

ше единицы, тогда как кривые 3 и 4 возрастают, достигая при $z=1$ значений, равных 3,2 в первом случае и 3,6 — во втором.

Итак, оптимальная коррекция существенно улучшает метрологические характеристики дистанционных измерительных приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ньютон Дж. К., Гулд Л. А., Кайзер Дж. Ф. Теория линейных следящих систем. М., Физматгиз, 1961.
2. Нелепо Б. А., Доценко С. В., Поплавская М. Г. Оптимальное восстановление поля по результатам дистанционного зондирования.— В кн.: Морские гидрофизические исследования, № 1 (76). Севастополь, изд. МГИ АН УССР, 1976, с. 46—55.
3. Доценко С. В. Теоретические основы измерения физических полей океана. Л., Гидрометеониздат, 1974.
4. Эльсгольц Л. Э. Вариационное исчисление. М., ГИТТЛ, 1958.

Поступила в редакцию 3 марта 1977 г.

УДК 681.32.05

О. Е. ТРОФИМОВ

(Новосибирск)

БЛОК-СХЕМА АВТОМАТА ДЛЯ СЧЕТА ОБЪЕКТОВ

В работе * предложен алгоритм подсчета плоских объектов произвольной формы, требующий минимальной памяти. В настоящей заметке предлагается блок-схема автомата, подсчитывающего объекты. Память реализуется на сдвиговых регистрах. Знакомство со статьей ** желательно, но не обязательно. Предварительно будет дано описание алгоритма, несколько отличающегося от алгоритма, рассмотренного в той же работе ***. Это описание может быть полезным при построении блок-схем с элементами памяти, отличными от сдвиговых регистров.

Предполагается, что объекты заданы на матрице (длина строки n). Элементы матрицы, равные единице, соответствуют черным точкам, равные нулю — белым. Две черные точки принадлежат одному объекту, если существует путь, проходящий только через черные точки и соединяющий их. В ситуации $\begin{pmatrix} 01 \\ 10 \end{pmatrix}$ предлагаемый автомат насчитывает два объекта; автомат, насчитывающий в такой ситуации один объект, существенно отличается от рассматриваемого.

Матрица подается в автомат поэлементно: сначала элементы первой строки слева направо, затем в такой же последовательности элементы второй строки и т. д. Перед поступлением a_{ik} (k -го элемента i -й строки) автомат помнит n последних элементов, т. е. последовательность

$$a_{i1} \dots a_{i, k-1} a_{i-1, k} \dots a_{i-1, n} \quad (n \text{ бит}). \quad (1)$$

Кроме того, каждому элементу последовательности (1) поставлен в соответствие один из символов Λ, H, K, α . Автомат помнит также последовательность символов

$$b_{ik} \dots b_{i, k-1} b_{i-1, k} \dots b_{i-1, n} \quad (2n \text{ бит}). \quad (2)$$

* Старков М. А., Трофимов О. Е., Фризен Д. Г. Автомат для подсчета числа объектов.— «Автоматика и телемеханика», 1976, № 6, с. 134.

** Там же.

*** Там же.

Символы ставятся в соответствие по следующим правилам:

1. Если $a_{sr}=0$, то $b_{sr}=\Lambda$, $s=i, i-1; r=1 \dots n$. Черные точки последовательности (1) ($a_{sr}=1$) разбиваются на группы связанных между собой, т. е. принадлежащих одному объекту, точек.

2. Если точка a_{sr} является первой (самой левой) в группе связанных, то ей ставится в соответствие символ Н: $b_{sr}=\text{H}$.

3. Если a_{sr} — последняя точка, то ей ставится в соответствие символ К: $b_{sr}=\text{K}$.

4. Если a_{sr} не первая и не последняя точка, то $b_{sr}=\Lambda$.

5. Если a_{sr} и первая, и последняя (изолированная черная точка), то $b_{sr}=\alpha$.

Сигнал для счета объекта подается, если появляется элемент $a_{ik}=0$ и $b_{i-1, k}=\alpha$. Исчезает изолированная точка. Нетрудно видеть, что любой объект при сканировании превращается в изолированную точку, которая затем исчезает. Предполагается, что поле окружено белой рамкой.

