Transaction of Azerbaijan National Academy of Sciences, Series of Physical-Technical and Mathematical Sciences: Informatics and Control Problems, Vol. XXXIV, No.6, 2014
www.icp.az/2014/6-08.pdf

УДК 519.95

Ф.Г. ФЕЙЗИЕВ, М.Р. МЕХТИЕВА, З.А. САМЕДОВА

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛЕЙ ДВОИЧНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В КЛАССЕ 3D-МОДУЛЯРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассматривается вопрос разработки алгоритма построения моделей трехпараметрических двоичных динамических систем, т.е. динамических систем над полем Галуа GF(2),в классе 3D-модулярных динамических систем.

Ключевые слова: трехпараметрические двоичные динамические системы, 3D-модулярные динамические системы, модели в классе 3D-модулярных динамических систем

1. Введение. В системах автоматизации и управления объектов в различных областях для описания их поведения часто используются дискретные методы моделирования [1]. К таким объектам относятся конечные дискретные системы. Одним из дискретных методов для моделирования полной реакции двоичных дискретных систем является метод, основанный на полиноме Жегалкина [2]. Модель двоичных дискретных систем, полученная на основе полинома Жегалкина, представляет собой двоичную нелинейную последовательностные машины или модулярную динамических систем [3-5].

Конечные модулярные динамические системы (МДС) [3,4] относятся к классу дискретных динамических систем, в которых входные, выходные последовательности и последовательности состояния принимают значения из конечного поля. МДС широко применяются в компьютерной технике, в системах диагностики, при кодировании и декодировании дискретных сообщений, в криптографии, для защиты данных и программного обеспечения ЭВМ, в управлении непрерывных объектов и других областях науки и техники [3,4].

В работе [5] для описания полной реакции двоичных трехпараметрических динамических систем используются трехпараметрические нелинейные МДС ($3D$-МДС). Это работа может стать основой построения МДС моделей рассматриваемых систем, однако формулы, полученные в ней очень громоздкие и кроме того, из-за использования сложных обозначений для векторов, множеств и т.д. полученные результаты трудно воспринимаются. Поэтому для облегчения работы необходима разработка специального алгоритма, описывающего последовательность шагов, построения моделей двоичных систем в классе $3D$-МДС.

2. Постановка задачи. Рассмотрим двоичную систему, которая характеризуется следующим функциональным соотношением:

$$y[n,c_1,c_2]=G\{u[m,c_1+p_1,c_2+p_2]\,|\,n-n_0\le m\le n,\quad p_1\in P_1, p_2\in P_2\},\ GF(2), \tag{2.1}$$

Здесь $n\in T=\{0,1,2,...\}, c_i\in\{...,-1,0,1,...\}, i=\overline{1,2}$; $y[n,c_1,c_2]\in GF(2)$ и $u[n,c_1,c_2]\in GF(2)$ суть выходная и входная последовательности системы;

$$P_i=\{p_i(1),...,p_i(r_i)\},\quad p_i(1)<...<p_i(r_i),\quad p_i(j)\in\{...,-1,0,1...\},\ j=\overline{1,r_i},\ i=\overline{1,2}$$

и, кроме того, $p_i(1)$ и $p_i(r_i)$ конечные целые числа $(i=\overline{1,2})$.

Ясно, что (2.1) можно записать в виде

$$y[n,c_1,c_2]=f(x_{0,1,1},...,x_{0,1,r_2},...,x_{0,r_1,r_2},...,x_{n_0,r_1,r_2}),$$

где $f(...)$ есть булева функция и

$$x_{ij\tau}=u[n-i,c_1+p_1(j),c_2+p_2(\tau)],\quad j=\overline{1,r_1},\quad \tau=\overline{1,r_2},\quad i=\overline{0,n_0}.$$

Пусть

$$X=\{u[n-i,c_1+p_1(j),c_2+p_2(\tau)]\,|\,i=0,...,n_0;\ \tau=1,...,r_2;\ j=1,...,r_1\},$$

$$\Phi(i)=\{\overline{m}=(m_{1,1},...,m_{1,r_2},...,m_{r_1,r_2})\big|m_{\ell,k}\in\{0,...,n_0+1\},\ \ell=\overline{1,r_1},$$
$$k=\overline{1,r_2},\quad \sum_{\alpha=1}^{r_1}\sum_{\beta=1}^{r_2}m_{\alpha,\beta}=i\},\tag{2.2}$$

$$Q(i,\overline{m})=\{(\alpha,\beta)\big|m_{\alpha,\beta}\ \textit{есть компонента}\ \overline{m}\ \textit{и}\ m_{\alpha,\beta}\neq 0,\ \ \alpha=\overline{1,r_1},\ \ \beta=\overline{1,r_2}\}.\tag{2.3}$$

$$\Gamma_1(m_{\alpha,\beta})=$$
$$=\{\overline{n}_{\alpha,\beta}=(n_1(\alpha,\beta,1),...,n_1(\alpha,\beta,m_{\alpha,\beta}))\big|0\le n_1(\alpha,\beta,1)<...<n_1(\alpha,\beta,m_{\alpha,\beta})\le n_0\}.\tag{2.4}$$

Для всех $(\alpha,\beta)\in Q(\overline{m},i)$ образуем из векторов $\overline{n}_{\alpha,\beta}$ блочный вектор n_2. Множество всех блочных векторов (наборов) $\overline{n}_2$ обозначим $\Gamma(i,\overline{m})$.

