

УДК 621.3 : 004.7

А.П. Осколков

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## СЕТИ ПЕТРИ-ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОПИСАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье проведен анализ методов описания систем массового обслуживания. Рассмотрена сеть Петри, как средство описания и исследования динамических систем.

**Ключевые слова:** сеть Петри, маркер, стохастические сети.

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ литературы.

Проведенный анализ литературы показал, что для изучения системы массового обслуживания требуется сначала логически описать ее модель, в которой должны реально воплотиться наиболее интересные для изучения и исследования свойства системы. С одной стороны, СМО можно описать словесно [1].

Можно к словесному описанию добавить еще и схематичное изображение. Тогда модель СМО будет гораздо более понятной. С другой стороны, СМО можно описать в виде совокупности математических соотношений, представив модель реальной СМО с помощью алгебраических, дифференциальных, интегральных и других уравнений. Такой подход используется для установления зависимостей между входными и выходными параметрами системы и незаменим для глубокого исследования СМО [2]. Одним из недостатков моделей в виде систем уравнений является то, что при добавлении нового компонента в модель или нового параметра, как правило, приходится менять все уравнения, заново выстраивать цепочку математических соотношений. Особенно сильно проявляются описанные выше недостатки при исследовании сложных, иерархических систем, к которым и относятся большинство моделей СМО. А можно воспользоваться более наглядным и менее формальным средством описания, которое представляет аппарат сетей Петри. Сети Петри разрабатывались специально для моделирования тех систем, которые содержат взаимодействующие параллельные компоненты [3].

**Целью статьи** является рассмотрение сети Петри, как средства описания и исследования динамических систем.

### Основная часть

**Сеть Петри-** это инструмент для описания и исследования динамических систем. Развитие теории сетей Петри проводилось по двум направлениям. Формальная теория сетей Петри занимается разработкой основных средств, методов и понятий, не-

обходимых для применения сетей Петри. Прикладная теория сетей Петри связана главным образом с применением сетей Петри к моделированию систем и их анализу. Одно из основных достоинств сетей Петри заключается в том, что они могут быть представлены, как в графической форме, что обеспечивает их наглядность, так и в аналитической.

При графической интерпретации сеть Петри является графом особого вида, состоящим из вершин двух типов – *позиций (position)* и *переходов (transition)*, соединенных ориентированными дугами, причем каждая дуга может связывать лишь разнотипные вершины (позицию с переходом или переход с позицией). Вершины-позиции обозначаются кружками, вершины-переходы – прямоугольниками (или черточками), рис. 1.

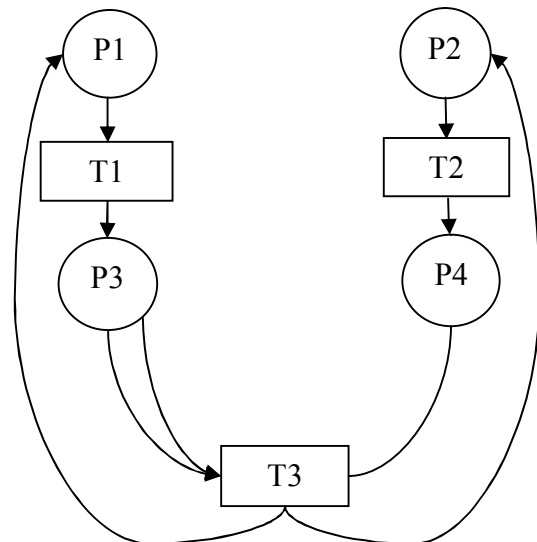


Рис. 1. Простая сеть Петри

В содержательном плане переходы соответствуют событиям, присущим исследуемой системе, а позиции – условиям их возникновения. Переход (событие) характеризуется определенным числом входных и выходных позиций, соответствующих предусловию и постусловию данного события. Совокупность переходов позиций и дуг позволяет описать статическую систему. Для описания динамики

вводится еще один объект – так называемый *маркер* (*token*), или метка позиции, которая соответствует выполнению того или иного условия (обозначается точкой внутри позиции). Расположение маркеров в позициях называется *разметкой сети*. Переход считается активным, если в каждой его входной позиции есть хотя бы один маркер, что равносильно выполнению всех необходимых условий для наступления события. Наступление события в терминах сетей Петри представляется срабатыванием перехода (рис. 2), при этом маркеры из входных позиций изымаются и добавляются в каждую выходную позицию. Текущее состояние исследуемой системы определяется распределением маркеров по позициям сети, а динамика поведения системы отображается перемещением маркеров по позициям сети. Рассмотрим описание наиболее важных расширений сетей Петри.[2] Это приоритетные сети, сети с цветными маркерами (раскрашенные или цветные) и структурированные сети.

