

пособие для участников олимпиады школьников. / Составитель А.С. Пустовгар, под ред. В.В. Котова. Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. 48 с.

2. Тульский государственный университет. Прием на первый курс: Сборник материалов 2012 года. Информационно-аналитическая серия. Вып. 13. Тула: Изд-во ТулГУ, 2012. 124 с.

*Котов Владислав Викторович, д-р техн. наук, проф., [vkotov@list.ru](mailto:vkotov@list.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Котова Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент, [nkotova@inbox.ru](mailto:nkotova@inbox.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

#### **METHOD OF FORMING APPLICANT CONTINGENT FOR ADMISSION FOR ENGINEERING PROGRAM**

*V.V. Kotov, N.A. Kotova*

*Questions of organization of vocational guidance with students of schools and colleges are considered. The technique of forming the contingent of students focused on the particular program is offered. Some data on admission to TSU in recent years is shown.*

*Key words: vocational guidance, educational program, applicant*

*Kotov Vladislav Viktorovich, doctor of technical science, professor, [vkotov@list.ru](mailto:vkotov@list.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Kotova Natalia Aleksandrovna, candidate of technical science, docent, [nkotova@inbox.ru](mailto:nkotova@inbox.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 37.04 (681.5, 519.95)

#### **ГЕНЕРАЦИЯ ПЕТРИ-МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ КОГНИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ**

**В.В. Котов, Н.А. Котова, Е.В. Ларкин**

*Рассмотрены вопросы применения сетей Петри-Маркова в задачах обучения операторов технических комплексов. Описана разработанная программа-редактор сетей Петри-Маркова. Предложен формат хранения структуры и параметров сети.*

*Ключевые слова: сеть Петри-Маркова, тренажёрный комплекс, когнитивная технология обучения*

Управление современными техническими комплексами различного назначения, как правило, является достаточно сложной задачей, требующей продолжительной подготовки. Это обусловлено разнообразием сцена-

риев функционирования технической системы, большим количеством способов взаимодействия оператора с технической системой, а также возможностью возникновения в процессе реальной работы множества (зачастую не полностью определённого) нештатных ситуаций, ошибки в реакции на которые могут иметь существенные материальные и иные потери. Использование для подготовки тренажёров исключает расход ресурса реального оборудования, а также риск его повреждения. Однако и в этом случае процесс обучения зачастую оказывается продолжительным и достаточно дорогостоящим. Это обуславливает потребность в разработке научных методов построения оптимальных по заданному критерию технологий обучения операторов.

Вообще под когнитивной технологией обучения понимают алгоритмы достижения целей, основанные на данные о процессах познания, обучения, коммуникации, обработки информации человеком и животными, а также на математическое моделирование элементов сознания [1]. Когнитивная технология предполагает модульную структуру процесса обучения [2]. Независимо от дидактической цели, в соответствии с которой был выделен тот или иной модуль, каждый из них содержит блок контроля начального, промежуточного и конечного состояния обучаемого, теоретический блок, содержащий декларативную информацию об изучаемой предметной области, и процессуальный блок, содержащий правила и алгоритмы выполнения различных видов предметной деятельности.

В зависимости от результатов контроля со стороны обучающего должны задействоваться механизмы обратной связи, определяющие направление дальнейшего обучения. Таким образом, конкретная траектория процесса обучения носит вероятностный характер как по структуре и составу образовательных блоков и модулей, так и по времени реализации отдельных её элементов.

Для постановки и решения задачи оптимизации когнитивной технологии обучения необходимо предложить способ её формального описания, учитывающие указанные особенности. В качестве подобного математического аппарата предлагается использовать сети Петри-Маркова. Применение механизма сетей Петри-Маркова позволяет решить две важные задачи в области оценки эффективности и последующей оптимизации образовательной технологии: ответить на вопросы о принципиальной достижимости требуемого состояния обучаемого при использовании процесса выбранной структуры, и спрогнозировать время достижения указанного состояния.

Под сетью Петри-Маркова (СПМ) [3] понимается структурно-параметрическая модель, заданная парой  $\theta = \{\psi, \gamma\}$ , включающей множество резидентных свойств  $\psi$ , определяющих структурно-параметрические характеристики системы, и множество вариационных свойств  $\gamma$ , отра-

жающих характеристики состояния.

Резидентные свойства  $\psi = \{P, M\}$  задаются сетью Петри  $P$  и случайным процессом  $M$  — сеть Петри  $P$  определяет структуру СПМ, а случайный процесс  $M$  определяет временные и вероятностные характеристики СПМ.

