , шаг по x , шаг по y , *порог*;

целый массив M ;

примечание x_0 , y_0 — координаты левого нижнего угла исследуемого прямоугольника, шаг по x и шаг по y — шаги по каждой из координат (в максимальных разрешениях ЦСА), размер по x и размер по y — число соответствующих шагов по каждой из координат, *порог* — уровень квантования яркости, M — массив, где при выходе из процедуры будет находиться результат:
 $M[0]$ — число связных областей,
 $M[1], \dots, M[M[0]]$ — площади;

начало **целый массив** A, B, C [0 : размер по x]; **целый** i ;

процедура **ВЫДЕЛЕНИЕ** (Z); **целый массив** Z ;

начало **целый** i ;

для $i := 1$ шаг 1 до размер по x **цикл**

$Z[i] :=$ **если** $Z[i] <$ *порог* **то** 0 **иначе** 1

конец процедуры **ВЫДЕЛЕНИЕ**, производящий квантование массива на два уровня по значению параметра *порог*;

процедура **ОБРАБОТКА** (A, B);

целый массив A, B ;

примечание эта процедура производит просмотр очередной строки, обработанной процедурой **ВЫДЕЛЕНИЕ**, являясь ядром алгоритма, процедура контролирует следующие ситуации:
 появление новой области,
 слияние двух областей,
 наращение текущей области.

При входе:
 A — результат просмотра предыдущей строки,
 B — результат обработки текущей строки процедурой **ВЫДЕЛЕНИЕ**.

При выходе:
 B — результат просмотра текущей строки;

начало **целый** i, j, k ;

процедура **СЛИЯНИЕ** (i); **целый** i ; **значение** i ;

начало

если $M[i] > 0$
 то начало если $M[0] \neq i$
 то начало
 $M[M[0]] := M[M[0]] + M[i]; M[i] := -M[i]$
 конец
 конец
 иначе СЛИЯНИЕ ($-M[i]$)
 конец процедуры СЛИЯНИЕ, производящей присоединение к текущей накапливаемой области площади, накопленной в массиве M по индексу i , причем если $M[i]$ отрицательное, то $-M[i]$ является индексом элемента массива M , куда соответствующая площадь уже присоединена и т. д.;
 примечание i и j — текущие индексы массивов A и B ,
 k — счетчик циклов;
 начальное присвоение индексам:
 $i := 0$
 $j := 1$
 $k := 1$
 появление новой области:
 если $B[j] = 0$ то
 начало
 $i := i + 1;$
 $j := j + 1;$
 $k := k + 1;$
 если $k >$ размер по x то на конец просмотра
 иначе на появление новой области
 конец
 новая область:
 $M[0] := M[0] + 1;$
 $M[M[0]] := 0;$
 проверка на слияние:
 если $A[i] \neq 0$ то СЛИЯНИЕ ($A[i]$);
 $i := i + 1;$
 наращение области:
 если $B[j] = 0$ то
 начало
 $k := k + 1;$
 $j := j + 1;$
 если $k >$ размер по x то
 начало если $A[i] \neq 0$ то
 СЛИЯНИЕ ($A[i]$)
 иначе на конец просмотра
 конец;
 на появление новой области
 конец;
 приращение новой области:
 $M[M[0]] := M[M[0]] + 1;$
 $B[j] := M[0];$
 и слияние если необходимо:
 если $A[i] \neq 0$ то СЛИЯНИЕ ($A[i]$);
 $i := i + 1;$
 $j := j + 1;$
 $k := k + 1;$
 если $k <$ размер по x то на наращение области;
 конец просмотра:
 чистка массива M :

```

        j:=1;
    для i:=1 шаг 1 до M[0] цикл
        начало если M[i]>0 то
            начало
                M[j]:=M[i];
            для K:=1 шаг 1 до размер ___ по ___ x цикл
                если B[K]=i то B[K]:=j;
                j:=j+1
            конец
        конец
    конец процедуры ОБРАБОТКА;
    процедура ПРОСМОТР (X, Y, Z);
        целый массив X, Y, Z;
        примечание эта процедура иницирует считывание следующей
        строки в массив Z и во время считывания производ-
        дит обработку предыдущей строки;
    начало SCAN (Z, x0, y0, шаг ___ по ___ x, размер ___ по ___ x):
        примечание SCAN — системная процедура, иницирующая ска-
        нирование вдоль оси x с начальной точкой
        (x0, y0) и шагом шаг ___ по ___ x в массив Z дли-
        ной размер ___ по ___ x;
        ОБРАБОТКА (X, Y); WAIT;
        примечание WAIT — системная процедура, производящая за-
        прос к операционной системе на блокировку зада-
        чи до завершения ввода;
        ВЫДЕЛЕНИЕ (Z);
    конец
        процедуры ПРОСМОТР;
        начало ___ процедуры подсчета ___ областей:
        для i:=0 шаг 1 до размер ___ по ___ x цикл
            A[i]:=B[i]:=C[i]:=0;
            M[0]:=0;
        начало:
            ПРОСМОТР (A, B, C);
            размер ___ по ___ y:=размер ___ по ___ y-1;
        если размер ___ по ___ y=0 то на выход;
            ПРОСМОТР (B, C, A);
            размер ___ y:=размер ___ y-1;
        если размер ___ по ___ y=0 то на выход;
            ПРОСМОТР (C, A, B);
            размер ___ по ___ y:=размер ___ по ___ y-1;
        если размер ___ по ___ y≠0 то на начало;
    выход:
    конец
        процедуры подсчет ___ связанных ___ областей;

```

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Т. Васьков, А. М. Остапенко. Устройство ввода в ЭВМ полутоновых изображений.— В сб. тезисов докладов конференции «Автоматизация научных исследований на основе применения ЭЦВМ». Новосибирск, 1972.
2. Е. В. Сасорова. Процедуры для предварительной обработки изображений, заданных в виде дискретного растра.— В сб. «Обработка информации в системе «человек — машина»». М., ВЦ АН СССР, 1973.
3. С. М. Казаков, Э. А. Талныкин. Программное обеспечение машинного комплекса обработки экспериментальных данных.— В сб. тезисов докладов конференции «Системы автоматизации научных исследований». Рига, 1973.
4. А. Розенфельд. Распознавание и обработка изображений с помощью вычислительных машин. М., «Мир», 1972.

Поступила в редакцию 19 февраля 1974 г.