

УДК 372.8, 004.02

# ВОЗМОЖНОСТИ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

ГУСЕВА ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА,

к.п.н., доцент

МАРКОВА ВЕРОНИКА ВАДИМОВНА

студент

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет Г.И. Носова»

**Аннотация:** В статье рассматривается сеть Петри как математический аппарат моделирования дискретных систем. Приводится классификация видов сетей Петри, а также дан обзор современных программных средств для эмуляции дискретных систем.

**Ключевые слова:** моделирование, сеть Петри, сложная система, цветные сети Петри, VisualPetri, Petri.NET Simulator, CPN Tools.

## POSSIBILITIES OF PETRI NETS FOR MODELING COMPLEX SYSTEMS

Guseva Elena Nicolaevna,  
Markova VeronicaVadimovna

**Abstract:** the article deals with the Petri net as a mathematical tool for modeling discrete systems. The classification of Petri nets types is given, and also the review of modern software for emulation of discrete systems is given.

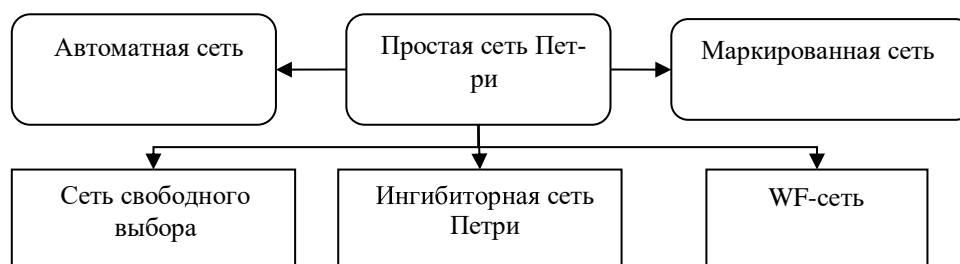
**Key words:** modeling, Petri net, complex system, color Petri nets, VisualPetri, Petri.NET Simulator, CPN Tools.

Сеть Петри представляет собой математический аппарат для моделирования сложных динамических систем. Разработаны сети Петри в 1939 году немецким математиком Карлом Петри, который изобрел этот аппарат для описания динамики химических процессов.

В настоящее время сети Петри используются для моделирования и анализа сложных систем с приложениями от сетевых протоколов, аппаратных средств вплоть до производственных систем и бизнес-процессов. Моделирование на основе сетей Петри крупных промышленных предприятий, объектов социальной сферы, транспортной логистики является приоритетной научно-прикладной задачей. Моделирование состояния сложных систем, в которых происходят стохастические процессы, и переходы также имеют вероятностный характер достаточно эффективно можно реализовывать с помощью иерархических временных сетей Петри [1,2].

Рассмотрим классификацию сетей Петри и выявим наиболее подходящие для различных ситуаций классы таких сетей. Рассмотрим элементарные сети Петри. Они имеют модификации: автоматная, маркированная, сеть свободного выбора, ингибиторная, WF-сеть (рис. 1).

Элементарные сети Петри содержат наименьшее число видов элементов, что делает их наиболее простыми для понимания. В этом их главное достоинство. Элементарные сети хорошо подходят для моделирования относительно простых объектов и систем, а также для представления некоторых общих закономерностей, свойственных более сложным системам.



**Рис. 1 Элементарные сети Петри**

Все разновидности элементарных сетей Петри являются модификациями простой сети Петри. Данная сеть наиболее универсальна из всех элементарных, а поэтому не имеет специфических ситуаций, в которых применяют именно ее.

В автоматной сети каждый переход имеет не более одного входа и не более одного выхода. Такие сети обычно описывают последовательные процессы с ветвлением по условию. В маркированной сети каждая позиция имеет не более одного входа и не более одного выхода. С помощью данной сети моделируют последовательно-параллельные процессы. В сети свободного выбора каждая дуга, выходящая из позиции, является либо единственным выходом из нее, либо единственным входом в переход. Данные сети используются для описания процессов управления. Ингибиторные сети Петри содержат дуги особого типа – так называемые ингибиторные дуги, которые запрещают срабатывание перехода, если во входной позиции, связанной с переходом ингибиторной дугой, находится метка. Они применяются в случаях, когда необходимо осуществить проверку маркировки позиции на ноль. WF-сеть называют также сетью потоков работ. Данная сеть используется для проверки графов потоков работ на наличие таких структурных конфликтов, как «тупики» и «недостатки синхронизации». Структурные конфликты отсутствуют, если WF-сеть является бездефектной.

