

УДК 681.142.1.01

ПОСРОЖДЕНИЕ ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО ФИЛЬТРА НА ПРОГРАММНОЙ МОДЕЛИ ЦВМ

И.И. Дзегеленок, А.Г. Шигин

Рассматривается задача восстановления прогнозирующего фильтра (ПФ) в процессе исследования структур ЦВМ методами программного моделирования. Построение ПФ производится активным автоматом (А-автоматом) с недетерминированной структурой. Показана принципиальная возможность сокращения общего объема экспериментов, необходимого для построения ПФ А-автоматом.

Под программной моделью ЦВМ будем понимать некоторый алгоритм, адекватно отображающий процесс функционирования изучаемой ЦВМ во времени (в смысле [1]). Под прогнозирующим фильтром (ПФ) будем понимать математическую модель, с помощью которой отображается механизм изучаемого явления на аналитическом языке: степень влияния каждого параметра и их взаимосвязей.

Современные проблемно-ориентированные языки и системы программного моделирования ЦВМ с помощью ЦВМ (см., например [2], [3]) позволяют получать численные значения оценок по интересующим исследователя критериям — вычисление значений целевой функции (ЦФ). Как правило, результаты вычислений значений ЦФ представляются в форме таблиц или графиков. Такое представление информации не является достаточным для дальнейшего использования представленных результатов с целью решения задач интерполяции и экстраполяции (прогнозирования) новых структурных решений ЦВМ.

Рассматривается системный подход, позволяющий строить ПФ в процессе "проигрывания" возможных вариантов ЦВМ на программных моделях. Последующее применение ПФ позволяет производить оцен-

ку каждого из элементов X_λ (λ — индекс элемента множества) множества возможных структурных решений ЦВМ ($X_\lambda \in L$), не прибегая к использованию программных моделей. Каждый из элементов множества $X_\lambda \in L$ должен удовлетворять условию принадлежности исходному пространству R^n независимых переменных ($L \subseteq R^n$).

Пространство R^n есть дискретная среда и все элементы множества $X_\lambda \in L$ есть булевы векторы.

Отправным пунктом решения настоящей задачи служит гипотеза о наличии наиболее информативных элементов в дискретной среде (R^n). Описываемая стратегия построения ПФ позволяет сократить общее число экспериментов (X_λ) на заданном множестве $X_\lambda \in L$ с точки зрения исследуемой ЦФ.

1. Постановка задачи и система исходных предположений

Учитывая, что в самом общем случае какая-либо априорная информация в виде статистических критериев, законов распределения и оценок конструкций ЦФ отсутствует, задачу будем трактовать в детерминистической постановке. Для этого введем допущение о существовании некоторого критического значения ЦФ $Z_{кр}(X)$ на области ее определения. Будем полагать также, что множество элементов множества $X_\lambda \in L$ совпадает с областью определения ЦФ $Z_i(X)$ в пространстве R^n . Каждый из элементов множества $X_\lambda \in L$ состоит из n компонент таких, что: $X_\lambda = (x_{\lambda 1}, x_{\lambda 2}, \dots, x_{\lambda n}, \dots, x_{\lambda n})$, $n = \overline{1, n}$ и $x_{\lambda n} \in \{0, 1\}$. Тогда можно ввести некий двухзначный функционал $I[Z_i(X_\lambda) - Z_{кр}(X_\lambda)]$ такой, что:

$$I\{Z_i(X_\lambda) - Z_{кр}(X_\lambda)\} = \begin{cases} 1, & \text{если } Z_i(X_\lambda) \geq Z_{кр}(X_\lambda), \\ 0, & \text{если } Z_i(X_\lambda) < Z_{кр}(X_\lambda). \end{cases} \quad (1)$$

Обозначим относительное значение ЦФ как $Z'_i(X_\lambda)$:

$$Z_i(X_\lambda) - Z_{кр}(X_\lambda) = Z'_i(X_\lambda). \quad (2)$$

Согласно условию (1) переключения функционала, множество $X_\lambda \in L$ разбивается на два непересекающихся подмножества, которые мы обозначим T и F . Элементами подмножества T являются такие векторы $X_\lambda \in T$, для которых $I\{Z'_i(X_\lambda)\} = 1$. Назовем векторы $X_\lambda \in T$ "удовлетворительными реализациями" и обозначим их символом t_i ($i = \overline{1, p}$). Элементами подмножества F являются такие векторы $X_\lambda \in F$, для которых $I\{Z'_i(X_\lambda)\} = 0$. Назовем векторы $X_\lambda \in F$ "неудовлетворительными реализациями" и будем их обозначать символом f_j ($j = \overline{1, q}$). Закон разбиения (сегментации) множества L

выразим формально:

$$X_\lambda = \begin{cases} t_i \in T, & \text{если } I\{Z'_i(X_\lambda)\} = 1, \\ f_j \in F, & \text{если } I\{Z'_j(X_\lambda)\} = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Задача о нахождении ПФ заключается в том, чтобы построить такую математическую модель $Z_2(X_\lambda)$, которая бы "копировала" ЦФ $Z'_i(X_\lambda)$ на области ее определения. Строго говоря, необходимо построить отображение множества значений функции $Z'_i(X_\lambda)$ на множество значений функции $Z_2(X_\lambda)$. Тогда немедленно вытекают два предельных случая при решении этой задачи.

