

# ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АВТОНОМНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Лебеденко Е.В.<sup>1</sup>, Куцакин М.А.<sup>2</sup>

В статье рассматривается автоматизированная информационная система сетевого планирования, обладающая свойством распределенности элементов. В условиях возможного нарушения информационной безопасности системы путем перехвата или подмены данных через каналы передачи информации узлы системы являются автономными (то есть каналы взаимодействия между ними отсутствуют). Показана необходимость использования децентрализованного способа управления процессом согласования данных в автономных элементах, выполняющих сетевой график. Описана возможная конфликтная ситуация, заключающаяся в изменении данных поддерживаемого автоматизированной системой сетевого графика автономными узлами, входящими в состав изучаемой системы. Внесение изменений является случайным процессом, и поток таких событий обладает стохастическим характером, а их принятие (запись) в системе с первого раза может не произойти. Наиболее вероятными для решения поставленной проблемы на данный момент являются подходы, использующие теорию агентного построения информационных систем, а также подход, основанный на теории коллективного поведения конечных автоматов. Процесс взаимодействия автономных элементов изучаемой распределенной системы предлагается представить в виде взаимодействия одинаковых детерминированных конечных автоматов, осуществляющих работу автономных узлов изучаемой распределенной системы. Данная математическая модель их взаимодействия позволяет оценить их целесообразность поведения в определенной стационарной случайной среде без учета возникновения конфликтных ситуаций, получить финальные вероятности нахождения автомата в определенном состоянии в данной среде, не зависящие от его начального состояния. Дальнейшим направлением исследования является расширение предложенного подхода с целью изучения поведения представленного детерминированного конечного автомата в нестационарной случайной среде, которая отображает возникающие в рассматриваемой системе конфликтные ситуации.

**Ключевые слова:** распределенная информационная система, информационная безопасность, автоматизированная система сетевого планирования, сетевой график, механизмы согласования данных, автономность элементов, актуальность информации, согласованность данных, разрешение конфликтных ситуаций, детерминированный конечный автомат, автоматная модель, коллективное поведение автоматов, стационарная случайная среда, штраф, целесообразность поведения автомата.

## Введение

Существует некоторая система сетевого планирования, основным плановым документом которой является сетевой график (пример представлен на рис. 1).

Рассматриваемая система обладает свойством распределенности. Необходимо подчеркнуть важность согласования данных в распределенных узлах системы. Это обуславливает потребность в существовании каналов связи между распределенными узлами системы и централизованными механизмами управления согласованием данных в них.

При наличии каналов связи между узлами системы появляется возможность снизить информационную безопасность путем воздействия как на

сами каналы, так и на передаваемую и по ним информацию, перехватывая ее или подменяя. Таким образом, в целях повышения информационной безопасности изучаемой системы предлагается рассмотреть ее с точки зрения отсутствия каналов связи между узлами. При этом возникает другой вариант систем сетевого планирования – системы с автономными элементами (узлами). Под автономностью здесь понимается то, что узлы системы между собой непосредственно не взаимодействуют. В таких системах отсутствуют и каналы передачи информации между узлами, и центр управления согласованием данных. Задача согласования сетевого графика, поддерживаемого автономными узлами, в таком случае решается организационно или организационно-техническими способами

1 Лебеденко Евгений Викторович, кандидат технических наук, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, lebedenko\_eugene@mail.ru

2 Куцакин Максим Алексеевич, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации, г. Орёл, max\_kooks@mail.ru

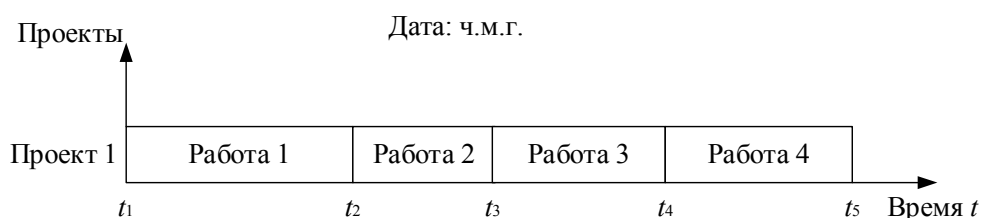


Рис. 1. Пример сетевого графика в исследуемой системе сетевого планирования

ми, которые часто невозможно осуществить из-за отсутствия необходимых для этого ресурсов.

Следовательно, в распределенной системе сетевого планирования с автономными узлами необходимо реализовать децентрализованное управление согласованием данных. При этом объектом управления является сетевой график.

Если в системе не возникает конфликтных ситуаций, то никакого вмешательства в процесс согласования данных не требуется.