Элементарные сети Петри не являются универсальными алгоритмическими системами, либо требуют для представления ряда объектов составление моделей, размер которых стремится к бесконечности. В частности, это можно сказать о простых сетях Петри, поскольку любая иерархическая цветная сеть Петри может быть заменена простой сетью Петри бесконечной размерности. Невозможность моделирования произвольного объекта является главным недостатком элементарных сетей Петри.

Специальные сети Петри отличаются от элементарных более высокой сложностью организации (рис.2). Они содержат характеристики, позволяющие точнее отобразить те или иные свойства реальных систем. Иерархические сети удобны при представлении сложных объектов, поскольку модель разбивается на уровни иерархии, следовательно, ее проще проектировать, анализировать и видоизменять.

Временные сети Петри особенно актуальны при моделировании изменения состояния объекта с течением времени. В реальности процессы не протекают мгновенно, поэтому возникает необходимость учитывать их продолжительность. Такую возможность и предоставляют временные сети Петри, равно как и другие, основанные на них виды сетей.

Стохастические сети позволяют лучше учесть вероятностный характер многих событий, однако здесь кроется и недостаток. Дело в том, что при моделировании сложных объектов для ряда прикладных задач, в частности, в системах поддержки принятия решений, одной из проблем является обеспечение предсказуемости, т.е. одинакового результата работы при одних и тех же входных данных. Стохастические сети не обладают свойством предсказуемости, следовательно, их практическое применение ограничено.

Функциональные сети обеспечивают выполнение вычислений в сети для определения некоторых параметров, например, времени задержки. Это может быть весьма эффективно с практической точки зрения, поэтому целесообразно внедрять свойства функциональных сетей в другие их виды.

Наиболее важным классом сетей Петри являются цветные сети. Именно они преобразуют дискретное множество меток в непрерывное. Более того, каждая метка в них может являться объектом со

сложной структурой. Такое свойство предоставляет большую гибкость при создании модели.

Нечеткие сети Петри возникли из необходимости моделировать объекты, у которых ряд параметров и характер протекающих процессов нельзя строго формализовать. Реальные промышленные и стратегические, равно как и многие другие объекты, относятся именно к таким. Хотя специальные сети Петри и позволяют моделировать более широкий класс объектов и систем в сравнении с элементарными сетями Петри, они так же не являются универсальными алгоритмическими системами. Однако в случаях объектов и систем, у которых основополагающей является какая-либо одна характеристика, например, время протекающих процессов, специальные сети оказываются наиболее эффективными.

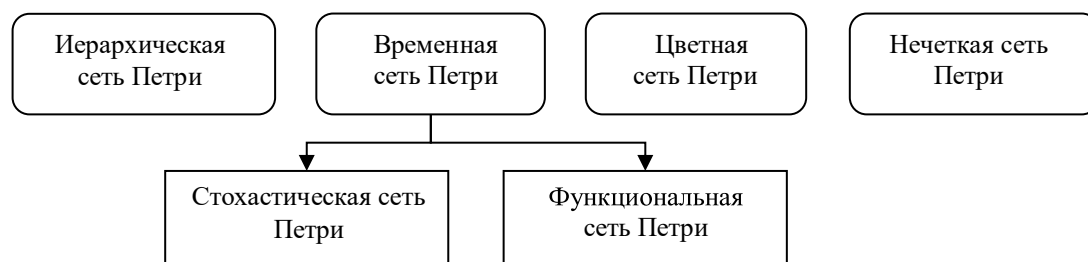


Рис. 2 Специальные сети Петри

Существуют также и комбинированные сети Петри, которые отличаются наибольшей сложностью. Они образуются путем взаимодействия различных видов специальных сетей Петри и обладают характеристиками всех своих «родителей». В частности, иерархическая цветная сеть Петри является комбинацией иерархических и цветных сетей Петри и обладает преимуществами и тех, и других.

Сеть Петри представляет собой ориентированный граф с вершинами двух типов: позиции и переходы. В позициях могут размещаться метки (маркеры), способные перемещаться по сети. Движение маркеров происходит в результате выполнения переходов в результате внешнего события. Сеть Петри можно представить следующим образом:  $N = (P, T, I, O)$ .

