

трения прокладок между пьезокерамикой и демпфирующими массами и основанием.

### Список литературы

1. Джагутов, Р. Г. Пьезоэлектронные устройства вычислительной техники, система контроля и управления : справочник / Р. Г. Джагутов, А. А. Ерофеев. – СПб. : Политехника, 1994. – 608 с.

2. Лойцянский, Л. Г. Курс теоретической механики / Л. Г. Лойцянский, А. И. Лурье. – Т. 2. – М. : ГИТТЛ, 1955. – 595 с.

3. Афанасьева, Н. Ю. Теория автоматического управления. Непрерывные и импульсные системы, статистическая динамика линейных систем : учеб. пособие. – Ч. 1 / Н. Ю. Афанасьева, В. А. Афанасьев, В. С. Казаков. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2007. – 387 с.

V. A. Afanasyev, Postgraduate, Izhevsk State Technical University

### Amortization Acoustic Sensor in the Test's Systems for Determination Ballistic Parameters

*In article is described design of the acoustic sensor of the pressure of the sound wave, having lowered sensitivity to moving the basis.*

**Key words:** the acoustic sensor, amortization of the moving the basis.

УДК 519.6

Д. А. Петросов, Белгородский государственный технологический университет им. Шухова

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОНФИГУРАЦИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ ТРИГГЕРОВ

*Рассматривается проблема формирования конфигурации вычислительной системы с требуемым поведением. Предлагается математическая модель формирования на основе генетического алгоритма. Вычислительная система формируется из триггеров, моделируемых сетями Петри.*

**Ключевые слова:** генетические алгоритмы, сети Петри, триггеры.

**П**остановка проблемы. Формирование конфигурации системы с требуемым поведением из заданных компонентов является проблемой оптимизации, успешное решение которой зависит в основном от опыта и интуиции эксперта в той или иной проблемной области [1, 2]. Формальное решение таких комбинаторных задач в настоящее время основано на математических моделях, использующих генетические алгоритмы [3].

Рассматриваемая проблема актуальна и для формирования конфигурации вычислительных систем [4–6]. При этом решается задача оптимизации производительности, надежности и стоимости, но не рассматривается соответствие полученной конфигурации заданному поведению, которое может моделироваться сетями Петри [7].

Таким образом, актуальной является задача построения математической модели формирования конфигурации вычислительной техники с заданным поведением на основе генетических алгоритмов. Компонентами, из которых формируется конфигурация, являются триггеры. Для достижения этой цели необходимо построить математические модели:

- триггеров на основе сетей Петри;
- конфигурации на основе сетей Петри;
- формирования конфигурации на основе генетических алгоритмов.

**Модели триггеров на основе сетей Петри.** Модель RS-триггера в состоянии «1» имеет вид  $PN = \{P, T, I, O, M\}$ . Множество позиций  $P = \{S, R, Q_1, Q_0\}$ , где позиция  $S$  (set) используется для приема сигнала установки RS-триггера в состояние «1»;  $R$  (reset) – для приема сигнала установки RS-триггера в состояние «0»;  $Q_1$  – для хранения состояния «1»;  $Q_0$  – для хранения состояния «0». Множество переходов  $T = \{t_{11}, t_{01}, t_{10}, t_{00}\}$ , где переход  $t_{ij}$  моделирует процесс перехода RS-триггера из состояния «i» в состояние «j» ( $i, j = 0, 1$ ). Входная функция  $I$  определяет множество входных позиций переходов:  $I(t_{11}) = \{S, Q_1\}$ ,  $I(t_{01}) = \{S, Q_0\}$ ,  $I(t_{10}) = \{R, Q_1\}$ ,  $I(t_{00}) = \{R, Q_0\}$ . Выходная функция  $O$  определяет множество выходных позиций переходов:  $O(t_{11}) = \{Q_1\}$ ,  $O(t_{01}) = \{Q_1\}$ ,  $O(t_{10}) = \{Q_0\}$ ,  $O(t_{00}) = \{Q_0\}$ . Вектор маркировки  $M = (0, 0, 1, 0)$ . Граф сети  $PN$  показан на рис. 1.

