УДК 681.3, 62.50: 519.2

В.М. Колешко, М.А. Самошкин

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ СЧИТЫВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

1. Способ автоматического параллельно-последовательного считывания графической информации

Разработанный способ считывания и обработки графической информации основан на формировании ступенчато-изменяющегося напряжения сканирования поля изображения, возбуждении с частотой дискретизации напряжения сканирования точечных световых сигналов, преобразовании их в моменты попадания на изображение в видеосигналы и формировании пороговых напряжений, сравнении амплитуды видеосигнала с соответствующим пороговым напряжением. При амплитудах видеосигнала, меньших уровня порогового напряжения, формируют четырехступенчатые импульсы с шестнадцатикратным увеличением частоты их следования по отношению к первоначальной частоте дискретизации напряжения сканирования с, периодом, равным длительности видеосигнала. Затем последовательно суммируют четырехступенчатые импульсы с амплитудой ступенчато-изменяющегося напряжения сканирования, в момент сравнения амплитуды видеосигнала с пороговым напряжением определяют координаты считываемой точки изображения и по окончании четырехступенчатого импульса суммируют полученные видеосигналы и осуществляют четырехкратное уменьшение частоты их следования. На рис. 1 приведена временная диаграмма разработанного способа считывания графической информации.

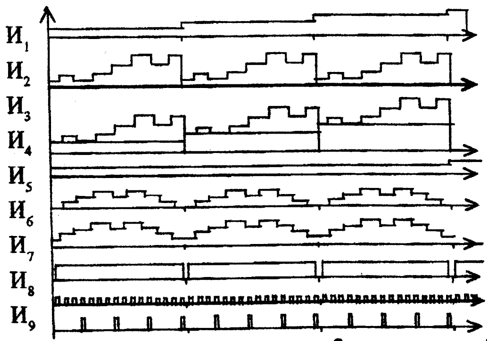

Рис. 1. Временная диаграмма способа считывания графической информации

Введение новой последовательности операций повышает в несколько раз быстродействие обработки графической информации за счет автоматического выбора шага считывания и размеров сканирующего луча, а автоматизация процессов обработки графической информации в процессе ее преобразования сокращает в 3-5 раз объемы хранения дискретных данных об изображении (чертежах, графиках и др.), существенно повышает производительность информационно-вычислительных систем.

2. Некоторые особенности метода оценки эффективности ИС

Интеллектуальные системы (ИС), системы с параллельным, последовательным или параллельно-последовательным и последовательно-параллельным соединением элементов относятся к классическому типу систем. Однако существующие методы оценки характеристик даже простейших ИС достаточно сложны и громоздки, что сказывается на исследовании более сложных систем, структура которых в качестве составляющих включает подсистемы с иерархическими структурами. В статье, в отличие от [1-3], аппарат производящих функций не используется. В предлагаемой методике главным инструментом при оценке эффективности W являются свойства и закономерности в трансформации последовательности случайных величин (с.в.) $\{\nu_j,$ $j \geq 1\}$ – числа нормально функционирующих (н.ф.) элементов на j – м уровне ИС.

Пусть ξ_i, ξ_j – независимые одинаково распределенные с.в. Обозначим это как $\xi_i \underset{d}{=} \xi_j$. Далее, пусть α_i – число работоспособных элементов в подсистемах s_i, $i \leq l$, а $\alpha_{i,j}$ – число н.ф. элементов на i -м уровне в j -й по порядку подсистеме s_i. Очевидно, $\alpha_{i,j} \underset{d}{=} \alpha_{i,k} \underset{d}{=} \alpha_i \quad \forall i, j$.

Ясно, что $\nu_1 \underset{d}{=} \alpha_1$. Определим ν_2. Так как из n_1 лишь ν_1 подсистем s_2 связаны с 0 -элементом, а в произвольно выбранной из ν_1 j -й по номеру подсистеме s_2 число работоспособных элементов случайно и равно $\alpha_{2,j}$, $\alpha_{2,j} \leq n_2$, $j \leq \nu_1$, то с.в. $\nu_2 = \alpha_{2,1} + \alpha_{2,2} + \ldots + \alpha_{2,\nu_1}$. Очевидно, с.в. ν_1 и $\alpha_{2,i}$, $i \leq \nu_1$, взаимно независимы. Аналогичным образом получаются представления с.в. ν_j, $j \geq 2$.