Пусть $i\in\{1,...,r_1r_2(n_0+1)\}$ и $\overline{m}\in\Phi(i)$. На основе набора $\overline{m}$ построим матрицу $A(\overline{m})=(m_{\alpha,\beta}),\ \alpha=\overline{1,r_1},\ \beta=\overline{1,r_2}$. Удаляя нулевые столбцы и строки матрицы $A(\overline{m})$, построим матрицу $B(\overline{m})$. Обозначим размерность матрицы $B(\overline{m})$ через $\ell_1(\overline{m})\times\ell_2(\overline{m})$. Ясно, что размерность матрицы $B(\overline{m})$ не превышает размерности матрицы $A(\overline{m})$, т.е. $\ell_1(\overline{m})\le r_1,\ \ell_2(\overline{m})\le r_2$. Для всех элементов множества $\Phi(i)$ таким же способом построим соответствующую матрицу $B(\overline{m})$.

Из элементов множества $\Phi(i)$ построим специальные подмножества: 1) любой элемент из множества $\Phi(i)$ входит только в одно специальное подмножество; 2) если для элементов $\overline{m}_1$ и $\overline{m}_2$ из множества $\Phi(i)$, соответствующие матрицы $B(m_1)$ и $B(m_2)$ совпадают, оба элемента входят в одно и то же специальное подмножество.

Обозначим через λ_i число специальных подмножеств множества $\Phi(i)$, а i_1-ое специальное подмножество обозначим $\Phi_1(i,i_1)$. Рассмотрим какое-либо подмножество $\Phi_1(i,i_1)$ множества $\Phi(i)$. Пусть этому подмножеству соответствует матрица B размерностью $\ell_1\times\ell_2$: $B=(m'_{\alpha,\beta}),\ \alpha=\overline{1,\ell_1},\ \beta=\overline{1,\ell_2}$. Тогда элементы множества $\Phi_1(i,i_1)$ можно представить в следующем виде:

$$m_{j_\alpha,\tau_\beta}=m'_{\alpha,\beta},\ \alpha=\overline{1,\ell_1},\ \ \beta=\overline{1,\ell_2},\qquad m_{\sigma,\gamma}=0,\ \sigma\notin\{j_1,j_2,...,j_{\ell_1}\},\ \gamma\notin\{\tau_1,\tau_2,...,\tau_{\ell_2}\}.$$

Ясно, что каждой паре $(\bar{j},\bar{\tau})$ соответствует элемент из множества $\Phi_1(i,i_1)$. Здесь $\bar{j}=(j_1,...,j_{\ell_1})$ и $\bar{\tau}=(\tau_1,...,\tau_{\ell_2})$ являются наборами соответственно в $L_1(\ell_1)$ и $L_2(\ell_2)$, где

$$L_1(\ell_1)=\{(j_1,...,j_{\ell_1})\big|1\le j_1<...<j_{\ell_1}\le r_1\},$$
$$L_1(\ell_2)=\{(\tau_1,...,\tau_{\ell_2})\big|1\le\tau_1<...<\tau_{\ell_2}\le r_2\}.\tag{2.5}$$

Введем следующие обозначения:

$$F(i)=\{(\ell_1,\ell_2,\overline{m})\big|\ \overline{m}=(m_{1,1},...,m_{1,\ell_2},...,m_{\ell_1,\ell_2}),\sum_{\alpha=1}^{\ell_1}\sum_{\beta=1}^{\ell_2}m_{\alpha,\beta}=i;\ m_{\alpha,\beta}\in\{0,...,n_0+1\},$$
$$\alpha=\overline{1,\ell_1},\ \beta=\overline{1,\ell_2};\ \ (\forall\alpha\in\{1,...,\ell_1\})\ (\exists\beta\in\{1,...,\ell_2\})\ (m_{\alpha,\beta}\neq 0)\tag{2.6}$$
$$(\forall\beta\in\{1,...,\ell_2\})\ (\exists\alpha\in\{1,...,\ell_1\})\ (m_{\alpha,\beta}\neq 0)\ ;\ \ell_i\in\{1,...,r_i\},\ i=\overline{1,2}\},$$

$$Q_0(i,\ell_1,\ell_2,\overline{m})=\{(\alpha,\beta)\big|m_{\alpha,\beta}\ -\textit{компонента}\ \overline{m}\ \textit{и}\ m_{\alpha,\beta}\neq 0,\ \ \alpha=\overline{1,\ell_1},\ \ \beta=\overline{1,\ell_2}\}.\tag{2.7}$$

Ясно, что каждому $(\ell_1,\ell_2,\overline{m})\in F(i)$ соответствует специальное подмножество множества $\Phi(i)$.

