

УДК 62.506.2

*Н. И. СЕНЧЕНКО*, канд. техн. наук, *Г. В. КОСМАЧЕВСКИЙ*,  
*С. Ф. ТАНЯНСКИЙ*

**СИСТЕМА КОДИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ИГРОВЫХ СИТУАЦИЙ  
В ВОЛЕЙБОЛЕ**

Визуальная оценка значимости спортсмена как звена целесообразной системы связана со значительными трудностями даже при использовании видеозаписи, так как наблюдатель не может оперировать всеми необходимыми для такой оценки

данными. При использовании для этой цели цифровых вычислительных машин возникают значительные трудности, связанные с необходимостью цифрового кодирования игровых ситуаций при анализе кинограмм или телевизионных изображений.

В данной работе предлагается техническая реализация системы автоматического ввода, кодирования и анализа информации, считываемой с телевизионной передающей трубки.

Задача формулируется следующим образом. Пусть имеется зрительная картина  $U(x, y, t)$ , заданная большим числом точек разложения. В фиксированный момент времени  $t_i$  на экране трубки появляется телевизионное изображение  $A_i$  с числом точек 500 000. В течение времени  $\tau$  посредством электронного луча производится развертка изображения. При этом параметры изображения остаются неизменными до тех пор, пока луч вернется в исходную точку. Затем луч опять обходит весь экран сверху донизу за время  $\tau$ . Все изменения параметров изображения  $A_i$ , происшедшие в момент времени  $t_{i+1} = t_i + \tau$ , будут отличать вновь появившееся изображение  $A_{i+1}$  от  $A_i$ . Таким образом, в отдельные моменты времени на экране появляются стационарные картины, которые, накладываясь одна на другую, создают у зрителя эффект непрерывного, слитного во времени и в пространстве изображения.

Время  $\tau$ , которое луч тратит на развертку изображения, составляет 0,04 с, и цифровая ЭВМ должна запомнить 500 000 точек, характеризующих зрительную картину, что эквивалентно выполнению около  $2 \cdot 10^{11}$  операций в секунду. Если запоминать информацию о каждой точке зрительного образа, то кроме высокого быстродействия цифровая ЭВМ должна иметь и оперативную память большой емкости. Таких параметров не имеет ни одна современная ЭВМ. Следовательно, обрабатывать полностью зрительные образы не представляется возможным.

Однако при анализе игровых ситуаций в волейболе кодированию подлежит не вся информация, характеризующая зрительный образ, а данные о зоне поля игры, времени игры, количестве игроков в данной зоне поля, траектории полета мяча и т. д. Это позволяет осуществлять представление зрительной картины 10000 точек ( $100 \times 100$ ) и обрабатывать образы на гибридных вычислительных системах (ГВС) специализированного типа.

Математическая модель обработки информации, считываемой с телевизионной трубки и передаваемой в цифровую ЭВМ, аналогична модели переработки информации в зрительной системе человека [1] и представляет собой совокупность алгоритмов:

$$U_i = \int_0^{\infty} B_{\lambda} A_i(\lambda) d\lambda; \quad (1)$$

$$a_i \frac{\partial p_i}{\partial t} - b_i^2 \left( \frac{\partial^2 p_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p_i}{\partial y^2} \right) + p_i = k_i U \quad (2)$$

$$V_i = c_i \lg d_i p_i; \quad (3)$$

$$Q_i = \frac{1}{f_i} (V_i - N_i); \quad (4)$$

$$g_i \frac{\partial N_i}{\partial t} - h_i^2 \left( \frac{\partial^2 N_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_i}{\partial y^2} \right) + N_i = (1 - f_i) Q_i; \quad (5)$$

$$R_i = \frac{1}{r_i} (Q_i - T_i); \quad (6)$$

$$m_i \frac{\partial T_i}{\partial t} - n_i^2 \left( \frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial y^2} \right) + T_i = (1 - r_i) R_i; \quad (7)$$

$$W_i = R_i - R_1 \quad (8); \quad S_2 = \sqrt{W_2^2 + W_3^2}; \quad (9)$$

$$S_3 = \arctg \frac{W_2}{W_3}, \quad i = 1, 2, 3. \quad (10)$$

Основная трудность здесь — реализация уравнений (2), (5), (7). Произведем замену уравнения (2) интегральной формой [2]:

$$p_i(x, y, t) = \frac{k}{4\pi b^2} \int_0^t d\tau \iint_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{t-\tau}{a}} e^{\frac{(\xi-x)^2 + (\eta-y)^2}{4b^2 \frac{t-\tau}{a}}} U_i(\xi, \eta, \tau) d\xi d\eta. \quad (11)$$