Таким образом, найдена последовательность $\{\nu_j, \ j \geq 1\}$:

$$
\begin{aligned}
&{}_1 = a_1, \\
&{}_2 = a_{2,1} + a_{2,1} + \ldots + a_{2,1}, \\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\
&{}_2 = a_{2,1} + a_{2,1} + \ldots + a_{2,1},
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

В целом методы [1-3] решения задачи оказались неадекватными относительной простоте структуры ИС и принятым допущениям. Эту задачу можно решить, если величины $M\nu_j$, $M\nu_j^2$, $M\nu_j\nu_k\ldots\forall j < k \leq l$ будут определены как некоторые функции от с.в. α_i, $i \leq l$, т.е. от величин, которые по сути характеризуют основные составляющие ИС S_l – ее подсистемы s_j, $j \leq l$. В силу того, что с.в. α_i, $i \leq l$, взаимно независимы, выражения для $M\nu_i$, $M\nu_i\nu_j$, $M\nu_i^k$, $M\nu_i\nu_j^k\ldots$ максимально упрощаются.

3. Аналитический метод

Наиболее глубокие результаты могут быть выявлены лишь на основе аналитических методов.

1. Определение Mv_l. Как следует из [4, 5, 6-8], $Mv_j = Mv_{j-1}M\alpha_j \quad \forall j \geq 1$. Поэтому ввиду независимости с.в. $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_l$

$$Mv_l = MA_l \quad \forall l \geq 1, \tag{2}$$

где $A_l = \prod^{l} \alpha_i, \quad MA_l = \prod^{l} M\alpha_i$.

2. Определение $M(v_l)_2$, Dv_l и Dv_l^2. Из [5, 6, 10–12], заменив η_k на v_l, к — на v_{l-1} и γ – на α_l, последовательными преобразованиями с учетом независимости с.в. $\alpha_1, \ldots, \alpha_l$ для $M(v_l)_2$ можно получить

$$M(v_l)_2 = Mv_{l-1}M(\alpha_l)_2 + M(v_{l-1})_2(M\alpha_l)^2 =$$

$$Mv_{l-1}M(\alpha_l)_2 + Mv_{l-2}M(\alpha_{l-1})_2\ (M\alpha_l)^2 + M(v_{l-2})_2\ M(\alpha_{l-1})^2\ (M\alpha_l)^2 = \ldots$$

$$\ldots = \sum_{i=1}^{l} \prod_{j=1}^{i-1} M\alpha_j M(\alpha_i)_2 \prod_{k=i+1}^{l} (M\alpha_k)^2.$$

Окончательно с учетом (2) получим

$$M(v_l)_2 = MA_l \sum_{i=1}^{l} \frac{M(\alpha_i)_2}{M\alpha_i} \frac{MA_l}{MA_i}. \tag{3}$$

Согласно [4, 5, 6–8] $D\eta_k$ можно определить из выражения для $M(\eta_k)_2$ заменив $M(.)_2$ на $D(.)$. Вследствие этого при определении Dv_l можно воспользоваться выводом выражения $M(v_l)_2$, заменив $M(.)_2$ на $D(.)$. Поэтому

$$Mv_l = MA_l \sum_{i=1}^{l} \frac{D\alpha_i}{M\alpha_i} \frac{MA_l}{MA_i}. \tag{4}$$

В случае однородной ИС, когда $\alpha_i \underset{d}{=} \alpha \quad \forall i$, (4) трансформируется в известное для ветвящихся процессов [4-6] выражение

$$Dv_l = D\alpha (M\alpha)^{l-1} \frac{(M\alpha)^l - 1}{M\alpha - 1}.$$

С учетом [6] $M(v_l)_2 = Mv_l^2 - Mv_l$ из (2) и [3] получим

$$Mv_l^2 = MA_l + MA_l \sum_{i=1}^{l} \frac{M(\alpha_i)_2}{M\alpha_i} \frac{MA_l}{MA_i}. \tag{5}$$