1°. Два предельных случая решения задачи построения ПФ.

Случай А - задача сегментации.

$$I\{Z_2(X_\lambda)\} = I\{Z'_i(X_\lambda)\}, \quad (4)$$

для всех $X_\lambda \in L$.

Случай Б - задача идентификации.

$$Z_2(X_\lambda) = Z_2(X_\omega) \longrightarrow Z'_i(X_\lambda) = Z'_i(X_\omega), \quad (5)$$

где операция " $\longrightarrow$ " представляет собой формальное выражение факта частичного упорядочивания как на множестве значений ЦФ $Z_2(X)$, так и на множестве значений ЦФ $Z'_i(X)$ по одному и тому же закону ($>$, $=$, $<$) для всех $X_\lambda \in L$ и $X_\omega \in L$; " $\longrightarrow$ " есть символ взаимно однозначного соответствия правой и левой частей выражения (5). В общем случае операция " $\circ$ " транзитивна, но не коммутативна. В свою очередь, из (5) следуют два экстремальных условия:

$$\max_{\lambda} Z_2(X_\lambda) = Z_2(t^0) \longrightarrow \max_{\lambda} Z'_i(X_\lambda) = Z'_i(t^0), \quad (6)$$

$$\min_{\lambda} Z_2(X_\lambda) = Z_2(f^0) \longrightarrow \min_{\lambda} Z'_i(X_\lambda) = Z'_i(f^0). \quad (7)$$

Задача сегментации сформулирована как классическая в терминах теории распознавания образов [4].

Задача идентификации сформулирована в виде необходимых и достаточных условий порождения ПФ.

Как задача А, так и задача Б являются предельными и в реальных условиях могут быть разрешены с некоторым приближением.

2°. Частный случай предельной задачи

В реальных условиях мы обычно имеем дело лишь с частично определенным множеством L , состоящим из частично определенных подмножеств $t_i \in T$ ($i = \overline{1, p}$) и $f_j \in F$ ($j = \overline{1, q}$), где $t_i = (t_{i1},$

$t_{i2}, \dots, t_{ir}, \dots, t_{in})$ и $f_j = (f_{j1}, f_{j2}, \dots, f_{jr}, \dots, f_{jn})$. Иначе говоря, $p + q < 2^n$. Тогда задачу сегментации среды по необходимому условию вычисления ПФ можно представить дуально:

$$\begin{cases} I\{Z_2(t_i)\} = I\{Z'_i(t_i)\}, & \text{для } t_i \in T, \\ I\{Z_2(f_j)\} = I\{Z'_j(f_j)\}, & \text{для } f_j \in F. \end{cases} \quad (8)$$

Для определенности зададим функционал: $I Z = \text{sign } Z$. В простейшем случае конструкция ЦФ $Z_2(X)$ может быть представлена уравнением гиперплоскости:

$$Z_2(X) = \sum_r \xi_r \cdot x_r - \gamma, \quad (9)$$

где $\langle \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_r, \dots, \xi_n, \gamma \rangle$ суть коэффициенты ЦФ ($r = \overline{1, n}$).

Цель решения задачи идентификации (в узком смысле) будет состоять в отыскании оптимальных векторов $t^0 \in T$ и $f^0 \in F$, таких, что

$$\begin{cases} \max Z_2(t_i) = Z_2(t^0), \\ \min Z_2(f_j) = Z_2(f^0). \end{cases} \quad (10)$$

Мы пришли к требованию: задано условие разбиения множества L на подмножества T и F , необходимо построить такой ПФ, чтобы решить не только задачу сегментации А, но и задачу идентификации Б. Успех решения задачи Б во многом зависит и определяется разрешимостью задачи А. Целесообразно вывести критерий разрешимости задачи сегментации.

