

УДК 004.652.4

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦВЕТНЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Дьяченко Р.А., Фишер А.В., Богданов В.В.

ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»,
Краснодар, e-mail: emessage@rambler.ru

В материалах статьи рассмотрены вопросы моделирования систем сбора и передачи данных с применением цветных сетей Петри. Авторами проведен анализ структуры простейшей системы сбора и мониторинга данных, разработана UML-диаграмма развертывания системы. Развертывание указанной системы реализуется комплексом мероприятий по моделированию, проектированию и последующей настройке параметров оборудования, предназначенных для обеспечения необходимого уровня качества информационной системы. На основе структурной информации предложена методика определения времени сбора данных в системе мониторинга на основе цветных сетей Петри с применением инструментария CPNTools. Полученная имитационная модель позволяет вычислять временные характеристики проектируемой системы, такие как время сбора, передачи и записи в хранилище данных учетной хронологической информации, при использовании различного коммуникационного оборудования. Разработанная методика может быть использована для настройки, оптимизации параметров оборудования при развертывании систем мониторинга.

Ключевые слова: информационная система, сети Петри, связь, база данных

SIMULATION OF SYSTEMS FOR THE COLLECTION AND TRANSMISSION OF DATA, WITH COLORED PETRI NETS

Dyachenko R.A., Fisher A.V., Bogdanov V.V.

FGBOU VPO «Kuban State Technological University», Krasnodar, e-mail: kateha007@bk.ru

The materials of the article the questions of modeling systems for the collection and transmission of data, with colored Petri nets. The authors analyzed the structure of the simplest system to collect and monitor data developed UML deployment diagram of the system. Deployment of said system is implemented complex modeling activities, design and then adjust the parameters of the equipment intended to ensure the required quality of the information system. On the basis of structural information the technique of determining the time of data collection in the monitoring system based on colored Petri nets using tools CPNTools. The resulting simulation model allows to calculate the temporal characteristics of the designed system, such as the time of collection, transmission and storage of data records in chronological account information using various communication equipment. The method developed can be used to configure, optimize equipment parameters when deploying monitoring systems.

Keywords: information system, Petri nets, communications, database

Перспективным направлением развития электроэнергетики является создание интеллектуальных электрических сетей Smart Grid, под которыми понимается комплекс электрооборудования, подключенных к источникам и потребителям, использующие новые принципы, технологии передачи и управления потоками электроэнергии. При создании таких сетей предполагается объединение на технологическом уровне электрических сетей, потребителей и производителей электроэнергии в единую автоматизированную систему, обладающую свойствами прогнозирования, самодиагностики, самовосстановления и способностью управлять перераспределением потоков электрической энергии в зависимости от графиков нагрузок потребителей. Для создания интеллектуальной системы необходимо выбрать единое информационное пространство на отдельных территориях – так называемые энергокластеры, включающие предприятия генерации, преобразования и транспортировки электроэнергии, энергосервиса. С точки зрения информационной системы мониторинга и прогнозирования параметров

распределительных электроэнергетических сетей энергокластер – это отдельный территориальный участок распределительной сети с элементами преобразования и передачи электроэнергии и компьютерная сеть для обработки и хранения параметров электроэнергии и их прогнозирования по соответствующим алгоритмам.

Пример принципиальной схемы энергокластера представлен на рис. 1, где обозначения T_i – трансформаторные подстанции; $СШ_i$ – соединительные шины распределительных устройств; 220 кВ, 110 кВ, 35 кВ, 10 кВ, 6 кВ – напряжения энергокластера; $Л_i$ – линии электропередач с их нагрузками в А; H_i – нагрузки систем электроснабжения.

Для приведенного в качестве примера энергокластера система сбора и мониторинга может быть представлена UML-диаграммой развертывания 2. Развертывание указанной системы реализуется комплексом мероприятий по моделированию, проектированию и последующей настройке параметров оборудования, предназначенных для обеспечения необходимого уровня качества информационной системы. Для систем

сбора и мониторинга данных (какой является представленная выше система) одними из самых важных являются темпоральные

параметры. Таким образом, настройка параметров оборудования информационной системы является важной проблемой.