Аналогично можно описать модель D-триггера, граф которой для состояния «1» показан на рис. 2. Позиция  $C$  используется для приема сигнала переключения триггера в состояние «1» при наличии метки в позиции  $D$ , и «0» – при ее отсутствии. Переход  $t$  используется для удаления метки из позиции  $D$  при отсутствии метки в позиции  $C$ , из которой к нему направлена ингибиторная дуга.

Граф модели T-триггера в состоянии «1» показан на рис. 3. Позиция  $C$  используется для приема сигнала

ла переключения триггера в противоположное состояние при наличии метки в позиции  $T$ .

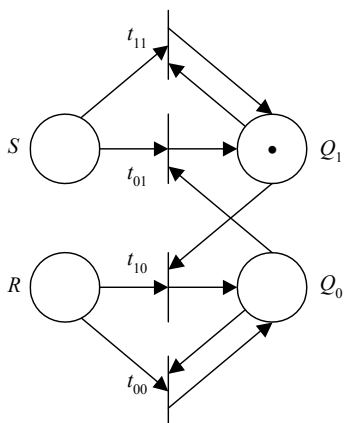


Рис. 1. RS-триггер

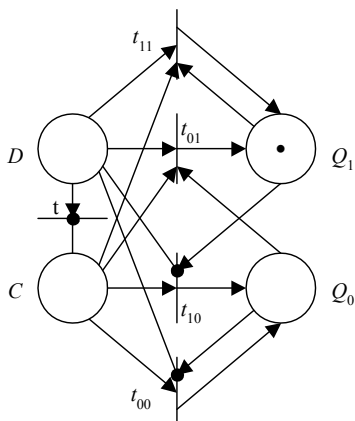


Рис. 2. D-триггер

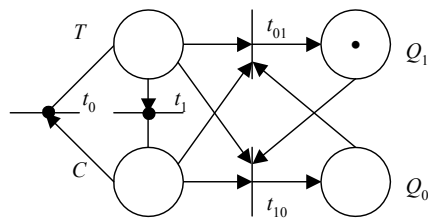


Рис. 3. T-триггер

Множество  $P^{\text{in}} = \{p_{2m}^{\text{in}}\}$  входных позиций используется для приема данных, загружаемых множеством  $T^{\text{in}} = \{t_m^{\text{in}}\}$  входных переходов конфигурации  $S$  ( $m = 1, \dots, 2M$ ) по правилу  $\text{In}(t_m^{\text{in}}) = p_{2m}^{\text{in}}$ .

Слой  $S_n = \{S_{mn}\}$  содержит  $M$  подсистем  $S_{mn}$ , каждая из которых имеет по две входные позиции  $p_{2m-1,n}^{\text{in}}$  и  $p_{2m,n}^{\text{in}}$ , и по две выходные позиции  $p_{2m-1,n}^{\text{out}}$  и  $p_{2m,n}^{\text{out}}$  ( $n = 1, \dots, N$ ). Каждая подсистема  $S_{mn}$  может моделироваться любым из трех рассмотренных выше триггеров.

Входы слоя  $S_1$  связаны с множеством  $P^{\text{in}}$  по правилу  $\text{Out}(t_m^{\text{in}}) = p_{m,1}^{\text{in}}$ .

Выходы слоя  $S_n$  связаны с входами следующего слоя  $S_{n+1}$  с помощью множества  $T_n = \{t_{m,n}\}$  по правилам:  $\text{In}(t_{m,n}) = p_{m,n}^{\text{out}}$ ,  $\text{Out}(t_{m,n}) = \{p_{F_n(m),n+1}^{\text{out}}, p_{m,n}^{\text{out}}\}$ , где  $F_n$  – некоторая подстановка  $2M$ -й степени.