Работа автомата заключается в перестраивании последовательностей (1) и (2) при поступлении нового символа и отслеживании описанной выше ситуации. В последовательности (1) символ $a_{i-1, k}$ просто заменяется на вновь поступивший символ a_{ik} . В последовательности (2) могут измениться символы b_{ik-1} , $b_{i-1, k}$ и, возможно, еще один символ, место которого зависит от конкретной конфигурации. Укажем правила, по которым изменяются символы $b_{i, k-1}$ и $b_{i-1, k}$. Для нашего описания удобно рассматривать пару символов a_{sr} , b_{sr} как один символ c_{sr} и обозначать их следующим образом: 0 — (0, Λ) — белая точка; 1 — (1, Λ) — черная точка, не первая и не последняя; Н — (1, Н) — первая точка; К — (1, К) — последняя точка; α — (1, α) — изолированная точка. Изменения символов c_{ik} и $c_{i-1, k}$ задаются следующими двумя таблицами, где входами являются: по столбцам — «старый» символ $c_{i, k-1}$, по строкам — «старый» символ $c_{i-1, k}$. Элементы таблицы — новые символы (знаком X отмечены невозможные ситуации).

Как уже отмечалось выше, при поступлении символа a_{ik} может измениться еще один символ в последовательности (2). Правила изменения этого символа x_{rs} зависят лишь от значений a_{ik} , $c_{i-1, k}$, $c_{i, k-1}$, x_{sr} , а место, на котором стоит символ x_{rs} , — от последовательностей (1) и (2).

Будем обозначать символами S_i преобразования, которые нужно произвести с последовательностью (2). Этими же символами в дальнейшем будут обозначаться состояния автомата, при которых производятся соответствующие преобразования.

$a_{ik} = 0$										
$\begin{matrix} 2 \\ \backslash \\ 1 \end{matrix}$	0	1	Н	К	α					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	К	0	1	0
Н	Н	0	Н	0	X	X	α	0	X	X
К	К	0	К	0	К	0	К	0	К	0
α	α	0	α	0	α	0	α	0	α	0

$a_{ik} = 1$										
$\begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix}$	0	1	Н	К	α					
0	0	α	0	1	0	Н	0	К	0	α
1	1	1	1	1	1	1	1	К	1	1
Н	Н	1	Н	1	\times	\times	Н	К	\times	\times
К	1	К	1	1	1	1	1	К	1	К
α	Н	К	1	1	Н	1	1	К	Н	К

S_0 и S_1 — вспомогательные состояния, которые будут описаны ниже;

S_2 — никаких изменений в последовательности (2) больше делать не нужно;

S_3 — нужно перенести начало. Точка, которая была начальной, в новой строке заменяется на белую. Начало должно быть перенесено на ближайшую (при движении вправо), связанную с данной точку. Если точка, в которую переносится начало, помечена символом К, то этот символ нужно заменить на α . Если она помечена символом 1 — (1, Λ), то нужно заменить символ на (1, Н) — Н;

S_4 — перенести конец (аналогично S_3 с естественной заменой (1, Λ) на (1, К));

S_5 — убрать начало: слились 2 объекта и некоторая точка, которая была начальной, перестала быть таковой, ее нужно найти и сделать замену Н на Λ ;

S_6 — убрать конец аналогично S_5 .

Ситуации S_i определяются по следующим таблицам, где по-прежнему входами являются: по столбцам — «старый» символ $c_{i, k-1}$, по строкам — «старый» символ $c_{i-1, k}$, а элементы таблицы представляют собой операции, которые нужно выполнить.

$a_{ik} = 0$					
$\begin{matrix} 2 \\ 1 \end{matrix}$	0	1	Н	К	α
0	S_2	S_2	S_3	S_4	S_2
1	S_2	S_2	S_3	S_2	S_2
Н	S_2	S_2	\times	S_2	\times
К	S_2	S_2	S_3	S_4	S_2
α	S_2	S_2	S_3	S_4	S_2

$a_{ik}=1$					
$\begin{matrix} 2 \\ \backslash \\ 1 \end{matrix}$	0	1	H	K	α
0	S2	S2	S2	S2	S2
1	S2	S2	S6	S2	S2
H	S2	S2	\times	S2	\times
K	S2	S5	S2	S5	S2
α	S2	S2	S2	S2	S2

Для определения места подлежащего изменению символа x_{r_3} можно использовать счетчик скобок (название «счетчик скобок» объясняется тем, что символы H и K подчиняются тем же правилам, что и скобки в алгебраических выражениях).