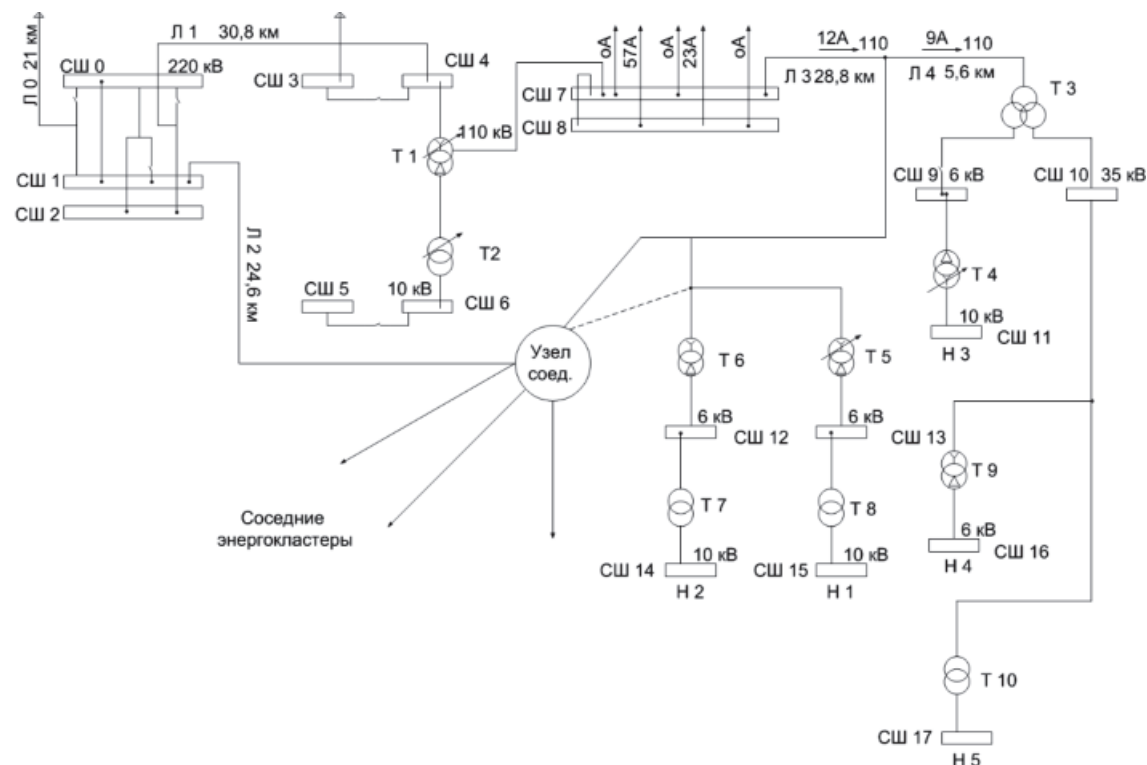


Рис. 1. Пример принципиальной схемы энергокластера

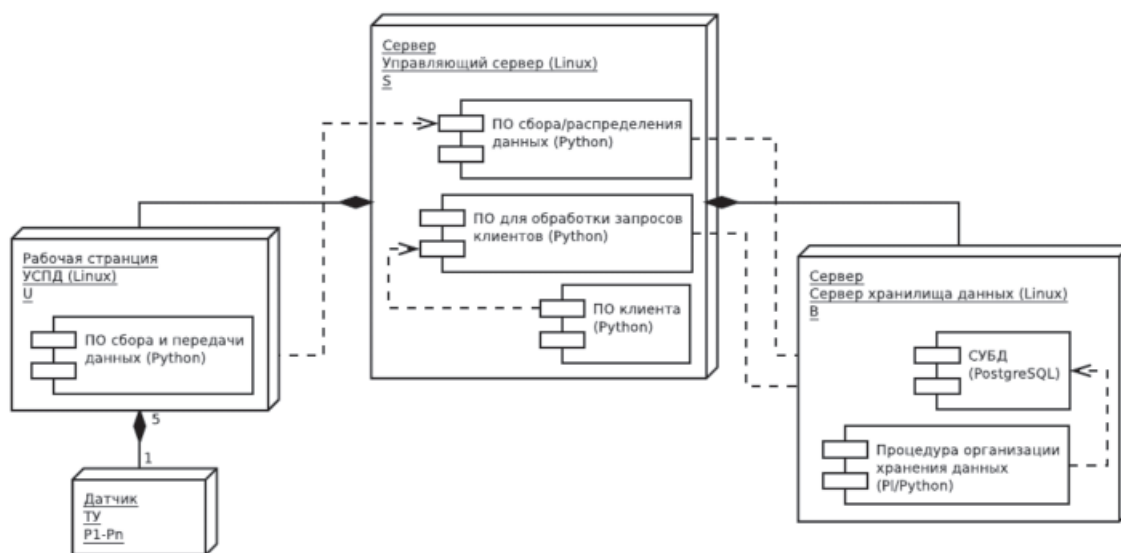


Рис. 2. Диаграмма развертывания информационной системы мониторинга и прогнозирования энергокластера

Методика определения минимального времени сбора, передачи и записи в хранилище данных учетной информации состоит из следующих этапов:

1. Описание структуры системы.

2. Разработка *UML*-диаграммы развертывания.

3. Построение на основе структурной схемы и *UML*-диаграммы развертывания цветной сети Петри.