Выходные данные конфигурации  $S$  загружаются множеством  $T^{\text{out}} = \{t_m^{\text{out}}\}$  во множество  $P^{\text{out}} = \{p_{2m}^{\text{out}}\}$  выходных позиций по правилам  $\text{In}(t_m^{\text{out}}) = p_{m,N}^{\text{out}}$ ,  $\text{Out}(t_m^{\text{out}}) = \{p_{m,N}^{\text{out}}, p_{m,N}^{\text{out}}\}$ .

Модель конфигурации с «квадратной» структурой  $2 \times 2$  и тождественной подстановкой  $F_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 3 & 4 \end{pmatrix}$  показана на рис. 5 ( $\text{Out}(t_{i,1}) = \{p_{E(i),2}^{\text{in}}, p_{i,2}^{\text{in}}\}$ ).

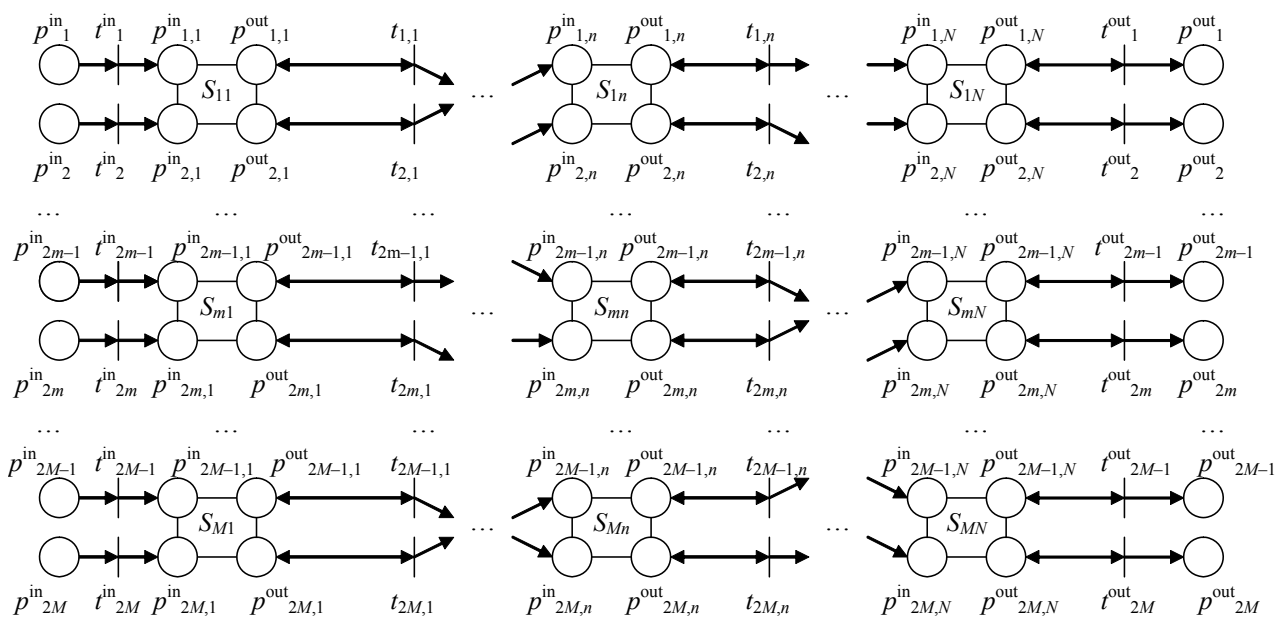


Рис. 4. Модель конфигурации  $M \times N$

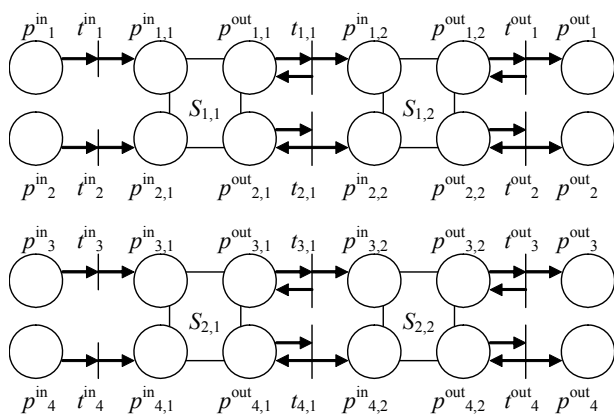


Рис. 5. Модель конфигурации 2×2

Если подсистема  $S_{1,1}$  моделируется  $RS$ -триггером, подсистема  $S_{1,2}$  –  $T$ -триггером,  $S_{2,1}$  –  $D$ -триггером, а подсистема  $S_{2,2}$  –  $T$ -триггером, и все триггеры находятся в единичном состоянии, то конфигурация  $S = (RS, T, D, T)$  будет иметь такой вид, как показано на рис. 6.