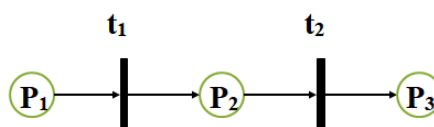


Рис. 3 Пример маркированной сети Петри

$P$  - конечное множество позиций;  $T$  - конечное множество переходов;

$I: T \rightarrow P$  - входная функция переходов:  $I(t_1) = \{P_1\}$   $I(t_2) = \{P_2\}$ ;

$O: T \rightarrow P$  - выходная функция переходов:  $O(t_1) = \{P_2\}$   $O(t_2) = \{P_3\}$ .

Динамические свойства сети Петри определяются с помощью маркировки. Маркировка  $M$  сети Петри – это функция, отображающая множество позиций в множество неотрицательных целых чисел  $N$ .

$M: P \rightarrow N$ ;  $M = (M_1, M_2, \dots, M_n)$ , где  $n = |P|$ , где  $M(P_i)$  – число фишек, принадлежащих позиции  $P_i$ . Маркировка описывает динамику изменения состояний системы, причем эта динамика визуализируется переходами меток по позициям сети. Переход в сети Петри называется разрешенным, если в каждой входной позиции находится не меньше меток, чем из этой позиции исходит дуг [8]. В результате перехода маркировка сети изменяется на новую: из всякой входной позиции перехода удаляется столько меток, сколько дуг ведет из нее в выходные позиции, а в каждую выходную позицию помещается столько меток, сколько дуг ведет из входа. Последовательность переходов называется выполнением сети.

Сегодня существуют программные эмуляторы, позволяющие проводить моделирование дискретных систем в режиме реального времени. К ним относятся: VisualPetri, Petri.NET Simulator, CPN Tools и др. Эмулятор VisualPetri позволяет строить и анализировать двухуровневые сети Петри (когда метки

могут быть представлены как простые сети Петри), поддерживает подсети. Программа Petri.Net Simulator 2 - приложение, созданное для создания, моделирования и имитации гибких производственных систем. В Petri.Net Simulator 2 реализована возможность задания ингибиторной дуги на определенные типы переходов, кроме того, есть функция объединения нескольких элементов в группу, так называемый «черный ящик».

Platform Independent Petri net Editor (PIPE2) - программа английских исследователей с открытым кодом. PIPE2 предоставляет возможность редактировать и моделировать стохастические сети Петри с запрещающими дугами, просматривать матрицы инцидентности для текущей маркировки, создавать список сработавших переходов и отражение изменения количества маркеров в позициях. В PIPE2 применяется язык JAVA, позволяющий запускать модель на различных платформах [8].

Программа CPN Tools - моделирующая система, которая поддерживает иерархические временные раскрашенные сети Петри. Система позволяет использовать вероятностные характеристики и функциональные свойства сложных систем. Однако задание вероятностных параметров в CPN Tools возможно лишь с помощью языка CPN ML.

DCNET - имеет широкие возможности по моделированию и исследования гибких автоматизированных производств, автономно функционирующих объектов космического, воздушного, наземного, водного и подводного назначения; для проектирования электронных экзаменаторов, динамических и пультовых тренажеров; для разработки экспертных систем.

Таким образом, сети Петри могут с успехом использоваться как в теоретических, так и в практических исследованиях, то есть являются эффективным средством анализа сложных систем.

### Список литературы

1. Guseva E.N Simulation Modeling of Transport Flows of Copper Deposit// International Scientific Conference «Far East Con». 2018.
2. Guseva E.N. Discrete event simulation modelling of patient service management with Arena/E.N. Guseva, T.N. Varfolomeyeva, I.Y. Efimova, I.N. Movchan// International Conference Information Technologies in Business and Industry 2018// Publishing IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015 (2018).
3. Гусева Е.Н. Математическое и имитационное моделирование Электронное издание / Магнитогорск, 2017.
4. Гусева Е.Н. Моделирование макроэкономических процессов: учеб. пособие/ Е.Н. Гусева. – М.: Флинта, 2014.– 214 с.
5. Гусева Е.Н. Основы математической обработки информации: учеб.-методич. пособ. Электронное издание / Магнитогорск, 2018.
6. Гусева Е.Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие / Е.Н. Гусева. – М.: Флинта, 2011.– 220 с.
7. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах - М.: Мир, 1981.
8. Обзор программных средств моделирования сетей Петри. URL: [https://www.researchgate.net/publication/283980133\\_OBZOR\\_PROGRAMMYH\\_SREDSTV\\_MODELIROVANIYA\\_SETEJ\\_PETRI](https://www.researchgate.net/publication/283980133_OBZOR_PROGRAMMYH_SREDSTV_MODELIROVANIYA_SETEJ_PETRI)
9. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М.: Мир, 1984.