3°. Критерий разрешимости задачи сегментации

Исходя из (4), нетрудно предложить простой критерий:

$$\Psi = \sum_{\lambda} |\text{sign } Z'_i(X_\lambda) - \text{sign } Z_2(X_\lambda)|. \quad (11)$$

Решение предельной задачи сегментации состоит в нахождении такой конструкции ЦФ $Z_2(X_\lambda)$, что $\min \Psi = 0$. Для $t_i \in T$ и $f_j \in F$ Ψ -критерий можно развернуть:

$$\Psi = \sum_i [\text{sign } Z'_i(t_i) - \text{sign } Z_2(t_i)] + \sum_j [\text{sign } Z'_j(f_j) - \text{sign } Z_2(f_j)]. \quad (12)$$

Принимая во внимание, что $\text{sign } Z'_i(t_i) = 1$ и $\text{sign } Z'_j(f_j) = 0$ по (3), с учетом (9), получим удобный для вычисления критерий:

$$\Psi = \sum_i [1 - \text{sign}(\sum_r \xi_r \cdot t_{ir} - \gamma)] + \sum_j \text{sign}(\sum_r \xi_r \cdot f_{jr} - \gamma). \quad (13)$$

Задача состоит в том, чтобы найти такое нетривиальное решение $\langle \xi_1, \xi_2, \dots, \xi_r, \dots, \xi_n, \gamma \rangle$, которое обратит функционал Ψ в $\min \Psi$. В случае, если подмножества T и F линейно разделимы, $\min \Psi = 0$ [4]. Если же $\min \Psi > 0$, то возможно расширение по-

ставленной задачи. Отобразим n -мерное пространство R^n в m -мерное пространство R^m . Пространство R^m имеет координаты: $y_1, y_2, \dots, y_\ell, \dots, y_m (\ell = \overline{1, m})$. Введем изоморфное соответствие: каждому вектору $X_\lambda = (x_{\lambda 1}, x_{\lambda 2}, \dots, x_{\lambda n})$ в пространстве R^n однозначно соответствует вектор $X_\lambda^* = (y_{\lambda 1}, y_{\lambda 2}, \dots, y_{\lambda m})$ в пространстве R^m , причем $y_{\lambda \ell} \in \{0, 1\}$. Этот факт символически обозначим: $X_\lambda \rightarrow X_\lambda^*$. Очевидно, что индекс λ при этом не изменяется. В пространстве R^m выражения (9) и (12) можно привести к общему виду:

$$Z_2(X^*) = \sum_{\ell} \psi_{\ell} \cdot y_{\ell} - H, \quad (14)$$

$$\Psi = \sum_{\ell} [1 - \text{sign}(\sum_{\ell} \psi_{\ell} \cdot t_{i\ell}^* - H)] + \sum_j \text{sign}(\sum_{\ell} \psi_{\ell} \cdot f_{j\ell}^* - H), \quad (15)$$

где $\langle \psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\ell}, \dots, \psi_m, H \rangle$ суть коэффициенты ЦФ $Z_2(X^*)$, и согласно символически $X_\lambda \rightarrow X_\lambda^*$ имеем $t_{i\ell} \rightarrow t_{i\ell}^*, f_{j\ell} \rightarrow f_{j\ell}^*$. Выражения (4), (5), (8), (10) приводятся к общему виду аналогично, путем присваивания символа "*" для ЦФ $Z_2(X)$ по принципу: $X \rightarrow X^*$.

Решение задачи в пространстве R^m состоит в отыскании способов отображения среды $R^n \rightarrow R^m$ и вычислении коэффициентов $\langle \psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\ell}, \dots, \psi_m, H \rangle$, удовлетворяющих критерию $\min \Psi$.

Назовем совокупность возможных математических методов для построения ПФ в виде ЦФ $Z_2(X)$, построенных в соответствии с основными положениями п. I, А-автоматом.

II. Поведение А-автомата в дискретной среде R^n

В соответствии с гипотезой п. I, А-автомат необходимо "заставить" выделять наиболее информативные элементы в исходной среде R^n . Кроме того, А-автомат должен формировать управляющие воздействия на среду по мере вычисления решающего правила. Такую стратегию поведения А-автомата назовем активной. В [5] рассмотрена математическая модель, которая хорошо иллюстрирует стратегию активного поведения А-автомата.