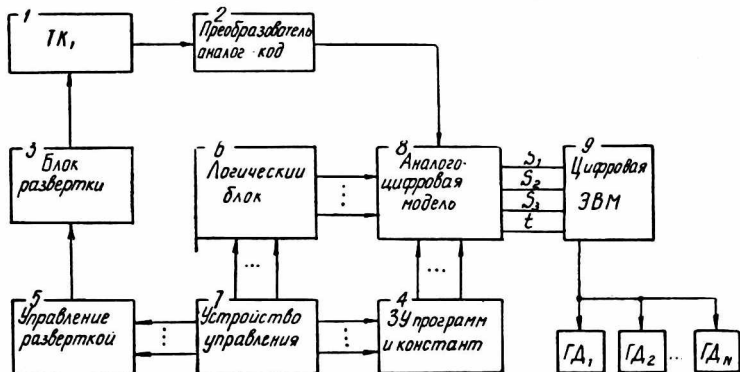
Указанное уравнение можно реализовать схемой, построенной на базе цифровых интеграторов и выполняющей последовательное интегрирование по  $\xi$ ,  $\eta$  и  $\tau$  [3].

Таким образом, имеется возможность создать техническую систему, позволяющую вводить информацию в цифровую ЭВМ с телевизионной передающей трубки. На рисунке — схема такой системы. Информация с телевизионной передающей трубки ТК<sub>1</sub> это напряжение, пропорциональное яркости зрительной картины. Это напряжение преобразуется в блоке 2 в число-импульсный код. Блоки развертки 3 и управления разверткой 5 осуществляют развертку изображения с заданной частотой. Пусковые импульсы они получают от общего управляющего устройства 7. В блоке 4 хранятся программы перестройки аналого-цифровой модели и константы, которые автоматически вводятся в соответствующие вычислительные блоки по командам от логического блока и устройства управления. Информация от блока 8 в виде чисел  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ , пропорциональных светлоте, цветовому току и насыщенности, для каждой из 10000 точек зрительной картины вводится в цифровую ЭВМ. Блок 8 содержит аналоговые элементы, элементы цифровых интегрирующих машин и согласующее устройство.

Структурную схему аналого-цифровой модели опишем с помощью контекстно-свободного плекс-языка КСП-языка [3].

Дадим определение контекстно-свободной плекс-грамматики (КСП-грамматики) и КСП-языка для аналого-цифровых структур.

КСП-грамматикой называется упорядоченная четверка  $G = \langle S, A, B, R \rangle$ , где  $S \in B$  — начальный символ;  $A$  — алфавит терминальных символов;  $B$  — алфавит вспомогательных символов, а  $R$  — множество правил вывода вида  $V_i \rightarrow \psi_r$ , где  $V_i \in B$ ;  $R \in$



$\in (A \cup B)^+$ ;  $\psi \in E_p \times E_{B_i}$ . Если  $P = \Gamma C_1 C_2 \dots C_n$ , где  $C_j \in A \cup B$ ,  $j = \overline{1, n}$ ;  $\Gamma$  — матрица конкатенации  $n \times n$ , указывающая способ соединения П-элементов, содержащий любое число контактов, тогда подстановку  $\psi$  можно записать в виде  $\psi = (\psi_{1B_i}, \psi_{2B_i}, \dots, \psi_{nB_i})$ , где  $\psi_{jB_i}$  — подстановка П-элемента  $C_j$  вместо П-элемента  $B_i$ .

Множество  $L(G)$  всех терминальных плексов, выводимых в КСП-грамматике  $G$ , называется КСП-языком.

Используя эти определения, введем понятия  $S, A, B, R$  для аналоговых, цифровых и аналого-цифровых структур.