Пусть $\overline{m}=(m_{1,1},...,m_{1,\ell_2},...,m_{\ell_1,\ell_2})$, $\overline{n}_2=(\overline{n}_{1,1},...,\overline{n}_{1,\ell_2},...,\overline{n}_{\ell_1,\ell_2})$. При $\overline{n}_{\alpha,\beta}\in\Gamma_1(m_{\alpha,\beta})$, $(\alpha,\beta)\in Q_0(i,\ell_1,\ell_2,\overline{m})$, $\alpha=\overline{1,\ell_1},\ \beta=\overline{1,\ell_2}$, множество всех блочных векторов (наборов) $\overline{n}_2$ обозначим через $\Gamma(\ell_1,\ell_2,\overline{m})$, т.е.

$$\Gamma(\ell_1,\ell_2,\overline{m}) = \underset{(\alpha,\beta)\in Q_0(i,\ell_1,\ell_2,\overline{m})}{\times} \Gamma_1(m_{\alpha,\beta}) \tag{2.8}$$

Здесь знак $\times$ есть знак операции Декартового произведения множеств.

Теорема 1 [5]. Пусть имеют место соотношения (2.2)-(2.8). Тогда для общего аналитического представления соотношения (2.1) справедливо следующее:

$$\begin{aligned} y[n,c_1,c_2] = \sum_{i=0}^{(n_0+1)r_1r_2} \sum_{(\ell_1,\ell_2,\overline{m})\in F(i)} \sum_{\bar{j}\in L_1(\ell_1)} \sum_{\bar{\tau}\in L_2(\ell_2)} \sum_{\overline{n}_2\in\Gamma(\ell_1,\ell_2,\overline{m})} h_{i,\ell_1,\ell_2,\overline{m}}[\bar{j},\bar{\tau},\overline{n}_2]\times \\ \times \prod_{(\alpha,\beta)\in Q_0(i,\ell_1,\ell_2,\overline{m})} \prod_{\sigma=1}^{m_{\alpha,\beta}} u[n-n_1(\alpha,\beta,\sigma),c_1+p_1(j_\alpha),c_2+p_2(\tau_\beta)],\ GF(2). \end{aligned} \tag{2.9}$$

Здесь при $i=0$ ясно, что $F(i)=\varnothing$, поэтому $h_{0,\ell_1,\ell_2,\overline{m}}[...]$ запишется в виде h_0.

Полином (2.9) представляет собой двухзначный аналог полинома Вольтерры. Коэффициенты h_0, $h_{i,\ell_1,\ell_2,\overline{m}}[\bar{j},\bar{\tau},\overline{n}_2]$, $\overline{n}_2\in\Gamma(\ell_1,\ell_2,\overline{m})$, $(\bar{j},\bar{\tau})\in L_1(\ell_1)\times L_2(\ell_2)$, $(\ell_1,\ell_2,\overline{m})\in F(i)$, $i\in\{1,...,(n_0+1)r_1r_2\}$, полинома (2.7) есть неизвестные коэффициенты и при заданных входно-выходных значениях последовательностей системы (2.1) они определяются однозначно. Задача разработки алгоритма построения трехпараметрических двоичных систем, которая характеризуется функциональным соотношением (2.1), заключается в изложении последовательности вычислений, приводящих к определению неизвестных коэффициентов в (2.9)

3. Рекуррентные формулы для нахождения неизвестных коэффициентов полиномиальных представлений (2.9) для системы (2.1). Пусть при заданных значениях входной последовательности $u[\gamma,c_1+p_1,c_2+p_2]$, $n-n_0\le\gamma\le n$, $p_1\in P_1$, $p_2\in P_2$ известны значения выходной последовательности. В работе [5] предложены рекуррентные формулы для нахождения коэффициентов h_0, $h_{i,\ell_1,\ell_2,\overline{m}}[\bar{j},\bar{\tau},\overline{n}_2]$ для всех $\overline{n}_2\in\Gamma(\ell_1,\ell_2,\overline{m})$, $(\bar{j},\bar{\tau})\in L_1(\ell_1)\times L_2(\ell_2)$, $(\ell_1,\ell_2,\overline{m})\in F(i)$, $i\in\{1,...,(n_0+1)r_1r_2\}$ в полиноме (2.9) соответствующие известным входной и выходной последовательностям. Эти рекуррентные формулы делятся на две группе. В первой группе относятся следующие формулы, которые можно называть начальными:

$$h_0 = f(0,...,0,...,0,...,0), \tag{3.1}$$

$$h_{1,1,1,(1)}[(j_1),(\tau_1),(i_1)] = h_0 + f(u[n-i_1,c_1+p_1(j_1),c_2+p_2(\tau_1)]=1),\ GF(2). \tag{3.2}$$

$$\begin{aligned} h_{i,1,1,(i)}[(j_1),(\tau_1),(\beta_1,...,\beta_i)] = f(u[n-\beta_\gamma,c_1+p_1(j_1),c_2+p_2(\tau_1)]=1 \big| \gamma=\overline{1,i}) + \\ + \sum_{k=0}^{i-1} \sum_{(\sigma_1,...,\sigma_k)\in\Omega_k(i)} h_{k,1,1,(k)}[(j_1),(\tau_1),(\beta_{\sigma_1},...,\beta_{\sigma_k})], GF(2). \end{aligned} \tag{3.3}$$

$$\begin{aligned} h_{i,i,1,\underbrace{(1,...,1)}_{i}}[(j_1,...,j_i),(\tau_1),((\beta_1),...,(\beta_i))] = f(u[n-\beta_t,c_1+p_1(j_t),c_2+p_2(\tau_1)]=1 \big| t=\overline{1,i}) + \\ + \sum_{k=0}^{i-1} \sum_{(s_1,...,s_k)\in Q_k(i)} h_{k,k,1,\underbrace{(1,...,1)}_{k}}[(j_{s_1},...,j_{s_k}),(\tau_1),((\beta_{s_1}),...,(\beta_{s_k}))], GF(2), \end{aligned} \tag{3.4}$$

$$\begin{aligned} h_{i,1,i,\underbrace{(1,...,1)}_{i}}[(j_1),(\tau_1,...,\tau_i),((\beta_1),...,(\beta_i))] = f(u[n-\beta_t,c_1+p_1(j_1),c_2+p_2(\tau_t)]=1 \big| t=\overline{1,i}) + \\ + \sum_{k=0}^{i-1} \sum_{(\xi_1,...,\xi_k)\in N_i(k)} h_{k,1,k,\underbrace{(1,...,1)}_{k}}[(j_1),(\tau_{\xi_1},...,\tau_{\xi_k}),((\beta_{\xi_1}),...,(\beta_{s_k}))], GF(2). \end{aligned} \tag{3.5}$$

Здесь через $f(u[n-i_1,c_1+p_1(j_1),c_2+p_2(\tau_1)]=1)$ обозначены значения функции $f(...)$, в случае, где из X только $u[n-i_1,c_1+p_1(j_1),c_2+p_2(\tau_1)]$ имеет значение 1. Через $f(u[n-\beta_\gamma,c_1+p_1(j_1),c_2+p_2(\tau_1)]=1 \big| \gamma=\overline{1,i})$, $f(u[n-\beta_t,c_1+p_1(j_t),c_2+p_2(\tau_1)]=1 \big| t=\overline{1,i})$ и

$f(u[n-\beta_t, c_1 + p_1(j_1), c_2 + p_2(\tau_t)] = 1 \big| t = \overline{1,i})$ обозначены значения функции $f(...)$, в случаях, где из множества X соответственно

$$u[n-\beta_\gamma, c_1 + p_1(j_1), c_2 + p_2(\tau_1)] \, (\gamma = \overline{1,i}), \;\; u[n-\beta_t, c_1 + p_1(j_t), c_2 + p_2(\tau_1)] \;\; (t = \overline{1,i})$$

и $u[n-\beta_t, c_1 + p_1(j_1), c_2 + p_2(\tau_t)]$ $(t = \overline{1,i})$ имеют значения 1, а остальные переменные имеют значения 0. Множества $\Omega_t(m)$, $Q_\eta(\ell)$ и $N_\gamma(\ell)$ есть следующие множества

$$\Omega_t(m) = \{(\sigma_1,...,\sigma_t) \big| 1 \le \sigma_1 < ... < \sigma_t \le m\}, \tag{3.6}$$

$$Q_\eta(\ell) = \{(s_1,...,s_\eta) \big| 1 \le s_1 < ... < s_\eta \le \ell\}, \tag{3.7}$$

$$N_\gamma(\ell) = \{(\xi_1,...,\xi_\gamma) \big| 1 \le \xi_1 < ... < \xi_\gamma \le \ell\}. \tag{3.8}$$

Ко второй группе относятся формулы, которые излагаются следующей теоремой:

Теорема 2 [5]. Пусть $\bar{n}_2 \in \Gamma(\ell_1, \ell_2, \bar{m})$, $\bar{j} \in L_1(\ell_1)$, $\bar{\tau} \in L_2(\ell_2)$, $(\ell_1, \ell_2, \bar{m}) \in F(i)$, $i \in \{1,...,(n_0+1)r_1 r_2\}$ и они произвольные. Пусть через

$$f(u[n - n_1(\alpha,\beta,\sigma_{\alpha,\beta}), c_1 + p_1(j_\alpha), c_2 + p_2(\tau_\beta)] = 1 \big| \sigma_{\alpha,\beta} = \overline{1, m_{\alpha,\beta}}, \; \beta = \overline{1,\ell_2}, \; \alpha = \overline{1,\ell_1})$$