Конфигурация  $S = (RS, T, D, T)$  работает по следующему алгоритму:

- на вход подаются данные, моделируемые метками;
- запускаются «входные» переходы  $t^{\text{in}}_1 - t^{\text{in}}_4$ ;
- запускаются триггеры «первой очереди»  $RS_{1,1}$  и  $D_{2,1}$ ;
- запускаются переходы «первой очереди»  $t_{1,1} - t_{4,1}$ ;
- запускаются триггеры «второй очереди»  $T_{1,2}$  и  $T_{2,2}$ ;
- запускаются «выходные» переходы  $t^{\text{out}}_1 - t^{\text{out}}_4$ ;
- в результате получается выходной вектор.

Например, если на вход конфигурации подать вектор  $(0, 1, 0, 1)$ , то на выходе получится вектор  $(1, 0, 1, 0)$ .

**Пример работы генетического алгоритма.** Да-на матрица триггеров 2×2. Требуется найти конфигурацию триггеров, преобразующую входной вектор  $(0, 1, 1, 0)$  в выходной вектор  $(1, 0, 1, 0)$ . Рассмотрим процесс решения.

Шаг 1. Случайным образом формируется популяция из четырех особей-конфигураций (табл. 1).

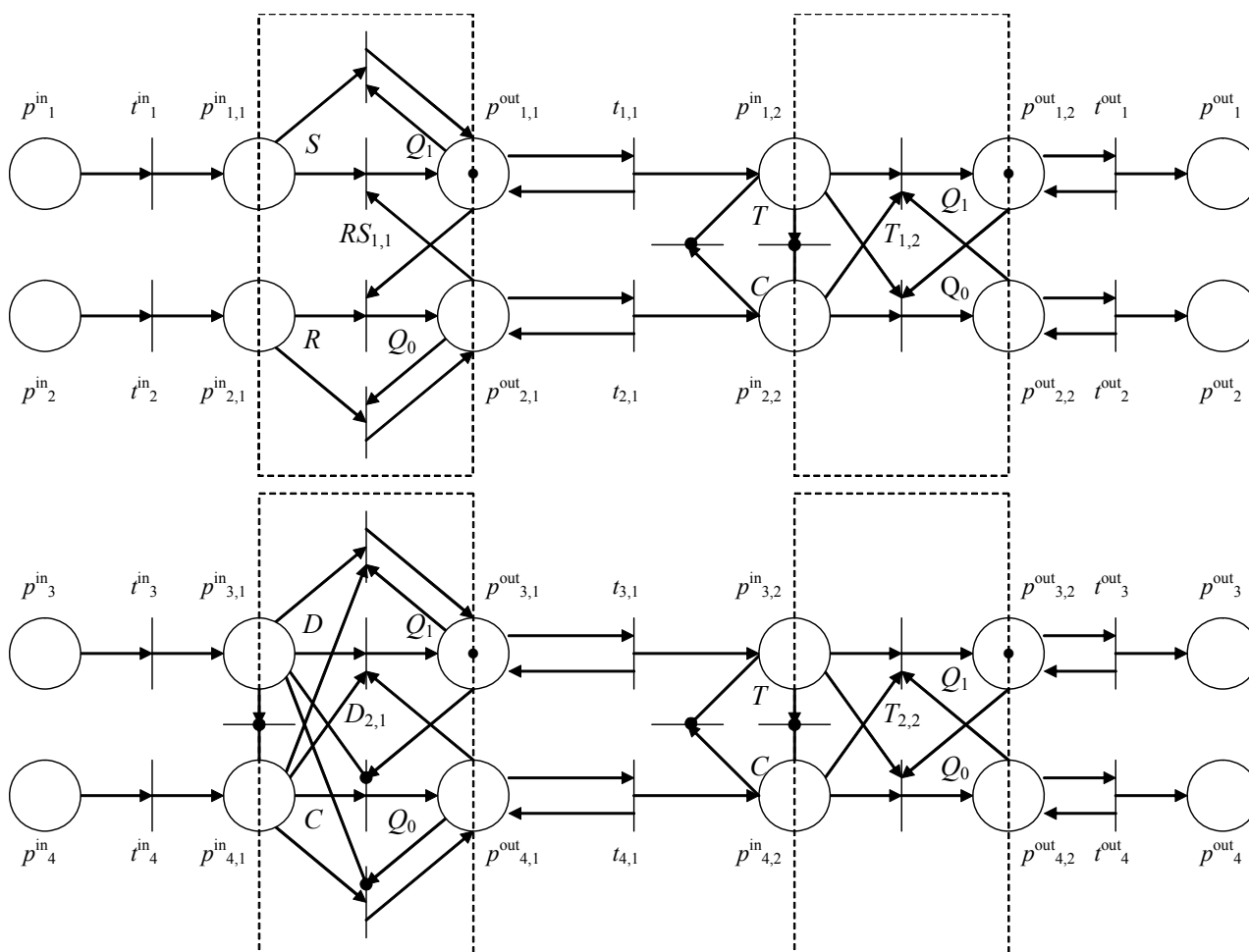
Рис. 6. Конфигурация 2×2 ( $RS, T, D, T$ ), начальное состояние  $(1, 1, 1, 1)$ , подстановка  $F_1 = E$