4. Выделение в цветной сети Петри (далее модель системы) параметров влияющих на время сбора, передачи и записи в хранилище учетной информации.

5. Определение допустимого множества значений параметров модели.

6. Поиск набора параметров модели, обеспечивающих минимальное время сбора, передачи и записи в хранилище учетной информации.

На рис. 3 изображена IDEF-0 диаграмма этапов полученной методики.

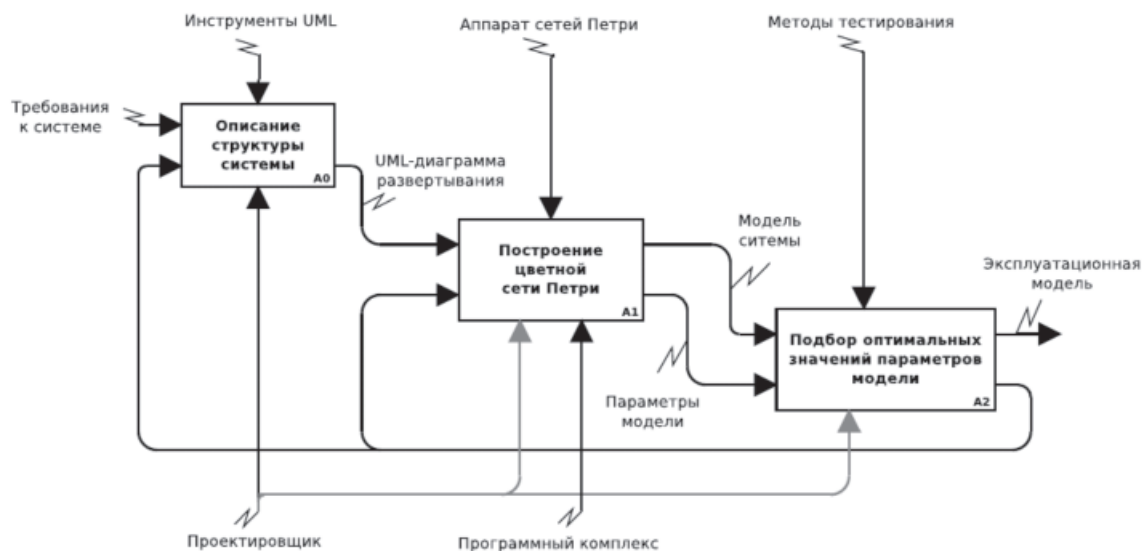


Рис. 3. IDEF-0 диаграмма этапов методики

Для решения поставленной задачи будем использовать аппарат цветных сетей Петри, позволяющий проводить имитационное моделирование и производить расчеты временных параметров системы [3].