Однако в ходе функционирования распределенной системы сетевого планирования возможно возникновение конфликтных ситуаций, заключающихся в том, что изменение данных сетевого графика одним из автономных узлов может привести к его искажению и необходимости изменения данных для другого автономного узла (рис. 1). Ввиду отсутствия централизованного механизма согласования данных конфликтная ситуация должна быть решена самими исполнителями (автономными узлами).

Конфликт может быть устранен путем учета информации о существовании соседних автономных узлов, способных на изменение данных сетевого графика.

Существует ряд теорий, которые позволяют описать поведение такого рода систем. Наиболее применимыми на сегодняшний день являются теория, основанная на агентном подходе [1, 2, 3]; теория коллективного поведения автоматов, широко освещенная в работах М.Л. Цетлина, С.Л. Гинзбурга, В.Ю. Крылова, В.И. Варшавского, И.П. Воронцовой.

На данном этапе исследований выбрана методология теории коллективного поведения автоматов [4].

В рассматриваемой системе каждый автономный узел целесообразно представить абстрактной моделью в виде конечного автомата, а всю систему как коллектив конечных автоматов, который срабатывает в случае возникновения конфликтных ситуаций.

Коллектив автоматов функционирует в случайной среде. Это означает, что каждый автомат формирует случайную среду для других автома-

тов путем внесения стохастических изменений в сетевой график.

Итог действий каждого автомата в коллективе заключается в том, чтобы при возникновении конфликтной ситуации сетевой график был изменен каждым автоматом (в итоге – коллективом) и являлся приемлемым для всей системы в целом.

### Математическая модель взаимодействия конечных автоматов

Представим функционирование каждого автономного узла в виде детерминированного конечного автомата. Исходными данными для решения поставленной задачи является упорядоченная пятерка элементов некоторых множеств:  $M = (V, Q, q_0, F, \delta)$ , где  $V$  – входной алфавит,  $Q$  – множество состояний,  $q_0$  – начальное состояние,  $F$  – множество заключительных состояний,  $\delta$  – функции переходов. Для представления работы каждого автономного узла в виде конечного детерминированного автомата необходимо определить каждое из множеств.

Пусть имеются два состояния:  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , где  $\Phi_1$  – график приемлем,  $\Phi_2$  – ожидание подтверждений изменений;  $f_1$  и  $f_2$  действия автомата, где  $f_1$  – это изменение данных,  $a f_2$  – запись изменений (рис. 2). Входной алфавит будет задан некоторой переменной  $s$ . Тогда вся пятерка множеств будет иметь следующий вид:

$$- V = \{s\}, (s = 0, 1);$$

$$- Q = \{\Phi_1, \Phi_2\};$$

$$- q_0 = \Phi_1, q_0 \in Q;$$

$$F = \{\Phi_1\}, F \in Q;$$

$$- \delta_1 = \Phi_1 * s (0) \rightarrow \Phi_1; \delta_2 = \Phi_1 * s (1) \rightarrow \Phi_2; \delta_3 = \Phi_2 * s (0) \rightarrow \Phi_1; \delta_4 = \Phi_2 * s (1) \rightarrow \Phi_2 \rightarrow \text{выход.}$$

Существует другой способ задания конечных автоматов. Зададим конечный автомат  $A$  каноническими уравнениями [5]:

$$\varphi(t+1) = \Phi(\varphi(t), s(t+1)); \quad (1)$$

$$f(t) = F(\varphi(t)) (t = 1, 2, \dots). \quad (2)$$

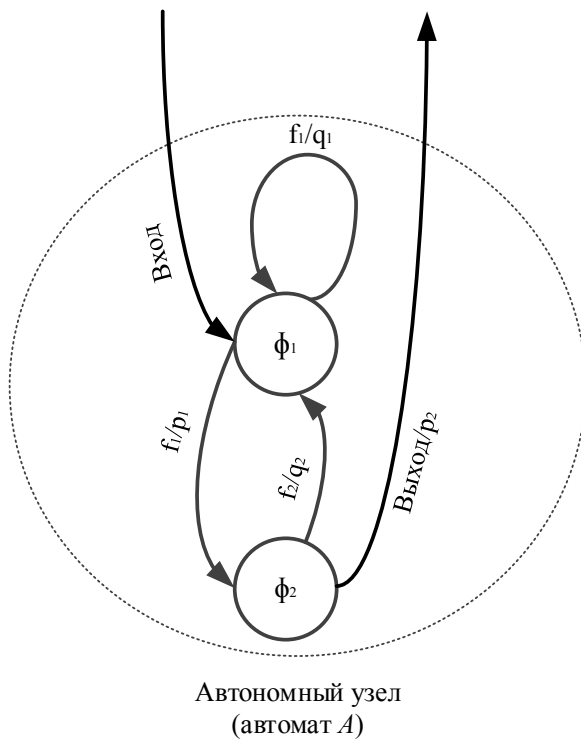


Рис. 2. Функционирование автономного узла в виде детерминированного конечного автомата

Условимся, что входная переменная может принимать лишь два значения: 0 и 1. Значение  $s = 1$  будем называть штрафом, а значение  $s = 0$  – нештрафом.