$S_1 = \{AC\}$ , где  $AC$  — идентификатор аналоговой структурной схемы. Алфавит терминальных символов  $A_1$  определяет множество аналоговых вычислительных блоков.  $A_1 = \{I_i, ИИ_i, ИС_i, K_i, C_i, M_i, Д_i, ФП_i, ЛЭ_i, ЭС_i, БН_i, РУ_i\}$ . Здесь  $I, ИИ, ИС, K, C, M, Д, ФП, ЛЭ, ЭС, БН, РУ$  — соответственно идентификаторы интегратора, инвертора, интегро-сумматора, потенциометра, сумматора, блока перемножения, деления, функционального преобразователя, логического элемента, элемента сравнения, блока начальных условий, регистрирующего устройства;  $i$  — целочисленная переменная, определяющая адрес вычислительного блока.

Алфавит вспомогательных символов  $B$  определяет множество наименований стандартных схем,  $B_1 = \{\sin_i, \cos_i, \dots\}$ , где  $\sin, \cos$  — идентификаторы стандартных схем, воспроизводящих функции  $\sin \alpha$  и  $\cos \alpha$ , а  $i$  — определяет их адрес.

Правила вывода  $R_1$  представляют собой операции включения в плекс структурной схемы описания стандартной схемы. Они имеют вид  $R_1 = \{B_i \rightarrow \psi p\}$ , где  $B_i \in B_1$ ;  $p \in (A_1 \cup B_1)^+$ ;  $(A_1 \cup B_1)^+$  — множество всевозможных плексов над алфавитом  $A_1 \cup B_1$ ;  $\psi$  — подстановка плекса  $p$  вместо идентификатора стандартной схемы  $B_j$ .

Введем понятия  $S, A, B, R$  для цифровых интегрирующих структур, состоящих из разнотипных вычислительных блоков.

$S_2 = \{\text{ЦС}\}$ , где ЦС — идентификатор цифровой структурной схемы;  $A_2 = \{\text{ЦИ}_i, \text{ЦИН}_i, \text{ЦИС}_i, \text{ЦС}_i, \text{ЦМ}_i, \text{ЦФП}_i\}$ , где ЦИ, ЦИН, ЦИС, ЦС, ЦМ, ЦФП — соответственно идентификаторы цифровых интеграторов, инверторов, интегро-сумматоров, сумматоров, блоков перемножения, функциональных преобразователей,  $i$  — целочисленная переменная, определяющая их адрес.  $B_2 = \{\text{ЦСО}R_i, \text{ЦЕХ}P_i, \dots\}$ , где ЦСО  $R$ , ЦЕХ  $P$  — идентификаторы образования функций  $y = \sqrt{x}$ ,  $y = e^x$ .

Правила вывода  $R_2$  имеют такой же вид, как и для аналоговых структур:  $R_2 = \{B_j \rightarrow \psi p\}$ .

Аналого-цифровая структура может быть описана языком  $L_3$ , представляющим собой объединение языков описания аналоговых  $L_1$  и цифровых  $L_2$  структур.

Объединением КСП-языков  $L_1$  и  $L_2$  при условии, что  $B_1 \cap \cap B_2 \neq \emptyset$ , называется язык  $L_3$ , порождаемый грамматикой  $G_3 = \langle S_3, A_3, B_3, R_3 \rangle$ , где  $A_3 = A_1 \cup A_2$ ;  $B_3 = B_1 \cup B_2 \cup \{S_3\}$ ;  $R_3 = R_1 \cup R_2 \cup \{S_3 \rightarrow S_1, S_3 \rightarrow S_2\}$ ,  $S_3$  — начальный символ, не имеющий контактов, причем  $S_3 \notin S_1$  и  $S_3 \notin B_2$ .

Используя введенный язык, описание аналого-цифровой структуры блока  $\delta$  можно представить в виде

$$P_3 = G_3 \text{ АЦС ЦИС}_1 \text{ ЦИС}_2 \text{ ЦИС}_3 \text{ АЦП}_1 \text{ ЦАП}_1 \\ K_1 \text{ ИН}_1 \text{ ФП}_1 K_2 \text{ ИН}_2 K_3 K_4 \text{ ИН}_3 K_5 K_6 \\ \text{ИН}_4 K_7 K_8 K_9 K_{10} K_{11} \text{ ИН}_5 \text{ ИН}_6 \text{ ИН}_7 M_1 \\ M_2 D_1 \text{ ФП}_2 \text{ СО } R_1 C_1.$$

Перенумеруем П-элемент плекса  $P_3$  слева направо, а затем, воспользовавшись правилом получения Г-вектора [4], построим  $G_3$ -вектор.