Представим активную стратегию взаимодействия А-автомата со средой в виде блок-схемы рис. I. Задана исходная среда $X_\lambda \in L$ и $L \subseteq R^n$ на блоке I. Блок II есть программная модель ЦВМ, результатом работы которой служит оценка ЦФ $Z_1(X)$. В блоке селекции решений III производится выделение значения ЦФ $Z_1'(X)$ относительно заданного извне критического значения $Z_{1kp}(X)$. Значение $Z_{1kp}(X)$ предполагается известным заранее. Изучение

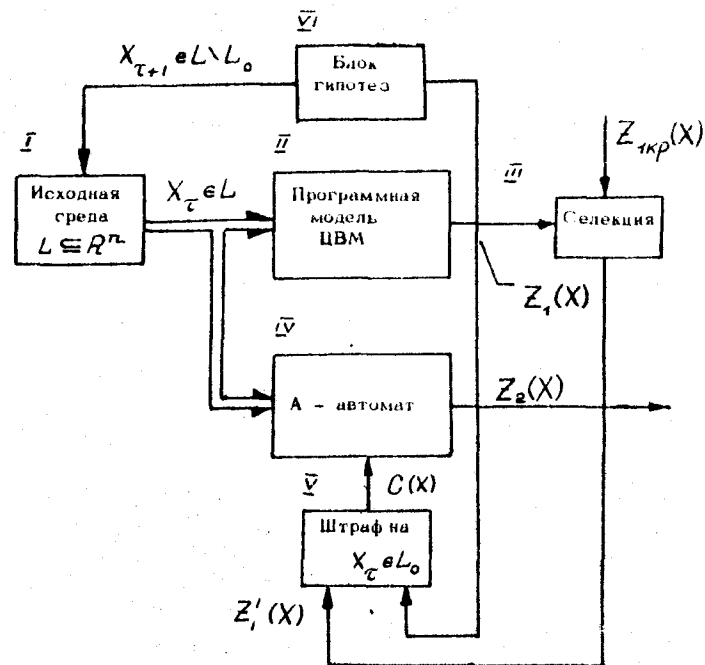


Рис. I. Блок-схема взаимодействия А-автомата со средой.

стратегии последовательного уточнения $Z_{1kp}(X)$ не является предметом настоящей статьи. Блок IV есть, собственно, А-автомат, на выходе которого формируется решение $Z_2(X)$. Решение $Z_2(X)$ вычисляется только на основании штрафов $C(X_\tau) = f[Z_1'(X_\tau), Z_2(X_\tau)]$. Штрафы C формируются в блоке V всякий раз, когда $I\{Z_1'(X_\tau)\} \neq I\{Z_2(X_\tau)\}$. В блоке VI производится выработка гипотезы - какой вектор целесообразно выбрать из среды? Допустим А-автомат уже отработал решение на подмножестве векторов $X_\tau \in L_0$. Тогда выработка очередной гипотезы $X_{\tau+1}$ блоком VI производится на подмножестве $X_{\tau+1} \in L \setminus L_0$.

Активность в работе А-автомата достигается с помощью контура положительной обратной связи: выход А-автомата — блок выработки гипотез VI — исходная среда I. Поскольку поведение А-автомата и так активное ("агрессивное"), то он может только штрафовать. Поощрение А-автомата не допускается. Работа А-ав-

томата заканчивается, когда величина штрафов принимает нулевое значение $C(X_\tau) = f[Z'_1(X_\tau), Z_2(X_\tau)] = 0$ для всех $X_\tau \in L^*$.

В основу построения теории поведения А-автомата положены некоторые эвристические принципы, сходные с теми, которыми руководствуется специалист в данной предметной области на пути повышения своей квалификации. Действительно, для человека, который занимается систематизацией (прогнозированием) объектов по какому-либо критерию качества (ЦФ), наибольший интерес представляют именно те объекты, которые менее всего "похожи" на своих предшественников $X_\tau \in L_0$ из данного класса. Иначе говоря, в таких условиях для человека наибольший интерес представляют "атипичные" ситуации.

Реализация этого принципа позволила приблизиться к решению вопроса о выделении граничного и опорного подмножеств [5]. В нашем случае диалектический принцип конкретности перехода от бесконечного к конечному еще более конкретизируется: известный принцип выделения существенных признаков усиливается принципом выделения наиболее существенных элементов в исходном пространстве. Для нас этот принцип весьма важен, ибо его применение позволяет проводить сокращения числа экспериментов.

В работе [4] предложен алгоритм поведения А-автомата: "релаксационный алгоритм" (РА). РА осуществляет вычисление весовых коэффициентов (ВК) ξ_τ и порога γ ЦФ $Z_2(X)$ (9) по критерию $\min \Psi$. Общая процедура вычисления величин ВК мало чем отличается от известных процедур целочисленного линейного программирования. РА также предусматривает определение целочисленного значения порога и выработку очередной гипотезы. Выработка РА гипотез осуществляется с помощью специальной процедуры динамического упорядочивания элементов $X_\tau \in L$. Процедура динамического упорядочивания основана на формировании матрицы бинарных отношений между элементами того или иного подмножества: $t_i \in T(f_j \in F)$.