Уравнение (2) описывает зависимость действий автомата от его состояний, а уравнение (1) – переходы состояний автомата под воздействием входной переменной. Так как входная переменная  $s(t)$  может принимать два значения, уравнение (1) описывает пару отображений в себя множества состояний конечного автомата  $A$ : одно из них задано для  $s = 1$ , другое – для  $s = 0$ .

В дальнейшем будет удобно описывать эти отображения при помощи специальной матрицы состояний автомата:

$$A(s) = \|a_{ij}(s)\| \quad (i, j = 1, \dots, m), \quad (3)$$

где  $m$  – число состояний рассматриваемого автомата  $A$ .

Каждая строка этой матрицы содержит при любом фиксированном значении  $s$  в точности один элемент, равный единице, а остальные элементы этой строки равны нулю. Матрица состояний  $A(s)$  конечного автомата  $A$  определяет переходы состояний следующим образом: если в момент  $t$  автомат находился в состоянии  $\phi_i$ , то в момент  $(t + 1)$  он перейдет в такое состояние  $\phi_j$  для которого  $a_{ij}(s(t + 1)) = 1$ .

Для того чтобы определить, может ли разработанный конечный автомат достигать поставленной задачи по согласованному изменению времени выполнения работ сетевого графика, в работе [6] вводится понятие целесообразности поведения конечного автомата, то есть возможности достижения им поставленной задачи при выполнении заданных действий. Так как автоматы между собой непосредственно не взаимодействуют, то будем говорить, что они взаимодействуют с некоторой средой.

Будем считать, что автомат  $A$  функционирует в стационарной случайной среде  $C = C(p_1, \dots, p_k)$ , если значения входной переменной и действия автомата связаны следующим образом: действие  $f_\alpha$  ( $\alpha = 1, \dots, k$ ), произведенное автоматом в момент  $t$ , порождает в момент  $(t + 1)$  значение  $s = 1$  (штраф) с вероятностью  $p_\alpha$  и значение  $s = 0$  (нештраф) с вероятностью  $q_\alpha = 1 - p_\alpha$ .

Вероятность  $p_{ij}$  перехода автомата из состояния  $\phi_i$  в состояние  $\phi_j$  – определяется формулой

$$P_{ij} = P_{\alpha i} a_{ij}(1) + q_{\alpha i} a_{ij}(0) \quad (i, j = 1, \dots, m). \quad (4)$$

По матрице  $A(s)$  можно однозначно восстановить уравнение (1), так что матрица состояний и уравнение (2) полностью определяют конечный автомат  $A$ .

В работе [6] говорится, что матрица  $P_{ij} = \|p_{ij}\|$  является стохастической и функционирование автомата в стационарной случайной среде описывается конечной цепью Маркова. Предполагается, что эта цепь является эргодической и существуют финальные вероятности  $r$  состояний автомата в данной среде, не зависящие от его начального состояния [9].

Целесообразность поведения автомата в стационарной случайной среде определяются с помощью выражения:

$$M(A, C) \leq M_0,$$

в котором  $M(A, C)$  – значение математического ожидания штрафа для автомата в среде  $C$ , вычисляемого по формуле:

$$M(A, C) = \sum_{\alpha=1}^k p_\alpha \sigma_\alpha, \quad (5)$$

где  $\sigma_\alpha$  ( $\alpha = 1, \dots, k$ ) – сумма финальных вероятностей  $r_i$  таких состояний  $\phi_i$ , которым отвечает действие  $f_\alpha$ , то есть для которых  $F(\phi_i) = f_\alpha$ ; а  $M_0$  вычисляется с помощью выражения:

$$M_0 = (p_1 + p_2 + \dots + p_k) / k.$$

Применительно к рассматриваемому автомату, отражающему работу автономного узла, когда он

не затрагивает значения времени других узлов и, соответственно, не влияет на их работу, допустим, что действие по изменению информации несет под собой нештраф, то есть значение переменной  $s = 0$ , если же влияет на работу других узлов, то  $s = 1$ . Рассматривая второе действие  $f_2$  автомата, определимся, что если значения приняты сразу, штрафа нет и  $s = 0$ , если изменения не записаны сразу и не приняты зависимым автономным узлом, то  $s = 1$ .