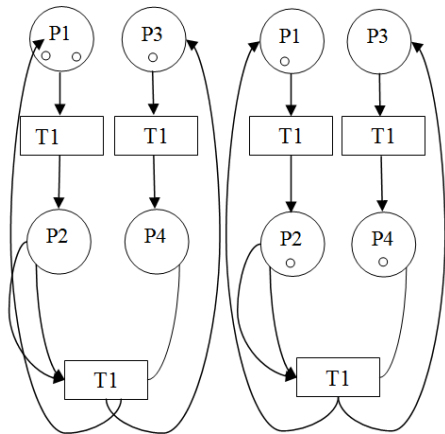


Рис. 2. Маркированная сеть Петри. Пример изменения разметки сети при срабатывании переходов

Приоритетные сети – это сети, учитывающие приоритетные соотношения между переходами. В сетях данного типа при наличии двух и более переходов сработать может лишь переход, имеющий высший приоритет.

Структурированные сети служат для моделирования иерархических систем, которые наряду с неделимыми компонентами содержат составные компоненты, сами представляющие собой системы. В раскрашенных сетях каждому переходу ставится в соответствие функция, определяющая маркирование выходных позиций в зависимости от цветов входных маркеров. Расширение простых сетей в цветные заключается в перечисленной ниже информации к элементам сети:

Маркеры вместо простого выполнения условия преобразуются в объект, который может содержать в себе один или более параметров, каждый из которых способен принимать дискретный набор значений. В соответствии с этим, маркеры различаются

по типам параметров (переменных). Чтобы различать маркеры различных типов, их можно раскрашивать в различные цвета (поэтому сети называют цветными).

К местам добавляется информация о типах маркеров, которые могут находиться в данном месте. К переходам может быть добавлена информация с предикатом активизации перехода, в зависимости от переменных, содержащихся в маркерах. К начальной маркировке сети добавляется информация о значениях переменных, содержащихся в маркерах.

Приведем пример цветной сети Петри, которая моделирует поведение отдельного абонента телефонной сети (рис. 3). Позиции сети соответствуют состояниям процесса телефонной связи, а переходы – смене соответствующих состояний.[3] В процессе работы каждый телефонный аппарат может быть переведен из пассивного состояния “ожидание” (P1) в такое, при котором трубка снята и слышен “непрерывный гудок”. Далее во время набора номера сигнала нет до тех пор, пока не появятся либо короткие гудки, свидетельствующие о том, что вызываемый абонент ( $a_j$ ) занят, либо длинные гудки, указывающие, что телефон вызываемого абонента звонит. В последующем абонент  $a_j$  может поднять трубку и телефонная связь будет установлена до тех пор, пока вызывающий абонент не вернется в пассивное состояние, отсоединив тем самым абонента  $a_j$ .

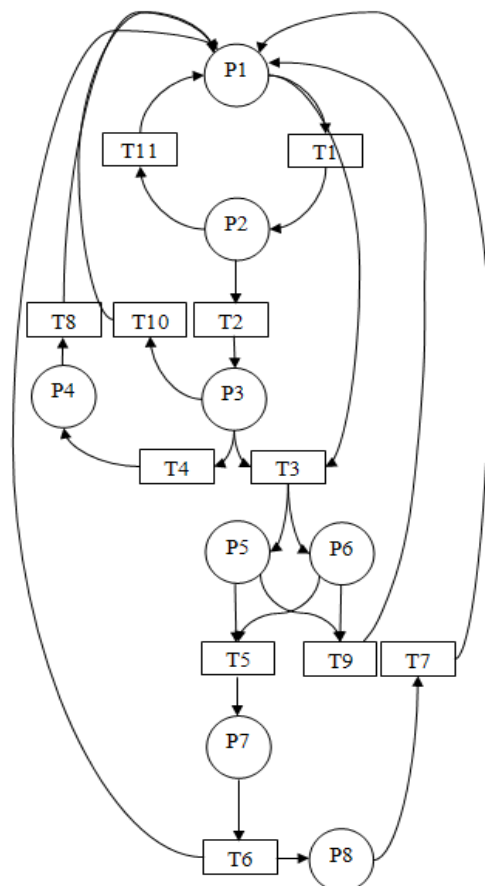


Рис. 3. Сеть Петри, моделирующая поведение телефонного абонента со стороны пользователя.

Существуют расширение сетей Петри, с помощью которых некоторые количественные характеристики исследуемых систем можно определить аналитически. Это временные и стохастические сети. Именно стохастические сети Петри наиболее полно позволяют описать элементы СМО. *Стохастические сети* – это сети Петри, в которые вводятся некоторые вероятностные атрибуты, например вероятности или плотности вероятностей срабатывания активных переходов.