Модель системы сбора и передачи данных построена с использованием аппарата цветных сетей Петри [8]. Сети Петри используются для моделирования динамических систем. Аппарат основан на использовании событийной модели имитации [4]. То есть на каждом шаге моделирования определяется, какие действия происходят в системе, какие состояния система имела до этих действий и какие состояния будут установлены после их выполнения. Согласно введенным Е.А. Котовым обозначениям [1], конечная сеть описывается формулой (1)

$$N = (P, T, F, M_0), \quad (1)$$

где $P = \{P_1, \dots, P_n\}$ – множество позиций (не пустое множество элементов); $T = \{T_1, \dots, T_n\}$ – множество переходов (не пустое множество элементов), таких что множество P не пересекается с множеством T , $P \cap T = \emptyset$; F – функция инцидентности, задающая связь между P и T , любой элемент сети инцидентен хотя бы одному элементу другого типа, такая, что $(F \neq \emptyset) (\forall x \in P \cup T, \exists y \in P \cup T: xFy \vee yFx)$; $M_0 \in \mu S$ – начальная маркировка сети, множество, содержащее позиции, имеющие маркеры в начальный

период времени, с указанием количества маркеров.

На основе структурной схемы, описанной в разделе 1, была построена цветная сеть Петри, представленная на рис. 4.

Обозначения, используемые в модели изображенной на рис. 4:

1. S – блок «сервер сбора и передачи данных» отвечающий за отправку запросов к УСПД, прием ответов от УСПД и запись полученных данных в базу;

2. S_1 – позиция (в терминах цветных сетей Петри [2]) блока S , генерирующая маркеры (в терминах цветных сетей Петри) запросов;

3. S_2 – позиция блока S , принимающая маркеры ответов;

4. U – блок «устройство сбора и передачи данных (УСПД)», отвечающий за прием запросов от сервера, передачу запроса ко всем подключенным точкам учета, прием ответов от точек учета и передачу полученных данных серверу (блок S);

5. U_1 – позиция, передающая маркеры запросов, пришедшие от сервера (S), к точкам учета (P_1, P_2);

6. U_2 – позиция, принимающая маркеры ответов от точек учета (P_1, P_2) и передающая их серверу (S);

7. P_1 – блок «точка учета (ТУ) 1», отвечающий за прием запроса от УСПД (U) и формирующий ответ состоящий из порядкового номера запроса, идентификатора ТУ,

данных ТУ и временной метки получения данных;

8. P_{11} – позиция блока ТУ 1, принимающая маркеры запросов от УСПД (U);

9. P_{12} – позиция блока ТУ 1, содержащая данные показаний собранных с датчиков в виде маркеров;

10. C_{31} – переход (в терминах цветных сетей Петри) формирующий маркер, пакет

ответа, состоящий из порядкового номера запроса, идентификатора ТУ 1, данных ТУ 1 и временной метки получения данных на основе маркера запроса от P_{11} и маркера данных P_{12} ;