Таблица 1. Начальная популяция

Конфигурация	Триггеры	Начальное состояние	Подстановка
Конфигурация 1	(T, T, RS, RS)	(1, 1, 1, 0)	$F_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & 4 & 3 \end{pmatrix}$
Конфигурация 2	(RS, T, T, D)	(0, 0, 0, 0)	$F_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 3 & 2 & 4 & 1 \end{pmatrix}$
Конфигурация 3	(RS, D, RS, RS)	(1, 0, 0, 1)	$F_3 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 1 & 2 & 4 & 3 \end{pmatrix}$
Конфигурация 4	(RS, D, D, D)	(0, 1, 0, 0)	$F_4 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$

Шаг 2. Выбор двух лучших конфигураций. На вход каждой конфигурации подается входной вектор (0, 1, 1, 0) и вычисляется расстояние (сумма модулей разностей координат) между получившимся выходным вектором и требуемым выходным вектором (1, 0, 1, 0). Чем меньше расстояние, тем лучше конфигурация (табл. 2).

Таблица 2. Оценка конфигураций

Конфигурация	Выходной вектор	Расстояние
Конфигурация 1	(1, 0, 0, 1)	2
Конфигурация 2	(1, 0, 0, 1)	2
Конфигурация 3	(0, 1, 0, 1)	4
Конфигурация 4	(1, 0, 0, 1)	2

Лучшие конфигурации – 1, 2 и 4. Случайным образом выбираются конфигурации 1 и 4.

Шаг 3. Скрещивание конфигураций. Случайным образом выбирается точка разбиения – посередине особи (табл. 3).

Таблица 3. Скрещивание конфигураций

Родители	Триггеры	Состояние	Подстановка
Конфигурация 1	(T, T,   RS, RS)	(1, 1,   1, 0)	$F_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & 4 & 3 \end{pmatrix}$
Конфигурация 4	(RS, D,   D, D)	(0, 1,   0, 0)	$F_4 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$

В результате скрещивания получаются конфигурации 5 и 6. Подстановки не меняются ( $F_1 = F_5$ ,  $F_4 = F_6$ ) (табл. 4).