Таким образом, исходными данными для определения целесообразности поведения конечного автомата в среде  $C$  являются:

- количество состояний автомата  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ ;
- количество действий автомата  $f_1$  и  $f_2$ , описанных выше, и  $F(\varphi_1) = f_1, F(\varphi_2) = f_2$ ;
- исходя из определенной системы штрафов, матрица состояний рассматриваемого детерминированного автомата будет иметь вид

$$A(1) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, A(0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

то есть состояния автомата изменяются при штрафе и автомат переходит в состояние  $\varphi_1$  при нештрафе.

Согласно выражению (4), определим матрицу переходных вероятностей, которая будет иметь вид

$$P = \begin{pmatrix} q_1 & p_1 \\ p_2 & q_2 \end{pmatrix}.$$

Отсюда для вычислений финальных вероятностей  $r_1$  и  $r_2$  запишем уравнения вида:

$$r_1 = q_1 r_1 + p_2 r_2; \quad r_2 = p_1 r_1 + q_2 r_2$$

**Рецензент:** Гришаков Вадим Геннадьевич, кандидат технических наук, Академия ФСО России, [vg@academ.msk.rsnnet.ru](mailto:vg@academ.msk.rsnnet.ru)

#### Литература:

1. Немцев А.И., Шахмаметов Р.Г. Распределенные интеллектуальные системы: таксономия, применение, инструменты и пример реализации. В сборнике: Автоматизированные системы и информационные технологии сборник научных трудов Российской научно-практической конференции. Федеральное агентство по образованию, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Новосибирский государственный технический университет (ГОУ ВПО НГТУ). 2011. С. 170-179.
2. Платонов Ю.Г. Методы обеспечения интеграции слабосвязанных информационных систем: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.11 / Институт вычислительной математики и математической геофизики. Новосибирск, 2013. - 107 с.
3. Цыбульнич Е.Е. Агентные технологии поддержки ограничений целостности информационных систем. Поддержка ограничений целостности баз данных // Искусственный интеллект. 2003. №4. С. 467-478. URL: [http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI\\_2003\\_4/Razdel7/05\\_Tsybul'nik.pdf](http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI_2003_4/Razdel7/05_Tsybul'nik.pdf).
4. Меньших В.В., Петрова Е.В. Применение методов теории автоматов для моделирования информационных процессов // Вестник Воронежского института МВД России. 2009. № 1. С. 121-130.
5. Ожиганов А.А. Теория автоматов. Учебное пособие. СПб: НИУ ИТМО, 2013. 84 с.
6. Цетлин М.Л. О поведении конечных автоматов в случайных средах // Автоматика и телемеханика, 1961. №10. С. 1345-1354.
7. Яшин А.И. Концептуальные основы построения информационной компоненты автоматизированной системы управления территориально-распределенной системы охраны нового поколения. Территориально распределенные робототехнические системы охраны, 2008. 562 с.

и условие нормировки:  $r_1 + r_2 = 1$ .

Вычислив значения  $r_1 = p_2 / (p_1 + p_2)$  и  $r_2 = p_1 / (p_1 + p_2)$ , найдем значение  $M(A, C)$  с помощью выражения (5):

$$M(A, C) = p_1 r_1 + p_2 r_2 = 2p_1 p_2 / (p_1 + p_2).$$

Для расчета математического ожидания штрафа автомата  $A$  остается определить среднюю  $C = C(p_1, p_2)$ .

Таким образом, математическая модель, помогающая оценить целесообразность поведения коллектива автоматов в случайной среде, представлена выражениями (1)–(5), а входными данными являются вероятности, определяющие среднюю  $C = C(p_1, p_2)$ .

#### Вывод

Представленная автоматная модель отображает процесс взаимодействия автономных узлов в составе изучаемой распределенной системы.

Для проверки целесообразности поведения и взаимодействия автоматов представлена математическая модель с учетом функционирования автоматов в определенной стационарной случайной среде.

Дальнейшим направлением исследования является расширение предложенного подхода с целью изучения поведения представленного детерминированного конечного автомата в нестационарной случайной среде, которая отображает возникающие в рассматриваемой системе конфликтные ситуации.

8. Чеботарев А. Н. Согласование взаимодействующих автоматов // Кибернетика и системный анализ. 2015. Т. 51, № 5. С. 13-25.
9. Майн Х., Осаки С. Марковские процессы принятия решений. М.: Наука, 1977. 176 с.
10. Карпов Ю. Г. Теория автоматов: Учебник для вузов. СПб.: Питер, 2003. 208 с.