Ситуация S3 — перенести начало. Нужно двигаться по последовательности (2) вправо, занося в счетчик скобок +1, если встречается символ H, и -1, если встречается символ K. Первая черная точка, встретившаяся при состоянии счетчика скобок, равном нулю, будет искомой.

S6 — убрать конец — ситуация, аналогичная предыдущей, только реагируем на символ K при состоянии счетчика скобок, равном нулю.

В ситуациях S4 и S5 можно поступать так же, как в S3 и S6, только двигаться влево. Однако в ряде случаев допустимо движение лишь в одну сторону, например, если память, в которой хранятся последовательности (1) и (2), реализуется на сдвиговых регистрах со сдвигом в одну сторону. Естественно, что память при этом должна быть закольцована. В подобных ситуациях можно поступать следующим образом.

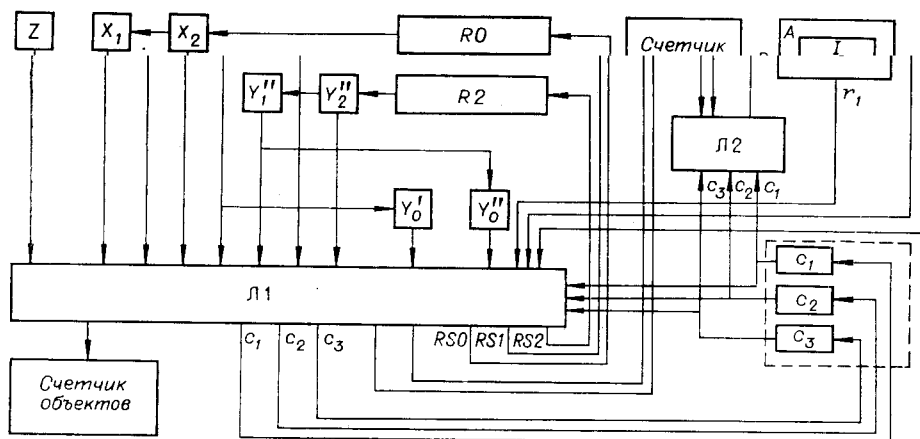
Ситуация S5 — убрать начало. Двигаемся вправо и в счетчике I запоминаем число сделанных шагов, в счетчик скобок заносим +1, если встретили символ H, и -1, если встретили символ K. Всякий раз, когда встречается символ H при нулевом состоянии счетчика скобок, содержимое счетчика I переписывается в счетчик II. После того как мы совершим полный оборот, т. е. содержимое счетчика I станет равным n , в счетчике II будет зафиксировано место изменяемого символа. Далее нужно продолжать движение вправо, вычитая теперь из счетчика II по единице на каждом шаге; при содержимом счетчика II, равном нулю, нужно изменить символ.

Ситуация S4 аналогична ситуации S5, только сигнал на перезапись из I в II выдается, если встретилась черная точка, при содержимом счетчика скобок, равном 0 или 1.

Перейдем теперь к описанию собственно блок-схемы (рисунок):

1) Элемент матрицы a_{ik} поступает в Z.

2) Последовательность (1) $a_{i1} \dots a_{i, k-1} a_{i-1, k} \dots a_{i-1, n}$ хранится в сдвиговом регистре R0 в ячейках X_1 и X_2 , причем $a_{i, k-1}$ — в X_1 ; $a_{i-1, k}$ — в X_2 , остальные элементы — в R0 в порядке, соответствующем движению закольцованной последовательности (1) по часовой стрелке, т. е. $a_{i-1, k+1} \dots a_{i-1, n} a_{i1} \dots a_{i, k-2}$.