Вариационные свойства модели раскрываются через четверку  $\gamma = \{C, \Phi, \Xi, Q\}$ , состоящую из вектора раскраски позиций  $C$ , вектора разметки  $\Phi$ , вектора занятости  $\Xi$  и упорядоченного множества очередности заявок  $Q$ .

Структура СПМ характеризуется одной из четверок:

$$P = \{A, Z, I_A(Z), O_A(Z)\}$$

или

$$P = \{A, Z, I_Z(A), O_Z(A)\}$$

где  $A$  — конечное множество позиций;  $Z$  — конечное множество переходов;  $I_A(Z)$  и  $O_A(Z)$  — соответственно входная и выходная функции переходов;  $I_Z(A)$  и  $O_Z(A)$  — соответственно входная и выходная функции позиций.

Случайный процесс определяет логико-вероятностные свойства модели и описывается четверкой

$$M = \{q, p, f(t), \Lambda\},$$

где  $q = [q_1(z), \dots, q_{J(z)}]$  — вектор вероятностей;  $p = [p_{i(a)i(z)}]$  — матрица вероятностей;  $f(t) = [f_{i(a)i(z)}(t)]$  — матрица плотностей распределения времени  $t$ ;  $\Lambda = [\lambda_{i(z)i(a)}]$  — матрица логических условий, элементы которой равны

$$\lambda_{i(a)i(z)} = \begin{cases} \{0, 1\}, & \text{если } O_A(Z_{i(z)}) \cap a_{i(a)} = a_{i(a)}; \\ 0, & \text{если } O_A(Z_{i(z)}) \cap a_{i(a)} = \emptyset. \end{cases}$$

С учётом приведённых определений можно говорить о том, что функциональным подобием процесса реализации когнитивной технологии обучения является последовательность перемещений, реализуемая в виде полушагов по СПМ.

Одной из задач, которую необходимо решить для практической реализации предложенного подхода, является определение формата представления СПМ в компьютере. С этой целью был разработан специальный формат файла, имеющий следующую структуру.

На основе предложенного формата разработана программа «Редактор сетей Петри-Маркова», обеспечивающая визуальное построение и редактирование сетевых структур в соответствии с теорией сетей Петри-Маркова. Программа предоставляет пользователю ряд типовых средств,

обеспечивающих возможность добавления в сеть новых вершин типа «Позиция» или «Переход», установления связей между вершинами, с контролем типа связываемых вершин, удаления ошибочно внесённых вершин и связей, редактирования свойств каждой из вершин (перечень свойств определяется типом вершины сети). Программа в процессе редактирования обеспечивает контроль корректности структуры создаваемой сети и параметров.

### **Структура файла описания СПМ**

Наименование поля	Описание	Тип
Строка 1 — Общее описание состава СПМ		
<Кол-во позиций>	Общее число позиций в СПМ	целое
<Кол-во переходов>	Общее число переходов в СПМ	целое
<Кол-во узлов дуг>	Общее число узлов дуг в СПМ	целое
<Кол-во дуг>	Общее число дуг в СПМ	целое
<Свойства>	Признак наличия в файле свойств сети	1 – есть, 0 – нет
Строка 2 — Описание позиций		
<Х-позиции>	Горизонтальная координата позиции	целое
<Y-позиции>	Вертикальная координата позиции	целое
Строка 3 — Описание переходов		
<Х-перехода>	Горизонтальная координата перехода	целое
<Y-перехода>	Вертикальная координата перехода	целое
Строка 4 — Описание узлов дуг		
<Х-узла>	Горизонтальная координата узла	целое
<Y-узла>	Вертикальная координата узла	целое
Строка 5 — Описание структуры связей дуг сети		
<Тип0>	Тип объекта, который являлся начальной точкой для сложной дуги, состоящей из нескольких отрезков	1 – позиция, 2 – переход
<Индекс1>	Идентификационный номер объекта, являющегося начальным для текущего отрезка дуги	целое
<Тип1>	Тип объекта, являющегося начальным для текущего отрезка дуги	1 – позиция, 2 – переход, 3 – узел дуги
<Индекс2>	Идентификационный номер объекта, являющегося конечным для текущего отрезка дуги	целое
<Тип2>	Тип объекта, являющегося конечным для текущего отрезка дуги	1 – позиция, 2 – переход, 3 – узел дуги
Строка 6 — Описание свойств сохраняемых позиций		
<Индекс>	Идентификационный номер сохраняемой позиции	целое
<ИсхДуг>	Количество исходящих дуг из данной позиции	целое