3. Определение $M(v_l)_3$, Vv_l и Mv_l^3. Факториальный момент третьего порядка $M(v_l)_3$ определяется, как и $M(v_l)_2$, рекуррентным образом. Поэтому для простоты приведем окончательный результат:

$$M(v_l)_3 = MA_l \left\{ \sum_{i=1}^{l} \frac{M(\alpha_i)_3}{M\alpha_i}\left(\frac{MA_l}{MA_i}\right)^2 + \right. \qquad (6)$$

$$\left. +3\sum_{i=2}^{l} \frac{M(\alpha_i)_2}{M\alpha_i}\frac{MA_l}{MA_i}\sum_{j=1}^{i-1} \frac{M(\alpha_j)_2}{M\alpha_j}\frac{MA_l}{MA_j}. \right\}$$

Справедливость (6) можно проверить, используя метод математической индукции. Действительно, при $l=1$ из (6) однозначно следует $M(v_l)_3 = M(\alpha_1)_3$; если $k = l+1$, то, подставляя (3) и (6) в [3], для $M(v_k)_3$ получим выражение, адекватное (6). Выражение для $V\eta_{\text{в}}$ можно получить из [3], заменив $M(.)_3$ на $V(.)$, а $M(.)_2$ на $D(.)$. Поэтому, как и при определении Dv_l , из (6) имеем

$$Vv_l = MA_l^{*} \left\{ \sum_{i=1}^{l} \frac{V\alpha_i}{M\alpha_i}\left(\frac{MA_l}{MA_i}\right)^2 + \right.$$

$$\left. +3\sum_{i=2}^{l} \frac{D\alpha_i}{M\alpha_i}\frac{MA_l}{MA_i}\sum_{j=1}^{i-1} \frac{D\alpha_j}{M\alpha_j}\frac{MA_l}{MA_j}. \right\} \qquad (7)$$

Справедливость (7), как и (6), можно доказать, используя метод математической индукции. Отметим, что в случае однородной ИС из (7), учитывая (2), нетрудно получить выражение, которое совпадает с подобным выражением для Dv_l в [2, с. 161], полученным с помощью аппарата производящих функций. Наконец, так как из [5, 6, 10] $Mv_l^3 = = M(v_l)_3 + 3Mv_l^2 - 2Mv_l$, то с учетом (2), (5) и (6) нетрудно получить выражение для Mv_l^3. Таким образом, выражения (2)-(7) для Mv_l^i, $M(v_l)_i$, $i \geq 1$, Dv_l и Vv_l определены в виде функций от с.в. α_j, $j \leq l$.

4. Оценка эффективности ИС S_l

Оценка эффективности ИС S_l будет производиться с учетом принятых определений работоспособных и н.ф. элементов и в предположении независимости функционирования элементов ИС [9]. При данных условиях с.в. α_i, $i \leq l$, имеет биномиальное распределение, т.е.

$$p(\alpha_i = k) = \binom{n_i}{k} p_i^k q_i^{n_i-k}, \quad q_i = 1-p_i, \quad i \leq l. \qquad (8)$$

Как известно, для с.в. α_i с распределением (8) справедливы, если для простоты опустить индекс i, соотношения

$$\begin{cases} M\alpha = np, \quad M\alpha^2 = np(q+np), \quad M\alpha^3 = \\ = np[1+3(n-1)p+(n-1)(n-2)p^2], \\ D\alpha = npq, \quad M(\alpha)_2 = np(n-1)p, \\ M(\alpha)_3 = np(n-1)p(n-2)p. \end{cases} \tag{9}$$

Рассмотрим ИС, исследованные в [1, 3].

1. Случай $f_{\{\nu\}}(x_1,\ldots,x_{l-1},x_l) = f_{\{\nu\}}(0,\ldots,0,x_l)$ [1]. С учетом (9) $M\nu_l$, $M\nu_l^2$ и $M\nu_l^3$ соответственно определяются из (2), (5) и из (6) с учетом [5, 6, 10-12]. Представление данных величин в их конечном виде является, в общем, рутинной операцией. Поэтому остановимся лишь на определении величины $M\nu_l^2$, которая, учитывая, что $D\nu_l = M\nu_l^2 - (M\nu_l)^2$, из (4) и (9) непосредственно приводится к виду

$$M\nu_l^2 = \left\{ \prod_{i-1}^{l} n_i p_i + \sum_{i=1}^{l} q_i \prod_{j=i+1}^{l} n_j p_j \right\} \prod_{i=1}^{l} n_i p_i. \tag{10}$$