11. P_{13} – позиция блока ТУ 1, передающая полученный маркер пакета УСПД (U);

12. B – блок «база данных», отвечающий за хранение данных, полученных от всех ТУ;

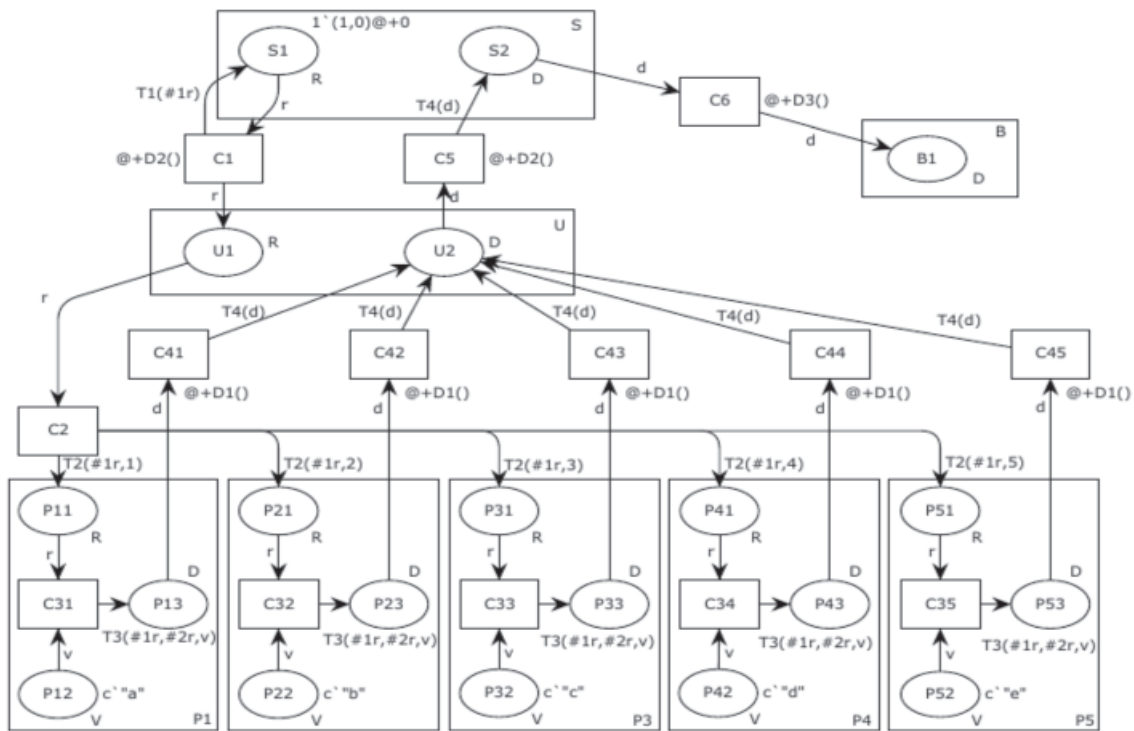


Рис. 4. Сеть Петри моделирующая систему сбора и передачи данных

13. B_1 – позиция, отвечающая за получение маркеров данных от сервера S и их хранение;

14. C_1 – переход от сервера (S) к УСПД (U) с установленной случайной задержкой $@ + D_2()$. Для имитации случайной задержки на каналах связи используются функции, возвращающие случайные величины задержек [5];

15. C_2 – переход от УСПД (U) к ТУ 1, 2, 3, 4, 5 (P_1, P_2, P_3, P_4, P_5);

16. C_{41} – переход от ТУ 1 (P_1) к УСПД (U) с установленной случайной задержкой $@ + D_1()$;

17. C_5 – переход от УСПД (U) к серверу (S) с установленной случайной задержкой $@ + D_2()$;

18. C_6 – переход от сервера (S) к базе данных (B) с установленной случайной задержкой $@ + D_3()$;

19. r – переменная (в терминах цветных сетей Петри [7]) типа R . Тип R определяется как $colset R = product INT * INT timed$;

20. v – переменная типа V . Тип V определяется как $colset V = STRING$;

21. d – переменная типа D . Тип D определяется как $colset D = product INT * INT * V * TIME timed$;