3) В сдвиговых регистрах $R1$ и $R2$ и ячейках Y'_1 , Y''_1 , Y'_2 и Y''_2 хранится последовательность (2) — $b_{i1} \dots b_{i, k-1} b_{ik} \dots b_{i-1, n}$. Символу Δ соответствует набор 00; H — 10, K — 01, α — 11; в $R1$ хранится первый знак набора, в $R2$ — второй. Символ $b_{i, k-1}$ хранится в ячейках Y'_1 и Y''_1 ; символ $b_{i-1, k}$ — в ячейках Y'_2 и Y''_2 . Порядок следования элементов в $R1$ и $R2$ такой же, как и в $R0$.

4) При одном сдвиге содержимое ячейки X_1 попадет в X_0 ; Y'_1 — в Y'_0 ; Y''_1 — в Y''_0 .

5) Набор c_1, c_2, c_3 характеризует состояние: $S0$ — 000; $S1$ — 001; $S2$ — 010 и т. д. $S0$ — состояние, при котором принимается символ a_{ik} ; из $S0$ обязателен переход в $S1$, далее — в зависимости от ситуации. Состояния $S2$ — $S6$ описаны выше. В $S0$ вырабатывается первый символ таблиц, в $S1$ — второй.

6) Счетчик скобок — блок с двумя входами q_1, q_2 и двумя выходами a_1, a_2 , объемом памяти $\log_2 n$.

Входы:

q_1	q_2	
0	0	— состояние не изменится;
1	0	— содержимое увеличивается на 1;
0	1	— содержимое уменьшается на 1;
1	1	— переходит в нулевое состояние (чистка).

При необходимости можно изменить логику так, чтобы обойтись без операции чистки.

Выходы:

a_1	a_2	
0	0	— содержимое равно нулю;
0	1	— содержимое равно 1;
1	1	— содержимое отлично от нуля и единицы.

7) Блок A состоит из двух регистров I и II . К содержимому регистра I на каждом такте прибавляется 1. Если содержимое регистра I равно $2n$, то добавление еще одной 1 обращает его в 0. При содержимом регистра I , равном $2n$, величине r_2 присваивается значение 1,

в противном случае $r_2=0$. Объем памяти равен $\log_2 n+1$. От регистра I поступает еще один сигнал — Q , равный 1, если содержимое регистра I больше n , и равный 0 в противном случае.

Регистр II остается без изменения, если $P=0$ и $Q=0$; в регистр II переписывается содержимое регистра I при $P=1$, $Q=0$; содержимое регистра II уменьшается на 1 на каждом такте, если $Q=1$. Если регистр II содержит 1 и $Q=1$, то $b_1=1$, в противном случае $b_1=0$.

Логическая схема Л2 вырабатывает сигнал P . Логическая схема Л1 вырабатывает сигналы: $R0$, который поступает в регистр $R0$; $R1$, $R2$, поступающие в соответствующие регистры; сигналы c_1 , c_2 , c_3 — для ячеек блока состояния; сигналы q_1 , q_2 — для счетчика скобок.

Теперь приведем логические выражения для перечисленных сигналов. Для сокращения числа элементов, на которых реализуются схемы Л1 и Л2, целесообразно ввести ряд вспомогательных символов и с их помощью выразить основные, что и будет делаться по мере изложения:

$$\begin{aligned} S0 &= \bar{c}_1 \wedge \bar{c}_2 \wedge \bar{c}_3; & S1 &= \bar{c}_1 \wedge \bar{c}_2 \wedge c_3; & S2 &= \bar{c}_1 \wedge c_2 \wedge \bar{c}_3; \\ S3 &= \bar{c}_1 \wedge c_2 \wedge c_3; & S4 &= c_1 \wedge \bar{c}_2 \wedge \bar{c}_3; & S5 &= c_1 \wedge \bar{c}_2 \wedge c_3; \\ S6 &= c_1 \wedge c_2 \wedge \bar{c}_3. \end{aligned}$$