Отметим, что (10) не совпадает с выражением для $M\nu_l^2$ [1]. С учетом принятых в настоящей статье обозначений из [1] получим равенство $M\nu_l^3 = \ldots = M\nu_{l-1}^3(M\alpha_l)^3 + 3M\nu_{l-1}^2 M\alpha_l D\alpha_l + \text{-}2M\nu_{l-1}(D\alpha_l)^2 / M\alpha_l$, которые какими-либо преобразованиями не может быть сведено к [3]. Отметим, что при использовании центральных моментов справедливо выражение $M\nu_l^3 = M\nu_{l-1}^3(M\alpha_l)^3 + 3M\nu_{l-1}^2 M\alpha_l D\alpha_l + M\nu_{l-1} V\alpha_l$.

Таким образом, в простейшем случае, когда $f_{\{\nu\}}(x_1,\ldots,x_{l-1},x_l) = f_{\{\nu\}}(0,\ldots,0,x_l)$, в [1] верно определена лишь наиболее простая из величин $M\nu_l^i$, $i \le 3$, а именно $M\nu_l$. Этот факт косвенно подтверждает сложность метода [1] оценки эффективности W ИС S_l.

2. Случай $f_{\{\nu\}}(x_1,\ldots,x_{l-1},x_l) \ne f_{\{\nu\}}(0,\ldots,0,x_l)$, $x_l \ne 0$ [3]. После определения $M\nu_i^k$, $i \le l$, в виде некоторых функций от с.в. α_j, $j \le i$, подобную задачу необходимо решить и для смешанных моментов $M\nu_i^k \nu_j^m$, $M\nu_i^k \nu_j^m \nu_h^n, \ldots$, $i,j,h \le l$; $k,m,n \ge 1$. В [3] решение подобной задачи было представлено в виде алгоритма с привлечением полиномов Белла и чисел Стирлинга 1-го рода. Определение $M\nu_i\nu_j$. Согласно теории ветвящихся процессов [8, т. 1, с. 300].

$$M\nu_i\nu_j = M\nu_i^2 \prod_{s=i+1}^{j} M\alpha_s, \quad i < j. \tag{11}$$

Соотношение (11) предлагается в [8] доказать, применяя двойную производящую функцию. Однако более простым оказывается метод, используемый при определении $M\eta_k^3$.

При $j>i$ с.в. ν_j можно представить в виде $\nu_{j,\nu_i}=\beta_1(i,j)+\beta_2(i,j)+\ldots+\beta\nu_i(i,j)$, где с.в. $\beta_s(i,j)$, $s\le\nu_1$, в соответствии с описанным в [5, 6, 10] методом «конструирования» характеристик, представляет собой число н.ф. элементов на последующем уровне в иерархической $(j-i)$ – уровневой подсистеме $s_{i,j}$, 0_i – элемент которой совмещен с одним из ν_i н.ф. элементов на i – м уровне рассматриваемой ИС S_l. Очевидно, $\beta_s(i,j)\underset{d}{=}\beta(i,j)$ $\forall s$, при этом в соответствии с (1) $\beta(i,j)=\alpha_{j,1}+\alpha_{j,2}+\ldots+\alpha_{j,\beta(i,j-1)}$, $\alpha_{j,m}\underset{d}{=}\alpha_j$ $\forall m$.

Пусть k – одна из реализаций с.в. ν_i. В этом случае с.в. $\nu_i\nu_j$ трансформируется в величину $k^2\beta(i,j)$. Если теперь к последней величине применить оператор $M\{.\}$, то сразу получим (11), так как согласно (2) $M\beta(i,j)=\prod_{s=i+1}^{j} M\alpha_s$.

Определение $M\nu_i^2\nu_j$, $M\nu_i\nu_j^2$, $M\nu_i\nu_j\nu_h$. Из изложенного ясно, что

$$M\nu_i^2\nu_j=M\nu_i^3\prod_{s=i+1}^{j}M\alpha_s,\quad i\le j. \tag{12}$$

Поэтому остановимся на определении $M\nu_i\nu_j^2$, $i\le j$.