22. $T_2(\#1r, 1)$, $T_2(\#1r, 2)$, $T_2(\#1r, 3)$, $T_2(\#1r, 4)$, $T_2(\#1r, 5)$ – вызов функции формирования значения маркеров (в терминах цветных сетей Петри), установленных над дугами (в терминах цветных сетей Петри), соединяющими переход C_2 и позиции P_{11} , P_{21} , P_{31} , P_{41} , P_{51} . Функция определена выражением $fun T_2(i, k) = 1'(i, k)@ + D_1()$;

23. $T_3(\#1r, \#2r, v)$ – вызов функции формирования значения маркеров, установленных над дугами, соединяющими переходы C_{31} , C_{32} , C_{33} , C_{34} , C_{35} и позиции P_{13} , P_{23} , P_{33} , P_{43} , P_{53} соответственно. Функция определена выражением $fun T_3(i, k, v) = 1'(i, k, v, time())$;

24. $T_4(d)$ – вызов функции формирования значения маркеров, установленный над дугами соединяющими переходы C_{41} , C_{42} ,

C_{43}, C_{44}, C_{45} от ТУ 1, 2, 3, 4, 5 и позицию U_2 УСПД U . Функция определена выражением $\text{fun } T_4(d) = (\text{if } E() \text{ then } 1 \text{ 'd' else empty})$;

25. $T_4(d)$ – вызов функции формирования значения маркера, установленной над дугой, соединяющей переход C_5 от УСПД (U) и позицию S_2 сервера S . Данное выражение отвечает за имитацию возможной потери пакета при передаче его от позиции U_2 УСПД (U) к позиции S_2 сервера S ;

26. $T_1(\#1r)$ – вызов функции формирования значения маркера, установленное над обратной дугой от перехода C_1 к позиции S_1 сервера S . Функция определена выражением $\text{fun } T_1(i) = (\text{if } \#1r < c \text{ then } 1 \text{ 'i + 1, 0' else empty})@ + p$; где p – это параметр модели, определяющий величину интервал опроса ТУ в секундах. А c – это параметр

модели, определяющий количество запросов, производимых моделью.

27. $D_1()$ – функция для расчета задержек, возвращающая значение задержки, лежащее между верхней (d_{11}) и нижней (d_{12}) границами, для точек учета.

28. $D_2()$ – функция для расчета задержек, возвращающая значение задержки, лежащее между верхней (d_{21}) и нижней (d_{22}) границами, для канала связи «УСПД – Сервер».

29. $D_3()$ – функция для расчета задержек, возвращающая значение задержки, лежащее между верхней (d_{31}) и нижней (d_{32}) границами, для канала связи «Сервер – хранилище данных».

Таким образом, модель системы сбора и передачи данных описывается множеством

$$N = (P, T, F, M_0), \quad (2)$$

где $P = \{S_1, S_2, U_1, U_2, P_{11}, P_{12}, P_{13}, P_{21}, P_{22}, P_{23}, P_{31}, P_{32}, P_{33}, P_{41}, P_{42}, P_{43}, P_{51}, P_{52}, P_{53}, B_1\}$ – множество позиций; $T = \{C_1, C_2, C_{31}, C_{32}, C_{33}, C_{34}, C_{35}, C_{41}, C_{42}, C_{43}, C_{44}, C_{45}, C_5, C_6\}$ – множество переходов; $F = \{<S_1, C_1, U_1>, <S_1, C_1, S_1>, <U_1, C_2, P_{11} + P_{21} + P_{31} + P_{41} + P_{51}>, <P_{11} + P_{12}, C_{31}, P_{13}>, <P_{21} + P_{22}, C_{32}, P_{23}>, <P_{31} + P_{32}, C_{33}, P_{33}>, <P_{41} + P_{42}, C_{43}, P_{43}>, <P_{51} + P_{52}, C_{35}, P_{53}>, <P_{13}, C_{41}, U_2>, <P_{23}, C_{42}, U_2>, <P_{33}, C_{43}, U_2>, <P_{43}, C_{44}, U_2>, <P_{53}, C_{45}, U_2>, <U_2, C_5, S_2>, <S_2, C_6, B_1>\}$ – функция инцидентности, задающая связь между P и T ; $M_0 = \{1 \cdot s_1, c \cdot p_{12}, c \cdot p_{22}, c \cdot p_{32}, c \cdot p_{42}, c \cdot p_{52}\}$ – начальная маркировка сети, c – параметр системы, количество запросов, имитируемых системой.