Таблица 4. Результат скрещивания

Потомки	Триггеры	Состояние	Подстановка
Конфигурация 5	(T, T,   D, D)	(1, 1,   0, 0)	$F_5 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & 4 & 3 \end{pmatrix}$
Конфигурация 6	(RS, D,   RS, RS)	(0, 1,   1, 0)	$F_6 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$

Шаг 4. Мутация конфигурации-потомка. Случайным образом выбирается конфигурация 6. Случайным образом выбирается последний RS-триггер и случайным образом меняется на D-триггер. В результате получается конфигурация 7 (табл. 5).

Таблица 5. Мутация

Конфигурация	Триггеры	Начальное состояние	Подстановка
Конфигурация 7	(RS, D, RS, D)	(0, 1, 1, 0)	$F_7 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 4 & 3 & 1 \end{pmatrix}$

Шаг 5. Редукция конфигураций. На вход конфигураций-потомков подается входной вектор (0, 1, 1, 0) и вычисляется расстояние (сумма модулей разностей координат) между получившимся выходным вектором и требуемым выходным вектором (1, 0, 1, 0) (табл. 5).

Таблица 6. Оценка потомков

Конфигурация	Выходной вектор	Расстояние
Конфигурация 5	(1, 0, 0, 1)	2
Конфигурация 7	(1, 0, 1, 0)	0

Необходимо удалить из популяции две самые слабые конфигурации (табл. 7).

Таблица 7. Оценка популяции

Конфигурация	Расстояние
Конфигурация 1	2
Конфигурация 2	2
Конфигурация 3	4
Конфигурация 4	2
Конфигурация 5	2
Конфигурация 7	0

Конфигурация 3 самая слабая. Из четырех конфигураций, находящихся на предпоследнем месте, случайным образом выбирается конфигурация 2.

Шаг 6. Проверка критерия останова работы алгоритма (табл. 8).

Таблица 8. Новая популяция

Конфигурация	Расстояние
Конфигурация 1	2
Конфигурация 4	2
Конфигурация 5	2
Конфигурация 7	0

Конфигурация 7 – требуемая конфигурация (рис. 7). Задача решена.

**Выводы.** Решена актуальная задача построения математической модели формирования конфигурации вычислительной техники, состоящей из триггеров, с заданным поведением на основе генетических алгоритмов. Построены математические модели триггеров на основе сетей Петри; конфигурации на основе сетей Петри; формирования конфигурации на основе генетических алгоритмов.

Перспективой дальнейших исследований является построение математической модели формирования произвольной структуры конфигурации вычислительной техники, состоящей из любых компонентов, с заданным поведением на основе генетических алгоритмов.