Наименование поля	Описание	Тип
Строка 7 — Описание выходов из позиции в тот или иной переход		
<ИндексДуги >	Идентификационный номер дуги, выходящей из текущей позиции в переход	целое
<Вероятность>	Вероятность выхода по этой дуге	вещественное
<Тип закона>	Тип закона распределения времени пребывания фишки в позиции при выборе выхода по этой дуге	целое
<Матожидание>	Математическое ожидание закона распределения	вещественное
<СКО>	Среднеквадратическое отклонение закона распределения	вещественное
Строка 8 — Описание свойств сохраняемых переходов		
<Индекс>	Идентификационный номер сохраняемого перехода	целое
<ИсхДуг>	Количество исходящих дуг из данного перехода	целое
<ВхДуг>	Количество входящих дуг в данный переход	целое
Строка 9 — Описание логики срабатывания перехода		
<ИндексДуги>	идентификационный номер дуги, выходящей из текущего перехода в позицию	целое
<СДНФ>	логическая функция в совершенной дизъюнктивной нормальной форме, определяющая условие срабатывания перехода по данному выходу	строка
Строка 10 — Описание входящих в переход дуг		
<ИндексДуги>	индекс входящей в переход дуги	целое

Сформированную структуру сети Петри-Маркова и набор параметров отдельных её вершин можно сохранить в виде файла на диск. В дальнейшем этот файл может быть вновь загружен в программу для дальнейшего редактирования или иного использования.

### Список литературы

1. Прокопчук Ю.А. Реализация когнитивных и метакогнитивных технологий в информационных системах, системах управления и образовании // Вестник ХНТУ. №1(44), 2012 . С. 27-39
2. Нагорнова А.Ю. и др. Характеристика когнитивной технологии обучения студентов технических специальностей // Современные проблемы науки и образования, №6, 2012.
3. Ларкин Е.В., Котова Н.А. Проектирование информационных систем роботов с использованием сетей Петри-Маркова: учеб. пособие. Тула: Изд-во ТулГУ, 2008. 158 с.

4. Ларкин Е.В., Котов В.В., Котова Н.А., Соколов В.А. К вопросу о моделировании отказоустойчивых систем с помощью сетей Петри-Маркова // Фундаментальные исследования. №5, 2007. С. 74-78

*Котов Владислав Викторович, д-р техн. наук, проф., [vkotov@list.ru](mailto:vkotov@list.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Котова Наталья Александровна, канд. техн. наук, доцент, [nkotova@inbox.ru](mailto:nkotova@inbox.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет,*

*Ларкин Евгений Васильевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Россия, Тула, Тульский государственный университет*

**PETRI-MARKOV MODEL GENERATION FOR  
COGNITIVE LEARNING TECHNOLOGY OPTIMIZATION**

*E.V. Larkin, V.V. Kotov, N.A. Kotova*

*Questions of using Petri-Markov networks for the task of human operator training are considered. The developed program for Petri-Markov network creation and editing is described. The format of storage of structure and network parameters is offered.*

*Key words: Petri-Markov network, simulator, cognitive learning technology*

*Kotov Vladislav Viktorovich, doctor of technical science, professor, [vkotov@list.ru](mailto:vkotov@list.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Kotova Natalia Aleksandrovna, candidate of technical science, docent, [nkotova@inbox.ru](mailto:nkotova@inbox.ru), Russia, Tula, Tula State University,*

*Larkin Evgeny Vasilievich, doctor of technical science, professor, manager of department, [elarkin@mail.ru](mailto:elarkin@mail.ru), Russia, Tula, Tula State University*

УДК 519.217.2

**МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ СЕТИ ПЕТРИ-МАРКОВА ДЛЯ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ КОГНИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**Е.В. Ларкин, А.Н. Ивутин, Д.С. Костомаров**

*Построена аналитическая модель параллельного когнитивного процесса, в котором на структуру, учитывающую параллелизм, накладываются стохастико-временные параметры и логические условия взаимодействия процессов. Предложена методика формирования первичной структуры сети Петри-Маркова и определения ее вероятностных и временных характеристик.*

*Ключевые слова: тренажерная система, алгоритм, полумарковский процесс, сеть Петри-Маркова*

Рассмотрим чисто исполнительскую функцию когнитивного процесса, приведение в действие выбранного органа управления, которым является, например, клавиша на пульте (рис. 1). Для нажатия клавиши опера-