Время сбора, передачи и записи хронологической информации в мониторинговой системе энергокластера, представленного на рис. 1, определяется заданием темпоральных параметров цветной сети Петри N (2): $p, d_{11}, d_{12}, d_{21}, d_{22}, d_{31}, d_{32}, l$.

Полученная имитационная модель позволяет вычислять временные характеристики проектируемой системы (время сбора, передачи и записи в хранилище данных учетной хронологической информации), при использовании различного коммуникационного оборудования, а именно позволяет вычислить предельные нагрузки (количество передаваемых данных) на все элементы системы, при достижении которых внедрение такой системы не будет являться целесообразным. Данный факт позволит сделать выводы о необходимости замены элементов системы на элементы, обладающие наиболее подходящими характеристиками. Разработанная методика может быть использована для настройки, оптимизации параметров оборудования при развертывании систем мониторинга.

Список литературы

1. Котов В. Сети Петри. – М.: Наука, 1984. – С. 160.
2. Питерсон Д. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984. – С. 265.
3. Системный анализ и алгоритмизация задачи автоматизации. URL: <http://www.caree.narod.ru/vpdocs/part2.html> (дата обращения: 18.11.2013).
4. Сети Петри. URL: http://www.iacp.dvo.ru/lab_11/otchet/ot2000/pn3.html (дата обращения: 29.10.2013).
5. Aalst W., Stahl C. Modeling Business Processes: A Petri Net-Oriented Approach. // The MIT Press. – 2011. – P. 400.

6. Jensen K. Colored Petri Nets – Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. // Springer-Verlag, – 1997. – P. 234.

7. Jensen K. Colored Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems: Modeling and Validation of Concurrent Systems. // Springer, – 2009. – P. 398.

8. Petri C. Kommunikation mit Automaten. // Rhein.-Westfal. Inst. f. Instrumentelle Mathematik der Univ. – 1962. – P. 128.

References

1. Kotov V. Seti Petri. M.: Nauka, 1984. S. 160.
2. Peterson D. Teoriyasetej Petri imodelirovaniesistem. M.: Mir, 1984. pp. 265.
3. Sistemnyj analiz i algoritimizaciya zadachi avtomatizacii. URL: <http://www.caree.narod.ru/vpdocs/part2.html> (data obrashheniya: 18.11.2013).
4. Seti Petri. URL: http://www.iacp.dvo.ru/lab_11/otchet/ot2000/pn3.html (data obrashheniya: 29.10.2013).
5. Aalst W., Stahl C. Modeling Business Processes: A Petri Net-Oriented Approach. // The MIT Press, 2011. pp. 400.
6. Jensen K. Colored Petri Nets Basic Concepts, Analysis Methods and Practical Use. // Springer-Verlag, 1997. pp. 234.
7. Jensen K. Colored Petri Nets: Modelling and Validation of Concurrent Systems: Modeling and Validation of Concurrent Systems. // Springer, 2009. pp. 398.
8. Petri C. Kommunikation mit Automaten. // Rhein.-Westfal. Inst. f. Instrumentelle Mathematik der Univ., 1962. pp. 128.

Рецензенты:

Атрощенко В.А., д.т.н., профессор, декан факультета компьютерных технологий и автоматизированных систем, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Министерство образования и науки РФ, г. Краснодар;

Видовский Л.А., д.т.н., профессор кафедры информационных систем и программирования, ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Министерство образования и науки РФ, г. Краснодар.

Работа поступила в редакцию 25.12.2013.