Здесь c_i означает содержимое ячейки c_i . Введем

$$\begin{aligned} t_0^i &= \bar{Y}_i \wedge \bar{Y}_i' \wedge \bar{X}_i; & t_1^i &= \bar{Y}_i \wedge \bar{Y}_i' \wedge X_i; & t_H^i &= Y_i \wedge \bar{Y}_i'; \\ t_K^i &= \bar{Y}_i \wedge Y_i'; & t_\alpha^i &= Y_i \wedge Y_i' \quad (i = 0, 1, 2). \end{aligned}$$

Первый знак символов (\wedge , \vee , $\bar{}$, α) — значение самой правой ячейки в регистре $R1$ — будем обозначать $RS1$:

$$\begin{aligned} A &= \bar{r}_1 \wedge Y_1'; \\ RS1 &= [S0 \wedge [t_H^i \vee [t_\alpha^i \wedge [Z \wedge [t_1^i \vee t_K^i]]]]] \vee [S1 \wedge [[Z \wedge t_0^i] \wedge \\ &\quad \wedge [t_0^i \vee Y_1']]] \vee [S3 \wedge [r_1 \vee A]] \vee [S4 \wedge [A \vee \\ &\quad \vee [r_1 \wedge t_H^i]]] \vee [S5 \wedge A] \vee [S6 \wedge A]; \\ B &= \bar{r} \wedge Y_2'; \\ RS2 &= [S0 \wedge [\bar{Z} \wedge [Y_2' \vee [t_H^i \wedge t_K^i] \vee [t_1^i \wedge t_K^i]]]] \vee \\ &\quad \vee [S1 \wedge [Z \wedge [t_K^i \vee [t_\alpha^i \wedge t_0^i] \wedge [t_1^i \wedge t_H^i]]]] \vee [S2 \wedge Y_2^i] \vee \\ &\quad \vee [S3 \wedge [[r_1 \wedge t_H^i] \vee B]] \vee [S4 \wedge [B \vee r_1]] \vee [S5 \wedge B] \vee [S6 \wedge B]; \\ RS0 &= [\bar{S1} \wedge X_1] \vee [S1 \wedge Z]. \end{aligned}$$

Входы счетчика скобок:

$$q_1 = S0 \vee [\bar{S1} \wedge t_H^i]; \quad q_2 = [S0 \vee [S1 \wedge t_K^0 \wedge t_K^i] \vee [S1 \wedge t_K^i]];$$

c_1, c_2, c_3 — входы блока состояний;

$$\bar{S}0 \wedge \bar{S}1 \wedge \bar{r}_1 = \Gamma; B = t_K^0 \wedge [t'_1 \vee t'_K];$$

$$c_1 = [S1 \wedge [\bar{Z} \wedge t'_K \wedge [\bar{t}'_1 \vee t'_H]] \vee [Z \wedge [t'_1 \wedge t'_H] \vee \\ \vee [t'_K \wedge [t'_1 \vee t'_K]]] \vee [\Gamma \wedge c_1]] \wedge \bar{r}_2;$$

$$c_2 = [[S1 \wedge [[\bar{Z} \wedge [t'_K \wedge [t'_0 \vee t'_K \vee t'_\alpha]]]]] \vee \\ \vee [\Gamma \wedge c_2] \vee [\bar{S}0 \wedge S1 \wedge r_1]] \wedge \bar{r}_2;$$

$$c_3 = [[S0 \vee [S1 \wedge [\bar{Z} \wedge t'_H] \vee [\bar{Z} \wedge B]]] \vee [\Gamma \wedge c_3]] \wedge \bar{r}_2.$$

По сигналу D счетчик объектов увеличивается на единицу:

$$D = S0 \wedge \bar{Z} \wedge t_\alpha^2.$$

Сигнал для блока A , запись из I в II (Л2):

$$P = [S5 \wedge \bar{a}_1 \wedge \bar{a}_2 \wedge x_1] \vee [S6 \wedge \bar{a} \wedge x_1].$$

Сигнал смены состояний (из $S_i (i > 2)$ в S_2) (Л3):

$$r_1 = [b_1 \wedge [S4 \wedge S5]] \vee [\bar{a}_1 \wedge \bar{a}_2 \wedge x_1 \wedge S3] \vee [S6 \wedge \bar{a}_1 \wedge \bar{a}_2 \wedge t'_K].$$

Поступила в редакцию 29 декабря 1976 г.