Например:

$$S(T) = \|S_{ig}\|. \quad (16)$$

$$S_{ig} = t_i \cdot t_g \quad (i=\overline{1,p}), (g=\overline{1,p}). \quad (17)$$

Матрица (16) вычисляется для всех таких t_i и t_g , для которых величина штрафа $C(t_i) \neq 0$ и $C(t_g) \neq 0$. Для следа и первой диагонали, параллельной следу матрицы (16), выполняются следующие

*) Нетрудно заметить, что по окончании работы А-автомата имеет место такое: $C(X_\lambda) = 0$ для всех $X_\lambda \in L$.

щие отношения:

$$\begin{aligned} S_{ii} &< S_{gg}, \\ S_{ii-1} &< S_{gg-1} \end{aligned} \quad (18)$$

$$(19)$$

для всех $g = (i+1), p$.

Элементы матрицы (16) обладают свойствами симметрии, транзитивности, коммутативности. В настоящее время сходимость РА теоретически обоснована полностью. Процедура динамического упорядочивания по (16) - (19) следует из условий обеспечения монотонной сходимости величин приращений ВК $\Delta \xi$ и порога $\Delta \gamma$. Заметим, что РА не является единственным возможным алгоритмом организации локальной стратегии А-автомата по критерию $\min \Psi$.

III. Переходы А-автомата из среды R^n в среду R^m

Если в результате применения РА окажется, что $\min \Psi > 0$, то производится дальнейшее усовершенствование решающего правила. Может быть предложена блок-схема получения точного решения (рис. 2). Общая организация А-автомата осуществляется ведущим

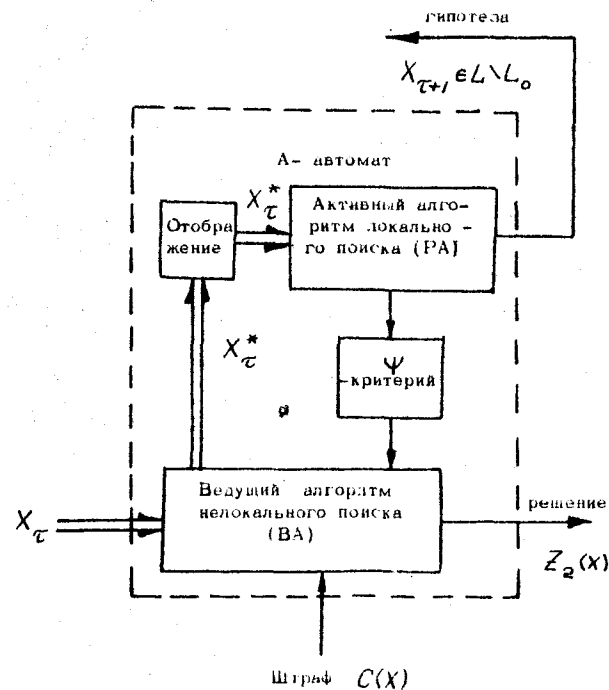


Рис.2. Блок-схема организации переходов А-автомата из среды R^n в среду R^m .

ВА производит обращение к алгоритму локального поиска решения (РА). Если $\min \Psi' > 0$, то ВА производит отображение исходной среды: $R^n \rightarrow R^m$. Возможны два способа аппроксимации решающего правила (ПФ): 1⁰ – кусочно-линейная аппроксимация; 2⁰ – аппроксимация полиномом сколь угодно высокого порядка. Способ 2⁰ более совершенен с точки зрения изучения интерполяционных и экстраполяционных свойств ПФ. Способ 1⁰ более экономичен с точки зрения объема вычислений. С помощью способа 2⁰ получается более компактная математическая модель по сравнению с 1⁰ способом.

Рассмотрим организацию ВА по 2⁰ способу. В этом случае разложение $Z_2(X)$ представляется в полиномиальной форме, сходной по конструкции с разложением Жегалкина. В нашем случае полином имеет не логическую, а алгебраическую конструкцию. Каждую координату определим по правилу:

$$y_l = \left\{ \begin{array}{ll} x_r, & r = \overline{1, n} \\ x_r \cdot x_\alpha, & r = \overline{1, n} \\ & \alpha = \overline{1, n} \\ & r \neq \alpha \\ x_r \cdot x_\alpha \cdot x_\beta, & r = \overline{1, n} \\ & \alpha = \overline{1, n} \\ & \beta = \overline{1, n} \\ & r \neq \alpha \\ & r \neq \beta \\ \prod_{r=1}^n x_r \end{array} \right. \quad (20)$$