## APPROACHES TO MODELING OF INTERACTION AUTONOMOUS ELEMENTS OF DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS

*Lebedenko E.V.<sup>3</sup>, Kutsakin M.A.<sup>4</sup>*

*The article deals with the automated information system of network planning with the property distributed its elements. In the context of a possible breach of information security system as a whole, in terms of interception and substitution of information system components are autonomous and there are no links between them. The necessity of the use of decentralized control method of matching components roadmap autonomous data elements. Described the possibility of a conflict situation, is to change the data maintained by the automated system of the network schedule, self-contained units that are part of the system being studied. Making changes is a random process and the flow of such events has a stochastic character, and acceptance (record) any changes in the system can not be accepted on the first try. The most likely approach to solving the problem at this point in time are approaches using agent-based theory of information systems, as well as an approach based on the collective behavior of finite automata theory. The interaction of autonomous elements under study are invited to submit a distributed system as the interaction of the same deterministic finite automata. This mathematical model of interaction considered deterministic finite automata, representing the work of autonomous nodes studied a distributed system to evaluate their usefulness behavior in certain stationary random environment without taking into account the emergence of conflict situations, to obtain the final probability of the automaton being in a certain state in the environment that do not depend on its initial state. A further area of research is the extension of this approach to study the behavior represented by deterministic finite automaton in a non-stationary random environment that displays appearing in this system conflicts.*

**Keywords:** *distributed information system, information security, automated system for network planning, network schedule, mechanisms of data harmonization, autonomous elements, relevant information, consistency of data, conflict resolution, deterministic finite automaton, automaton model, collective behavior of automata, stationary random media, fine, appropriateness of the behavior of the automaton.*

### References:

1. Nemtsev A.I., Shakhmametov R.G. Raspredeleynnye intellektual'nye sistemy: taksonomiya, primeneniye, instrumenty i primer realizatsii. V sbornike: Avtomatizirovannyye sistemy i informatsionnyye tekhnologii sbornik nauchnykh trudov Rossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Federal'noe agentstvo po obrazovaniyu, Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdeniye vysshego professional'nogo obrazovaniya Novosibirskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet (GOU VPO NGTU). 2011, pp. 170-179.
2. Platonov Yu.G. Metody obespecheniya integratsii slabosvyazannykh informatsionnykh sistem. Institut vychislitel'noy matematiki i matematicheskoy geofiziki. Novosibirsk, 2013. 107 P.
3. Tsybul'nik E.E. Agentnyye tekhnologii podderzhki ogranicheniy tselostnosti informatsionnykh sistem. Podderzhka ogranicheniy tselostnosti baz dannykh, Iskusstvennyy intellekt. 2003. No4, pp. 467-478. URL: [http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI\\_2003\\_4/Razdel7/05\\_Tsybul'nik.pdf](http://www.iai.dn.ua/public/JournalAI_2003_4/Razdel7/05_Tsybul'nik.pdf).
4. Men'shikh V.V., Petrova E.V. Primeneniye metodov teorii avtomatov dlya modelirovaniya informatsionnykh protsessov, Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii. 2009. No 1, pp. 121-130.
5. Ozhiganov A.A. Teoriya avtomatov. Uchebnoe posobie. SPb: NIU ITMO, 2013. 84 P.
6. Tsetlin M.L. O povedenii konechnykh avtomatov v sluchaynykh sredakh, Avtomatika i telemekhanika, 1961. No10, pp. 1345-1354.
7. Yashin A.I. Kontseptual'nye osnovy postroeniya informatsionnoy komponenty avtomatizirovannoy sistemy upravleniya territorial'no-raspredeleynnoy sistemy okhrany novogo pokoleniya, Territorial'no raspredeleynnye robototekhnicheskii sistemy okhrany, 2008. 562 P.
8. Chebotarev A. N. Soglasovanie vzaimodeystvuyushchikh avtomatov, Kibernetika i sistemnyy analiz. 2015. T. 51, No 5, pp. 13-25.
9. Mayn Kh., Osaki S. Markovskie protsessy prinyatiya resheniy. M.: Nauka, 1977. 176 P.
10. Karpov Yu. G. Teoriya avtomatov: Uchebnik dlya vuzov. SPb.: Piter, 2003. 208 P.

3 Eugene Lebedenko, Ph.D., The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, Orel, lebedenko\_eugene@mail.ru

4 Maxim Kutsakin, The Academy of the Federal Guard Service of the Russian Federation, Orel, max\_kooks@mail.ru