обозначены значения функции $f(...)$, в случае, где из множества X элементы $u[n - n_1(\alpha,\beta,\sigma_{\alpha,\beta}), c_1 + p_1(j_\alpha), c_2 + p_2(\tau_\beta)]$, $\sigma_{\alpha,\beta} = \overline{1, m_{\alpha,\beta}}$, $\beta = \overline{1,\ell_2}$, $\alpha = \overline{1,\ell_1}$, имеют значения 1, а остальные элементы имеют значения 0. Тогда, для $h_{i,\ell_1,\ell_2,\bar{m}}[\bar{j}, \bar{\tau}, \bar{n}_2]$ в (1.9) справедливо следующее соотношение:

$$h_{i,\ell_1,\ell_2,\bar{m}}[\bar{j}, \bar{\tau}, \bar{n}_2] =$$

$$= f(u[n - n_1(\alpha,\beta,\sigma_{\alpha,\beta}), c_1 + p_1(j_\alpha), c_2 + p_2(\tau_\beta)] = 1 \big| \sigma_{\alpha,\beta} = \overline{1, m_{\alpha,\beta}}, \; \beta = \overline{1,\ell_2}, \; \alpha = \overline{1,\ell_1}) +$$

$$+ \sum_{k=0}^{i-1} \; \sum_{(\eta,\gamma,\bar{\nu}) \in F_1(\ell_1,\ell_2,\bar{m},k)} \; \sum_{\bar{s} \in Q_\eta(\ell_1)} \; \sum_{\bar{\xi} \in N_\gamma(\ell_2)} \; \sum_{\bar{\sigma}' \in \Omega(\bar{\nu},\bar{m},\eta,\gamma)} h_{k,\eta,\gamma,\bar{\nu}}[\bar{j}(\bar{s}), \bar{\tau}(\bar{\xi}), \bar{n}_3(\bar{\sigma}')], \; GF(2). \tag{3.9}$$

Здесь

$$F_1(\ell_1, \ell_2, \bar{m}, k) = \{(\eta,\gamma,\bar{\nu}) \big| \eta \in \{1,...,\ell_1\}, \gamma \in \{1,...,\ell_2\},$$

$$\bar{\nu} = (\nu_{1,1},...,\nu_{1,\gamma},...,\nu_{\eta,\gamma}), \;\; \sum_{\alpha=1}^{\eta} \sum_{\beta=1}^{\gamma} \nu_{\alpha,\beta} = k, \tag{3.10}$$

$$\nu_{\alpha,\beta} \in \{0,...,m_{s_\alpha,\xi_\beta}\}, \; \alpha = \overline{1,\eta}, \; \beta = \overline{1,\gamma}, \;\; (\alpha,\beta) \in Q_0(i, \ell_1, \ell_2, \bar{m})\},$$

$$Q_\eta(\ell_1) = \{(s_1,...,s_\eta) \big| 1 \le s_1 < ... < s_\eta \le \ell_1\}, \quad N_\gamma(\ell_2) = \{(\xi_1,...,\xi_\gamma) \big| 1 \le \xi_1 < ... < \xi_\gamma \le \ell_2\}, \tag{3.11}$$

$$\bar{j}(\bar{s}) = (j_{s_1}, j_{s_2}, ..., j_{s_\eta}), \quad \bar{\tau}(\bar{\xi}) = (\tau_{\xi_1}, \tau_{\xi_2}, ..., \tau_{\xi_\gamma}), \tag{3.12}$$

$$\Omega(\bar{\nu}, \bar{m}, \eta, \gamma) = \mathop{X}_{\alpha=1}^{\eta} \mathop{X}_{\beta=1}^{\gamma} \Omega'_{\nu_{\alpha,\beta}}(m_{s_\alpha,\xi_\beta}), \tag{3.13}$$

$$\Omega'_{\nu_{\alpha,\beta}}(m_{s_\alpha,\xi_\beta}) = \{\bar{\sigma}_{\alpha,\beta} = (\sigma_{\alpha,\beta,1},...,\sigma_{\alpha,\beta,\nu_{\alpha,\beta}}) \big| 1 \le \sigma_{\alpha,\beta,1} < ... < \sigma_{\alpha,\beta,\nu_{\alpha,\beta}} \le m_{s_\alpha,\xi_\beta}\}, \tag{3.14}$$