Пример сети Петри приведен на рис. 4. Эта сеть Петри схематично описывает простейшую СМО, состоящую из источника заявок, сервера и очереди. Маркер в позиции P1 соответствует готовности источника заявок к выдаче очередной заявки. Обратная связь перехода T1 с позиции P1 необходима для генерации последующих заявок в каждую единицу времени, таким образом, формируется входной поток заявок. Позиция P2 моделирует очередь, которая в данном случае может быть бесконечна (т.к. на нее не наложены никакие ограничения), но может быть всегда пустой (если сервер обладает бесконечной производительностью). Маркер в позиции P4 моделирует свободное состояние сервера (т.к. переход T2 может сработать и забрать

очередную заявку из очереди только при наличии этого маркера). Соответственно отсутствие маркера в позиции P4 говорит о том, что сервер занят. Однако данная модель не представляет практической ценности, т.к. состоит из бесконечного источника заявок, который способен генерировать одну заявку, каждую единицу времени, очереди неограниченного размера и сервера, обладающего бесконечно большой производительностью, который, забирая по одной заявки из очереди, мгновенно их обслуживает. В приведенной модели не хватает информации о параметрах СМО. Таким образом, необходимо данную сеть Петри преобразовать в стохастическую. Во-первых, добавим информацию о характере входного трафика. Для этого в переходе T1 следует записать математическую модель генерируемого потока заявок. Во-вторых, нужна информация о времени обслуживания сервера (переход T3). А к позиции T2 можно добавить ограничение на длину очереди или на время пребывания в ней заявок. В результате получаем модель, в которой переход T1 по заданному закону генерирует заявки, далее заявки поступают в очередь P2, и если сервер свободен, то обслуживаются и попадают в обслуженные заявки.

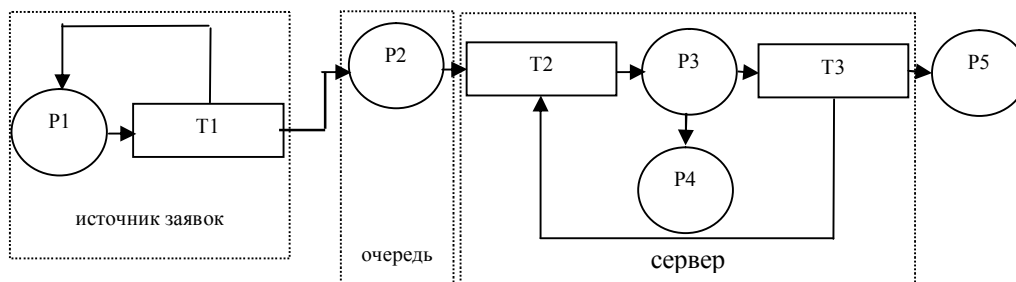


Рис. 4. Модель простейшей СМО

### Выводы

1. Аппарат сетей Петри был разработан специально для моделирования тех систем, которые содержат взаимодействующие параллельные компоненты.
2. При помощи некоторых сетей Петри некоторые количественные характеристики исследуемых систем можно определить аналитически.
3. Для моделирования иерархических систем, которые наряду с неделимыми компонентами содержат составные компоненты, сами представляющие собой системы, широко используют структурированные сети.

### Список литературы

1. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб: БХВ - Петербург, 2005. – 260 с.
2. Телекоммуникационные системы и сети / В.В. Велличко, Е.А. Субботин, В.В. Шувалов, А.Ф. Ярославцев. – Москва: Горячая линия - Телеком, 2005, – 346 с.
3. Вишневецкий В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневецкий. – М.: Техносфера 2003. – 480 с.

Поступила в редколлегию 30.04.2014

Рецензент: д-р техн. наук, ст. научн. сотр. А.А. Можаяев, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.

### МЕРЕЖІ ПЕТРИ – ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОПИСУ ТА ВИНАХОДУ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

А.П. Осколков

У статті наведений аналіз методів опису систем масового обслуговування. Розглянута мережа Петрі, як засіб опису та винаходу динамічних систем.

**Ключові слова:** мережа Петрі, маркер, стохастичні мережі.

### PETRI NETWORKS IS THE INSTRUMENT FOR DESCRIBING AND RESEARCHING DYNAMICAL SYSTEM

A.P. Oskolkov

The article analyzed the methods of describing queuing systems. Petri net is considered as a means to describe and study of dynamical systems.

**Keywords:** Petri network, token, stochastic network.