В рассматриваемом случае $\nu_j^2\nu_i=(\beta_1(i,j)+\beta_2(i,j)+\ldots+\beta_{\nu_i}(i,j))^2$. Поэтому если k - одна из реализаций с.в. ν_i, то

$$\nu_{j,k}=\sum_{s=1}^{k}\beta_s^2(i,j)+2\sum_{s=1}^{k-1}\beta_s(i,j)\sum_{u=s+1}^{k}\beta_u(i,j),$$

и при $\beta_s(i,j)\underset{d}{=}\beta(i,j)$ $\forall_s$

$$\nu_{j,k}^2=k\beta^2(i,j)+2\tbinom{k}{2}\beta(i,j)\beta(i,j).$$

Далее, применяя оператор $M\{.\}$, окончательно получаем

$$M\nu_i\nu_j^2=M\nu_i^2M\beta^2(i,j)+M\nu_i^3(M\beta(i,j))^2-$$

$$-M\nu_i^2(M\beta(i,j))^2=M\nu_i^2D\beta(i,j)+M\nu_i^3(M\beta(i,j))^2, \tag{13}$$

где, учитывая (5),

$$M\beta^2(i,j)=MA_{i,j}+MA_{i,j}\sum_{s=i+1}^{j}\frac{M(\alpha_s)_2}{M\alpha_s}\frac{MA_{i,j}}{MA_{s,j}},\quad MA_{i,j}=\prod_{s=i-1}^{j}M(\alpha_s).$$

Наконец, поскольку при $i<j<h$ $M\nu_i\nu_j\nu_h=M\nu_i\nu_j^2\prod_{s=j+1}^{h}M\alpha_s$, то, используя (13), можно получить требуемое аналитическое представление $M\nu_i\nu_j\nu_h$ в виде соответствующей функции от с.в. a_s, $s\le h$.

Итак, определив по (2)-(7) величины Mv_l, Mv_l^2, Mv_l^3, а по (11)-(13) — величины Mv_iv_j, $Mv_i^2v_j$, $Mv_iv_j^2$, $Mv_iv_jv_k$ ... , можно по (1) оценить значение эффективности W рассматриваемой ИС S_l.

Таким образом, используя свойства сумм случайного числа случайных слагаемых и последовательностей данных сумм, предложен новый подход к оценке эффективности W ИС S_l. Согласно подходу величины Mv_j, Mv_j^2, Mv_jv_k, ... , j, $k \le l$, определяются как функции от взаимно независимых с. в. — α_i – числа работоспособных элементов в подсистеме типа s_i, $i \le l$. Это позволило, во-первых, существенно упростить определение величин Mv_j, Mv_j^2, Mv_jv_k, ... и , во-вторых, определить эффективность W ИС в зависимости от характеристик ее составляющих — подсистем s_i, из которых и «конструируется» ИС. В итоге оказалось возможным оценить характеристики ИС в зависимости от характеристик ее составляющих подобно тому, как, например, характеристики надежности систем с последовательным или параллельным соединениями оцениваются надежностью составляющих их элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ушаков И.А., Коненков Ю.К. Оценка эффективности функционирования систем с ветвящейся структурой. В сб. «Кибернетику — на службу коммунизму». — Т. 2. — М.: Энергия, 1964. — С. 205–213. 2. Гадасин В.А., Ушаков И.А. Надежность сложных информационно-управляющих систем. — М.: Сов. радио, 1975. — 192 с. 3. Гадасин В.А. Оценка эффективности иерархических систем с равноправными объектами с учетом надежности // Изв. АН СССР. Техн. кибернетика. — 1976. № 6. — С. 108–113. 4. Харрис Т.Е. Теория ветвящихся случайных процессов. — М.: Мир, 1966. — 352 с. 5. Севастьянов Б.А. Ветвящиеся процессы. — М.: Наука, 1971. — 436 с. 6. Карлин С. Основы теории случайных процессов. — М.: Мир, 1971. — 536 с. 7. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. — М.: Радио и связь, 1983. — 416 с. 8. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 1. — М.: Мир, 1964. — 498 с. 9. Титенко И.М. Один подход к оценке эффе иерархических систем. Кибернетика и системный анализ, 2000, № 4. — 70–79. 10. А.с. 1381552 (СССР). Способ считывания графической информации / М.А. Самошкин. — Опубл. в Б.И., 1988. — № 10. 11. А.с. 1501111 (СССР). Способ обработки графической информации / М.А. Самошкин. — Опубл. в Б.И., 1989. — № 30.

УДК 621.315.592:621.3.049.77.002.5