В общем виде искомое разложение можно представить:

$$\begin{aligned} Z_2(X) &= \sum_{\ell} \mathcal{G}_{\ell} \cdot y_{\ell} - H = \\ &= \sum_n \xi_n \cdot x_n + \sum_n \sum_{\alpha} \xi_{n\alpha} x_n \cdot x_{\alpha} + \\ &+ \sum_n \sum_{\alpha} \sum_{\beta} \xi_{n\alpha\beta} x_n \cdot x_{\alpha} \cdot x_{\beta} + \dots + \xi_{1,2,\dots,n,n} \prod_n x_n. \end{aligned} \quad (2I)$$

Определим ВА с помощью операторной схемы:

BA: = $\downarrow PA_1[T] A_2[j] A_3[j, \ell] F_4[ye]$

$$PA_5[F] \quad A_6[i] F_7 \quad (\Psi \neq 0) \uparrow_{10} A_8[i, \ell] \quad (22)$$

$$F_9[y_\ell] \uparrow \uparrow \uparrow A_{10} \quad (\text{конец}).$$

Оператора $A_2[j]$ определяет

$$\max_j Z_2(f_j^*) = Z_2(f_{\bar{n}}^*), \quad (23)$$

среди $f_j^* \in F$, таких, что $\text{sign } Z_2(f_j^*) = -1$;

Оператор $A_6[\cdot]$ определяет

$$\min_i Z_2(t_i^*) = Z_2(t_g^*) \quad (24)$$

среди $t_i^* \in T$ таких, что $\text{sign } Z_2(t_i^*) = 0$;

Оператор $A_3 [j, 2]$ фиксирует два таких индекса

$$\mu = \overline{1, m} \quad \text{и} \quad \nu = \overline{1, m}, \quad \text{что:}$$

$$\psi_\mu = \max_{\psi_l} \psi_l \cdot fe_\pi^*, \quad \psi_l \cdot f^* \leq \psi_l \quad (25)$$

Оператор $A: [i, \ell]$ фиксирует два индекса

$$\mu = \overline{1, m} \text{ и } \nu = \overline{1, m} \text{ по правилу:}$$

$$\begin{aligned} \psi_{\mu} &= \min_l \psi_l \cdot t_{lq}^* \\ \psi_j \cdot t_{lq}^* &\leq \psi_{\mu}; \end{aligned} \quad (26)$$

Операторы $A_2[f]$ и $A_6[l]$ определяют те ситуации, которые даст наиболее неверный ответ.

Операторы $A_3[j, \ell]$ и $A_8[i, \ell]$ фиксируют в первую очередь те координаты, из-за которых получен неверный ответ.

Операторы $F_4[y_e]$ и $F_9[y_e]$ вводят в пространство R^n новые координаты $y_e := y_s \cdot y_t$. Как только введены новые координаты, ВА обращается к алгоритму локального поиска, который проводит вычисления в скорректированном пространстве. Таким образом, по мере работы А-автомата, ВА пытается на каждом шаге минимизировать ошибку и как можно скорее получить решение. Такой способ построения отображения $R^n \rightarrow R^m$ также является активным.

IV. Примеры вычисления ПФ ЦВМ А-автоматом

Рассмотрим применение предложенной методики на простых, но наглядных примерах [6,7].

I. Пример. Построить ПФ на основе статистического материала, полученного при моделировании виртуальной памяти ДВМ

"Стретч" [6]. Задано: 4 устройства основной памяти с циклом обращения 2,0 мсек; 2 блока быстродействующей памяти с циклом обращения 0,6 мсек. Схема характеризуется следующими параметрами:

- числом блоков виртуальной памяти N ;
- реализуемым на ЦВМ алгоритмом переработки информации: методом сеток (МС) и методом Монте-Карло (МК);
- временем τ_{ay} и $\tau_{пay}$.

Исследуется относительная скорость выполнения команд $Z_i = (v)$. На рис. 3 приведен график семейства зависимостей $v(N)$, который заимствован из [6].