$$\bar{i}_1(\bar{\sigma}_{\alpha,\beta}) = (i_{\alpha,\beta,\sigma_{\alpha,\beta,1}},...,i_{\alpha,\beta,\sigma_{\alpha,\beta,\nu_{\alpha,\beta}}}), \quad \bar{i}'_1(\bar{\sigma}') = (\bar{i}_1(\bar{\sigma}_{1,1}),...,\bar{i}_1(\bar{\sigma}_{1,\gamma}),...,\bar{i}_1(\bar{\sigma}_{\eta,\gamma})) \tag{3.15}$$

$$\Delta(\eta,\gamma,\bar{\nu}) = \{(\alpha,\beta) \big| \nu_{\alpha,\beta} \text{ есть компонента } \bar{\nu} \text{ и } \nu_{\alpha,\beta} \ne 0, \; \alpha = \overline{1,\eta}, \beta = \overline{1,\gamma}\}. \tag{3.16}$$

$$\bar{n}_3(\bar{\sigma}') = (\bar{n}_2(\bar{\sigma}_{1,1}),...,\bar{n}_2(\bar{\sigma}_{1,\gamma}),...,(\bar{n}_2(\bar{\sigma}_{\eta,1}),...,\bar{n}_2(\bar{\sigma}_{\eta,\gamma}))), \tag{3.17}$$

$$\bar{n}_2(\bar{\sigma}_{\alpha,\beta}) = (n_1(\alpha,\beta,\sigma_{\alpha,\beta,1}),...,n_1(\alpha,\beta,\sigma_{\alpha,\beta,\nu_{\alpha,\beta}})).$$

4. Алгоритм построения моделей двоичных динамических систем в классе $3D$ ***- МДС.*** При заданных входно-выходных значениях последовательностей системы (2.1) последовательность вычислений, приводящих к определению неизвестных коэффициентов h_0, $h_{i,\ell_1,\ell_2,\overline{m}}[\bar{j},\bar{\tau},\bar{n}_2]$ для всех $\bar{n}_2 \in \Gamma(\ell_1,\ell_2,\overline{m})$, $(\bar{j},\bar{\tau}) \in L_1(\ell_1) \times L_2(\ell_2)$, $(\ell_1,\ell_2,\overline{m}) \in F(i)$, $i \in \{1,...,(n_0+1)r_1r_2\}$ в (2.9) можно осуществлять по следующему алгоритму:

Шаг 0. Для каждого $m \in \{1,...,n_0+1\}$ построить элементов множества

$$\Gamma_1(\omega) = \{\bar{n} = (n_1(\omega),...,n_1(\omega)) \big| 0 \le n_1(1) < ... < n_1(\omega) \le n_0\}.$$

Шаг 1. Для каждых $\ell_1 \in \{1,...,n_0+1\}$ и $\ell_2 \in \{1,...,n_0+1\}$ на основе формулы (2.5) построить элементов множества соответственно $L_1(\ell_1)$ и $L_1(\ell_2)$.

Шаг 2. Для каждых $t = 1,...,m$; $m = 1,...,n_0+1$ на основе формулы (3.6) построить элементы множеств $\Omega_t(m)$. Для каждых $\eta = 1,...,\ell$; $\ell = 1,...,\ell_1$ на основе формулы (3.7) построить элементы множеств $Q_\eta(\ell)$. Для каждых $\gamma = 1,...,\ell$; $\ell = 1,...,\ell_2$ на основе формулы (3.8) построить элементы множеств $N_\gamma(\ell)$

Шаг 3. $i = 1$.

Шаг 4. Построить элементы множеств $\Phi(i)$. $i_1 = 0$.

Шаг 5. $k = 1$.

Шаг 6. Выбрать k-й элемент $\overline{m}$ из множеств $\Phi(i)$. Построить матрицу $A(\overline{m}) = (m_{\alpha,\beta})$, $\alpha = \overline{1,r_1}$, $\beta = \overline{1,r_2}$. Удаляя нулевых строк и столбца матрицы $A(\overline{m})$ построить от нее матрицы $B(\overline{m})$. Если $i_1 = 0$, то принять $i_1 = 1$ и перейти к шагу 7, иначе перейти к шагу 8.

Шаг 7. $K\Phi 1(i,i_1) = 1$. Запись матрицы $B(\overline{m})$ в массив $M\Phi(i,i_1)$. Запись количества строк и столбцов матрицы $B(\overline{m})$ в массив соответственно $ML(i,i_1)$ и $MS(i,i_1)$. Запись матрицы $A(\overline{m})$ в позиции массива $M\Phi 1(i,i_1)$, соответствующие значением $K\Phi 1(i,i_1)$. Перейти к шагу 12.

Шаг 8. $\ell = 1$

Шаг 9. Если $B(\overline{m})$ совпадает с матрицами, находящимися в массиве $M\Phi(i,\ell)$, тогда принимать $K\Phi 1(i,\ell) := K\Phi 1(i,\ell) + 1$ и запись матрицы $A(\overline{m})$ в позиции массива $M\Phi 1(i,\ell)$, соответствующее значениям $K\Phi 1(i,\ell)$ и перейти к шагу 12. В противном случае перейти к шагу 10.