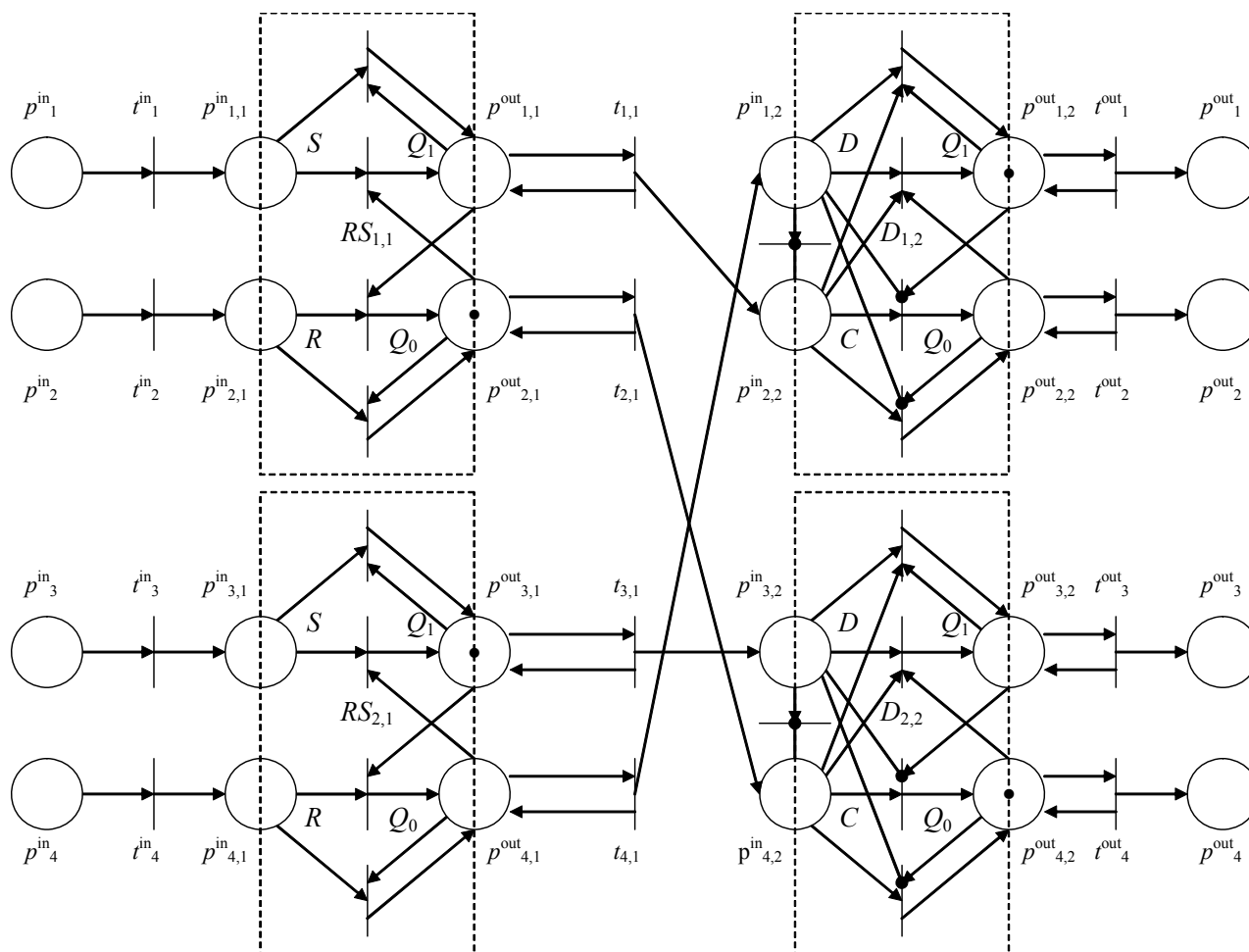


Рис. 7. Конфигурация  $2 \times 2$  (RS, D, RS, D), начальное состояние (0, 1, 1, 0), подстановка  $F_7$ : (1, 2, 3, 4)  $\rightarrow$  (2, 4, 3, 1)

#### Список литературы

1. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход (AIMA) / С. Рассел, П. Норвиг. – М. : Вильямс, 2007. – 1408 с.
2. Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г. Райли. – М. : Вильямс, 2006. – 1152 с.
3. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М. : Физматлит, 2006. – 320 с.

4. Воеводин, В. В. Вычислительное дело и кластерные системы / В. В. Воеводин, С. А. Жуматий. – М. : Изд-во МГУ, 2007. – 150 с.

5. Панфилов, И. А. Модели и алгоритмы выбора эффективной конфигурации многопроцессорных систем обработки информации и управления : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.01. – Красноярск, 2006. – 122 с.

6. Ройзензон, Г. В. Многокритериальный выбор вычислительных кластеров // Методы поддержки принятия решений. – Т. 12. – М. : Едиториал УРСС, 2005. – С. 68–94.

7. René David. Discrete, Continuous, and Hybrid Petri Nets / René David, Hassane Alla. – Springer, 2005. – 524 p.

D. A. Petrosov, Belgorod State Technical University after Shukhov

#### Mathematical Model of Computer Techniques Configuration Formation Based on Triggers

The problem of formation of a computer system configuration with given behavior is considered. The mathematical model of the formation based on a generic algorithm is proposed. The computer system is formed of triggers modeled by Petri nets.

**Key words:** generic algorithm, Petri net, trigger.