$$G_3 = \{1, 0, 2, 1 | 2, 0, 3, 1 | 3, 0, 3, 2 | 3, 0, 2, 2 | 3, 0, 5, 1; \\ 4, 0, 1, 2 | 5, 0, 17, 0 | 5, 0, 18, 0 | 5, 0, 19, 0 | 17, 0, 6, 0; \\ 6, 0, 7, 1 | 7, 0, 8, 1 | 8, 0, 9, 0 | 9, 0, 10, 1 | 10, 0, 11, 0; \\ 18, 0, 12, 0 | 11, 0, 13, 1 | 13, 0, 14, 0 | 14, 0, 16, 1 | 13, 0, 20, 0; \\ 15, 0, 16, 1 | 16, 0, 21, 0 | 20, 0, 4, 1 | 21, 0, 4, 1 | 16, 0, 22, 1; \\ 22, 0, 23, 1 | 22, 0, 24, 1 | 23, 0, 22, 2 | 23, 0, 25, 1 | 24, 0, 25, 1; \\ 24, 0, 25, 2 | 24, 0, 27, 2 | 23, 0, 27, 1 | 23, 0, 26, 2 | 25, 0, 30, 1; \\ 26, 0, 30, 2 | 30, 0, 29, 1 | 27, 0, 28, 1\}.$$

В плекс  $P_3$  — элементы АЦП<sub>1</sub> и ЦАП<sub>1</sub> — идентификаторы специальных аналого-цифровых и цифроаналоговых преобра-

зователей, которыми нужно дополнить алфавит терминальных символов  $A_3$ , а  $COR_1$  — идентификатор аналоговой схемы извлечения квадратного корня, которым нужно дополнить алфавит  $A_1$ .

Рассмотренное описание аналого-цифровой структуры дает возможность достаточно просто изменять структуру блока  $\delta$ , используя правила вывода  $R_1, R_2, R_3$ .

Для анализа игровых ситуаций используется специальное программное обеспечение, в состав которого входят: входной язык; блок выделения и идентификации игровой ситуации; блок выделения объекта слежения; программы предварительной обработки данных радиотелеметрической аппаратуры; программы, обеспечивающие интерактивный режим; управляющая программа.

Для примера кратко рассмотрим применение данной системы в качестве тренажера для подготовки разыгрывающих игроков.

Передача мяча в волейболе является главным элементом, от которого зависит эффективность действий игроков нападающего плана и как следствие — результат игры. При обучении волейболист с контактным устройством на пальце руки располагается около волейбольной сетки, верхний край которой обшит мерной лентой, и выполняет передачу мяча в заданную зону. Установленная в спортивном зале телекамера передает зрительную картину  $I(x, y, t)$  в блок  $\delta$ , который осуществляет преобразование ее в числа  $S_1, S_2, S_3$  для каждой из 10 000 точек и вывод в память цифровой ЭВМ. Программное обеспечение последней позволяет выделить объект слежения, мяч и определить скорость, траекторию, путь и время полета. Импульс силы, приложенный волейболистом к мячу, фиксируется прибором. Полученная информация о качестве выполнения передачи мяча сравнивается с эталонными данными и передается на дисплей тренера. Результаты сравнения позволяют тренеру внести необходимые поправки в процесс тренировки, направить и ускорить процесс обучения игроков разыгрывающего плана.

В заключение отметим, что авторами разработано несколько алгоритмов для экспресс-анализа различных игровых ситуаций, которые позволяют в процессе игры вносить необходимые коррективы.

**Список литературы:** 1. Шабанюк-Кушнаренко Ю. П., Рвачев В. Л., Мурашко А. Г. Математичні моделі зору. — К.: Техніка, 1966. — 95 с. 2. Тихонов А. Н. Об уравнении теплопроводности для нескольких переменных. — Бюл. Моск. ун-та, 1983, 1, вып. 9, с. 45 — 64. 3. Мурашко А. Г., Сенченко Н. И., Жиров А. Г. О моделировании процессов переработки информации в зрительной системе человека. — Пробл. бионики, 1975, вып. 15, с. 51 — 57. 4. Сенченко Н. И., Терещенко А. П., Якушев Ю. Н. Применение одного класса языков для описания и преобразования структурных схем гибридных вычислительных систем. — Электрон. моделирование, 1980, № 3, с. 20 — 24.

Поступила в редколлегию 28. 10. 82.