Шаг 10. $\ell := \ell + 1$. Если $\ell \le i_1$, то перейти к шагу 9, иначе – к шагу 11.

Шаг 11. $i_1 := i_1 + 1$. Перейти к шагу 7.

Шаг 12. $k := k + 1$. Если $k \le |\Phi(i)|$, то перейти к шагу 7. иначе перейти к шагу 13.

Шаг 13. Построить элементы множества $F(i)$. Для каждой $(\ell_1,\ell_2,\overline{m}) \in F(i)$ построить элементы множества $Q_0(i,\ell_1,\ell_2,\overline{m})$ и $\Gamma(\ell_1,\ell_2,\overline{m})$ соответственно по формуле (2.7) и (2.8) (при построении элементов множеств $\Gamma(\ell_1,\ell_2,\overline{m})$ для каждой $(\alpha,\beta) \in Q_0(i,\ell_1,\ell_2,\overline{m})$ в качестве множеств $\Gamma_1(m_{\alpha,\beta})$ выбирается множество $\Gamma_1(\omega)$, которое построено в шаге 0 при $\omega = m_{\alpha,\beta}$). $i := i + 1$. Если $i \le (n_0+1)r_1r_2$, то перейти к шагу 4, иначе – к шагу 14.

Шаг 14. $h_0 = f(0,...,0,...,0,...,0)$.

Шаг 15. Для каждых $j_1 \in \{1,...r_1\}$, $\tau_1 \in \{1,...r_2\}$ и $i_1 \in \{0,...,n_0+1\}$ вычислить $h_{1,1,1,(1)}[(j_1),(\tau_1),(i_1)]$ по формуле (2.9).

Шаг 16. Для каждых $j_1 \in \{1,...r_1\}$, $\tau_1 \in \{1,...r_2\}$ и $(\beta_1,...,\beta_i)$ (где $0 \le \beta_1 < ... < \beta_i \le n_0+1$) вычислить $h_{i,1,1,(i)}[(j_1),(\tau_1),(\beta_1,...,\beta_i)]$ по рекуррентной формул (3.1)-(3.3).

Шаг 17. Для каждых $(j_1,..., j_i)$ (где $1 \le j_1 < ... < j_i \le r_1$), $\tau_1 \in \{1,...r_2\}$ и $\beta_\gamma \in \{0,..., n_0 + 1\}$, $\gamma = \overline{1,i}$ вычислить $h_{i,i,1,\underbrace{(1,...,1)}_{i}}[(j_1,..., j_i),(\tau_1),((\beta_1),...,(\beta_i))]$ по формуле (3.1),(3.2),(3.4).

Шаг 18. Для каждых $j_1 \in \{1,...r_1\}$, $(\tau_1,...,\tau_i)$ (где $1 \le \tau_1 < ... < \tau_i \le r_2$), и $\beta_\gamma \in \{0,..., n_0 + 1\}$, $\gamma = \overline{1,i}$ вычислить $h_{i,1,i,\underbrace{(1,...,1)}_{i}}[(j_1),(\tau_1,...,\tau_i),((\beta_1),...,(\beta_i))]$ по формуле (3.1),(3.2),(3.5).

Шаг 19. $i = 1$.

Шаг 20. Выбрать первый $(\ell_1, \ell_2, \overline{m})$ из $F(i)$.

Шаг 21. Выбрать первый $(\bar{j}, \bar{\tau})$ из $L_1(\ell_1) \times L_2(\ell_2)$.

Шаг 22. Выбрать первый $\bar{n}_2$ из $\Gamma(\ell_1, \ell_2, \overline{m})$.

Шаг 23. $k = 0$.

Шаг 24. Принимать:

$$h_{i,\ell_1,\ell_2,\overline{m}}[\bar{j}, \bar{\tau}, \bar{n}_2] =$$

$$= f(u[n - n_1(\alpha,\beta,\sigma_{\alpha,\beta}), c_1 + p_1(j_\alpha), c_2 + p_2(\tau_\beta)] = 1 \Big| \sigma_{\alpha,\beta} = \overline{1, m_{\alpha,\beta}},\ \beta = \overline{1,\ell_2},\ \alpha = \overline{1,\ell_1}), \quad GF(2).$$

Шаг 25. Формировать элементы множеств $F_1(\ell_1, \ell_2, \overline{m}, k)$ по формуле (3.10). Для каждых $(\alpha,\beta) \in \{1,...,\eta\} \times \{1,...,\gamma\}$ на основе формулы (3.14) формировать элементы множеств $\Omega'_{\nu_{\alpha,\beta}}(m_{s_\alpha,\xi_\beta})$. Формировать элементы множеств $\Omega(\bar{\nu}, \overline{m}, \eta, \gamma)$ на основе формулы (3.13). Формировать элементы множеств $\Delta(\eta, \gamma, \bar{\nu})$ по формуле (3.16). Формировать векторы $\bar{i}'_1(\bar{\sigma}')$ и $\bar{n}_3(\bar{\sigma}')$ на основе формуле соответственно (3.15) и (3.17).