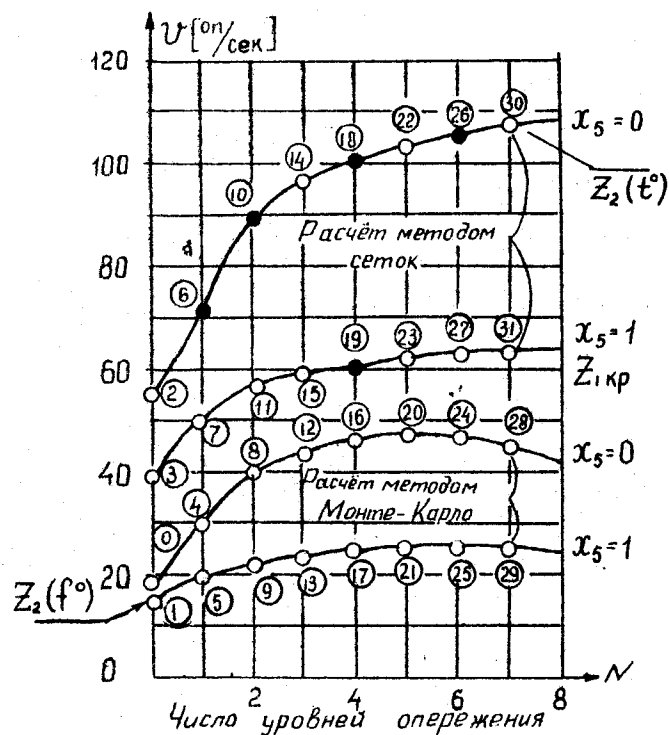


Рис. 3. Результаты экспериментов на программной модели, полученных при исследовании эффективности введения виртуальной памяти ЦВМ "Стретч" по [6].

Проведем кодировку:

$$N = x_1 x_2 x_3; x_4 = \begin{cases} 1, & \text{если МС} \\ 0, & \text{если МК} \end{cases}; x_5 = \begin{cases} 1, & \text{при } \tau_{ay} = 1,28, \tau_{пay} = 1,4 \\ 0, & \text{при } \tau_{ay} = 0,64, \tau_{пay} = 0,6 \end{cases}$$

В соответствии с принятым способом кодировки, каждой экспериментальной точке на графике рис. 3 присвоим число $\sum_{i=1}^5 2^{n-i} x_i$, которое соответствует номеру вершины в пятимерном гиперкубе. Заданная $Z_{кр} = v_{кр} = 60$ т.оп/сек. Тогда весь статистический материал распределяется на два подмножества: $t_i \in T(p=n)$ и $f_j \in F(q=21)$.

Применяем РА в соответствии с [4] и получаем цепочку порождения гипотез А-автоматом (рис. 4). В результате применения РА

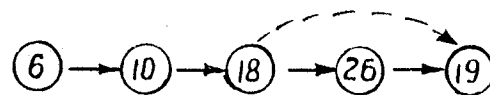


Рис. 4. Цепочка порождения гипотез А-автоматом при исследовании ЦВМ "Стретч".

получена при $\Psi = 0$ линейная математическая модель ПФ:

$$Z_2(X) = 3x_1 + x_2 + x_3 + 8x_4 - 2x_5 - 9. \quad (27)$$

Нетрудно видеть, что задача решена в смысле условия сегментации (8), а также в смысле (10), т.е.

$$\max Z_2(t_i) = Z_2(t_{30}) \rightarrow \max Z_i(t_i) = Z_i(t_{30}) \quad (28)$$

$$\min Z_2(f_j) = Z_2(f_0) \rightarrow \min Z_i(f_j) = Z_i(f_0) \quad (29)$$

Наибольший вклад в изменение значения ЦФ $Z_i(x) = v$ вносит переменная x_4 , отражающая вариацию алгоритма реализации. А-автомат построил ПФ при реализации штрафа на пяти ситуациях (рис. 4), что составляет лишь 15,6% от общего объема представленной информации.

2. Пример. Построить ПФ по результатам исследования последовательности команд на реальных программах японской ЦВМ "Бендико-15D" [7].

В качестве ЦФ $Z_i(x)$ рассматривается вероятность перехода от одной группы команд к другой - p_{jg} .

Определены следующие группы команд:

1. остальные;
2. арифметические;
3. передачи управления;
4. ввода;
5. вывода;
6. индекса;
7. специальные.

(30)

и задана следующая таблица I:

Т а б л и ц а I

Вероятность переходов $p_{\gamma\delta}$ от одной группы команд к другой ЦВМ "Бендикс-15D" по [7]

$\gamma \backslash \delta$	1	2	3	4	5	6	7
1	9,52	33,3	-	4,8	-	19,0	33,3
2	0,01	86,2	5,2	0,3	2,9	2,5	30,2
3	-	7,5	6,6	-	9,5	6,8	4,61
4	-	9,43	0,34	80,8	3,4	3,7	2,37
5	-	37,1	5,2	1,35	41,7	9,8	4,83
6	0,11	23,1	1,1	1,54	3,31	64,4	6,39
7	6,71	57,9	0,52	1,55	9,01	6,7	17,8

Примем $Z_{икр} = p_{\gamma\delta} = 17\%$. Тогда исходный статистический материал разбивается на $t_i \in T$ ($p=12$) и $f_j \in F$ ($q=31$) ситуаций. Предварительно заметим, что представление носит "чисто" дискретный характер.