Шаг 26. Используя рекуррентных формул (3.1)-(3.5) вычислить:

$$S = \sum_{(\eta,\gamma,\bar{\nu}) \in F_1(\ell_1,\ell_2,\overline{m},k)} \ \sum_{\bar{s} \in Q_\eta(\ell_1)} \ \sum_{\bar{\xi} \in N_\gamma(\ell_2)} \ \sum_{\bar{\sigma}' \in \Omega(\bar{\nu},\overline{m},\eta,\gamma)} h_{k,\eta,\gamma,\bar{\nu}}[\bar{j}(\bar{s}), \bar{\tau}(\bar{\xi}), \bar{n}_3(\bar{\sigma}')], \ GF(2).$$

Вычислить:

$$h_{i,\ell_1,\ell_2,\overline{m}}[\bar{j}, \bar{\tau}, \bar{n}_2] = h_{i,\ell_1,\ell_2,\overline{m}}[\bar{j}, \bar{\tau}, \bar{n}_2] + S.$$

Шаг 27. $k := k + 1$. Если $k \le i - 1$, то перейти к шагу 25, иначе – к шагу 28.

Шаг 28. Если все элементы множества $\Gamma(\ell_1, \ell_2, \overline{m})$ выбраны, то перейти к шагу 29, иначе выбрать следующий элемент $\bar{n}_2$ из $\Gamma(\ell_1, \ell_2, \overline{m})$ и перейти к шагу 23.

Шаг 29. Если все элементы множества $L_1(\ell_1) \times L_2(\ell_2)$ выбраны, то перейти к шагу 30, иначе выбрать следующий элемент $(\bar{j}, \bar{\tau})$ из $L_1(\ell_1) \times L_2(\ell_2)$ и перейти к шагу 22.

Шаг 30. Если все элементы множества $F(i)$ выбраны, то перейти к шагу 31, иначе выбрать следующий элемент $(\ell_1, \ell_2, \overline{m})$ из $F(i)$ и перейти к шагу 21.

Шаг 31. $i := i + 1$. Если $i \le (n_0 + 1) r_1 r_2$, то перейти к шагу 20, иначе – к шагу 32.

Шаг 32. Стоп.

5. Вывод. Изложен алгоритм построения моделей трехпараметрических двоичных динамических систем, т.е. динамических систем над полем Галуа GF(2), в классе $3D$- модулярных динамических систем. Это алгоритм может быть реализован на алгоритмических языках Pascal, Delphi и т.д.

Литература

1. Блюмин С.Л., Корнеев А.М. Дискретное моделирование систем автоматизации и управления: монография. Липецкий эколого-гуманитарный институт. Липецк: ЛЭГИ, 2005. 124 с.
2. Яблонский С.В. Введение в дискретную математику. М.: Высшая школа, 2010, 384 с.
3. Фараджев Р.Г. Линейные последовательностные машины. М.: Сов.радио, 1975, 248 с.

4. Фейзиев Ф.Г., Фараджева М.Р. Модулярные последовательностные машины: Основные результаты по теории и приложению. Баку: Изд-во Элм, 2006, 234 с.
5. Ф.Г. Фейзиев, З.А. Самедова. Полиномиальное соотношение для представления полной реакции 3D-нелинейных модулярных динамических систем// г. Киев, Электронное моделирование. 2011, Т.33, №2, С. 33-50.

UOT 519.95

F.G. Feyziyev, M.R. Mehdiyeva, Z.A. Səmədova

İkilik dinamik sistemlərin 3D-modulyar dinamik sistemlər sinfində modellərinin qurulması alqoritmi

Üçparametrik ikilik dinamik sistemlərin, yəni GF(2) meydanı üzərində dinamik sistemlərin, 3D-modulyar dinamik sistemlər sinfində modellərinin qurulması alqoritminin işlənməsi məsələsinə baxılır.

Açar sözlər: üçparametrik ikilik dinamik sistemlər, 3D-modulyar dinamik sistemlər, 3D-modulyar dinamik sistemlər sinfində modellər

F.G. Feyziyev, M.R. Mehdiyeva, Z.A. Samedova

The algorithm for construction of models of dynamic binary systems in class 3D modular dynamic systems

The problem of developing an algorithm for constructing models of three dimensional binary dynamic systems, i.e. dynamical systems over Galois fields GF(2), in the class of 3D modular dynamic systems is considered.

Keywords: three dimensional binary dynamic systems, 3D modular dynamic system, model in class of 3D non-linear modular dynamical system

Сумгаитский Государственный Университет
Бакинский Государственный Университет
Азербайджанский Университет Языков

Представлено 31.10.14