Закодируем ситуации таким образом, чтобы было возможно оценить вклад каждой из групп команд. Примем позиционную систему числения такую, что:

наличие единиц в коде $x_1, x_2, \dots, x_7$ однозначно соответствует позициям в (30), а бинарные отношения x_8, x_9 задают порядок выборки информации из таблицы I (см. таблицу 2).

Применение А-автомата позволило решить задачу сегментации. Решение имеет вид:

$$I\{Z_2(X)\} = \text{sign}(3x_1 + 3x_2 - 6x_3 - 7x_4 - 6x_5 - 6x_6 - 6x_7 + 4x_8 + 4x_9 - x_2x_8 - 2x_3x_8 - 10x_1x_9 - 1). \quad (31)$$

Т а б л и ц а 2
Определение бинарных отношений x_8, x_9 выборки информации

x_8	x_9	
1	0	$\gamma < \delta$
0	1	$\gamma > \delta$
1	1	$\gamma = \delta$

Видим, что наибольшее влияние на уменьшение степени зацепленности команд в ЦВМ вносит переменная x_4 - "ввод".

В заключение можно сделать следующие выводы:

1°. С ростом размерности исходной среды предложенная методика в большей степени эффективна, так как резко позволяет сократить объем необходимых

экспериментов и вычислений по сравнению с классическими методами обработки статистики (многомерный корреляционный и регрессионный анализ).

2°. Чем в большей степени имеет место $\xi_{max} \rightarrow \infty$ и $p+q \rightarrow 2$, тем точнее решение задачи идентификации. При этом имеет место эффект вырождения частично упорядоченного множества значений ЦФ $Z_2(x_\lambda)$ в абсолютно упорядоченное множество.

3°. Предложенная методика более эффективна, нежели известные методы теории обучения автоматов распознаванию образов, так как позволяет выделять наиболее "характерные" представители в обучающей последовательности [5]. Рассмотренный принцип обучения А-автомата может быть интерпретирован на уровне самообучения по входам.

4°. Предложенная стратегия поведения А-автомата может быть обобщена на случай "самопроизвольной" корректировки $Z_{икр}(X)$ - самообучение А-автомата по выходу.

5°. Предложенная стратегия поведения А-автомата может быть обобщена на случай задания нестационарной среды R^n . Под нестационарностью среды R^n понимается переключение каждого из параметров $x_{\lambda n} \in \{0, 1\}$ в дискретные моменты времени

$$\tau_0, \dots, \tau_k, \dots, \tau_{d-1}.$$

6°. А-автомат сравнительно просто поддается алгоритмизации. Так, например, программная реализация А-автомата, которая была поставлена на ЦВМ "Минск-22", занимает порядка 1000 ячеек памяти МЗУ.

1. А.К. ПОЛЯКОВ. Некоторые особенности учета временных соотношений в программных моделях. - Доклады научно-технической конференции по итогам НИР. Подсекция вычислительной техники. М., МЭИ, 1967 г. 22-29.
2. А.К. ПОЛЯКОВ. Система автоматизации моделирования ЦВМ. Сб. "Цифровая вычислительная техника и программирование" под ред. А.И. Китова. Вып. 4. М., "Советское радио", 1968 г.
3. Е.И. ГУРВИЧ, А.М. ЕНГАЛЫЧЕВ, Н.Я. МАТЕХИН. Язык МОДИС для моделирования цифровых автоматов на этапе функционального синтеза. - Тезисы докладов конференции "Теория автоматов и искусственное мышление". М., ВЦ АН СССР, 1968 г.
4. И.И. ДЗЕГЕЛЕНКО. Релаксационный алгоритм нахождения порогового отделителя в n -мерном единичном кубе. Доклады научно-технической конференции по итогам НИР. Сб. "Теория дискретных систем". М., МЭИ, 1967 г.
5. И.И. ДЗЕГЕЛЕНКО, М. РУСИНКЕВИЧ, А.Г. ШИГИН. Активные алгоритмы обучения автоматов распознаванию образов. - Тезисы докладов конференции "Теория автоматов и искусственное мышление". М., ВЦ АН СССР, 1968 г.
6. В.С. БАЛЛАНС, Дж. КОК, Х.Г. КОЛСКИЙ. Опережающее устройство. В кн. "Проектирование сверхбыстродействующих систем. Комплекс СТРЕТА". Под ред. В.Бухгольца. М., Мир, 1965 г.
7. Е. ЦУБОИ, Т. КИМУРА. Частота команд, используемых в одноадресной вычислительной машине. Мицубиси дэнкитихо. т.37, № 4, 1963 г. Пер. ВИНТИ № 43355/4.

Поступила в редакцию
19.VII.1969 г.