

Е. С. Фомина

(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

СЕТИ ПЕТРИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются возможности применения элементов теории графов для анализа трафика инфокоммуникационных систем. Представлен обзор имеющихся решений применения сетей Петри при моделировании сетевых технологий и некоторых видов сетевого оборудования.

Ключевые слова: системы массового обслуживания, теория телетрафика, сети Петри, имитационное моделирование.

Введение

Развитие промышленной и социальной сферы приводит к увеличению сложности телекоммуникационных систем и вычислительных сетей, что требует решения проблемы разработки адекватных методов расчета этих систем. Одним из методов предварительного расчета вычислительных сетей и сетей связи в общем случае является моделирование.

Математические модели телекоммуникационных систем и сетей, как правило, строятся на основе теории систем массового обслуживания (СМО). В общем случае СМО обслуживают требования, которые поступают в систему через случайные интервалы времени, причем длительность обслуживания также может быть случайной.

Применение сетей Петри при моделировании сетей связи

В работе [1] описываются возможности применения сетей Петри для моделирования сетевых устройств, в том числе маршрутизаторов. На базе нейронечетких сетей Петри были разработаны модели сетевых устройств (коммутатор, имеющий четыре порта и реализующий приоритетное обслуживание входящих пакетов; рабочая станция, служащая для генерации сетевого трафика; канал данных, служащий для соединения сетевых устройств между собой).

В работе [2] рассматриваются требования к формальным моделям сетевых протоколов и применение сетей Петри для их удовлетворения. Описывается возможность применения ординарных [3] сетей Петри при моде-

лировании динамического поведения простых протоколов с пакетами одного вида, а также особенности применения цветных сетей Петри [4] для решения подобного рода задач.

Особое место сети Петри занимают при решении задач расчета и моделирования сетей сотовой связи. Так, в работе [5], описывается пространственно-временная статистико-событийная модель взаимодействия пользователей в сетях операторов связи, использующая алгоритм сетей Петри. СП в данной работе рассматриваются как средство получения массивов биллинговой информации для последующего тестирования поисково-аналитических алгоритмов.

Возможности имитационного моделирования на основе сетей Петри в мобильных системах связи рассмотрены в [6]. В работе авторами предлагается использовать разработанную модификацию технологии сетей Петри для моделирования работы абонентов в выделенной соте сети мобильных абонентов. В результате использования модификации СТ, при незначительном возрастании вычислительной сложности алгоритма, скорость расчетов увеличивается в 50-75 раз, что позволило производить необходимый анализ работы соты на обычном компьютере.

В статье [7] описаны проблемы применения коммуникационных сетей в системах управления, такие как минимизация задержек между считыванием информации с датчиков и отправлением управляющих сигналов на исполнительные механизмы и потеря передаваемых данных. В связи с этим рассмотрено применение сетей Петри в качестве метода моделирования сетевой системы управления на примере проектирования системы управления активной подвеской автомобиля.

Оценка и моделирование процессов передачи трафика в сетях рассматривается в работе [8], авторами предложен подход к имитационному моделированию локальных вычислительных сетей на основе раскрашенных временных сетей Петри с очередями. Такие механизм целесообразно использовать для сложных задач проектирования сетей и анализа потоков трафика или совмещать описанный подход с аналитическим моделированием.

Примитивная сеть Петри при моделировании сетей связи

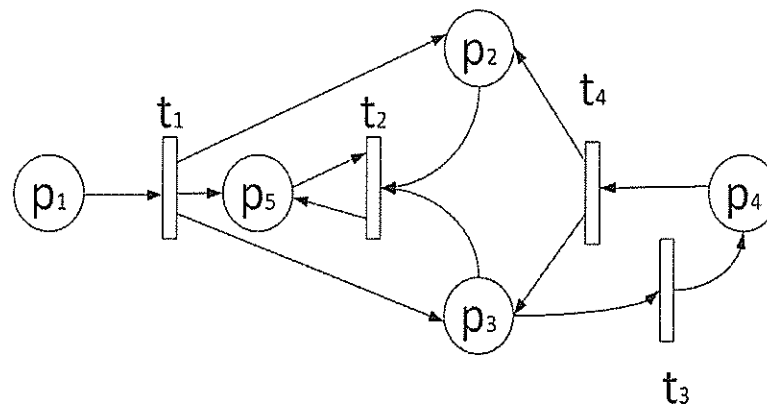
Отличительной особенностью процессов в любой сети является одновременное прохождение информационных и служебных потоков данных по ее различным фрагментам. Для описания логики работы сетевых моделей распространены сети Петри, как средство описания параллельных процессов. Подробнее о сетях Петри изложено в [3, 9].

Одно из основных достоинств аппарата СП (иногда еще указывают как N-сети) заключается в том, что они могут быть представлены как в графической форме (это обеспечивает наглядность), так и в аналитической (это

позволяет автоматизировать процесс их анализа). При графической интерпретации сеть Петри представляет собой граф особого вида, состоящий из вершин двух типов – позиций Р и переходов Т, соединенных ориентированными ветвями (множества I и O, характеризующие начала и концы ветвей), причем каждая ветвь может связывать лишь разнотипные вершины (позицию с переходом или переход с позицией).

С содержательной точки зрения переходы соответствуют событиям, присущим исследуемой системе, а позиции – условиям их возникновения.

Таким образом, совокупность переходов, позиций и ветвей графа позволяет наглядно описать причинно-следственные связи, присущие системе, но в статике (рис. 1).



$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & \pm 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Рис. 1. Классический пример графа N-сети и его матрица инцидентий

Формально простая сеть Петри (N-схема) задается четверкой вида

$$N = \langle P, T, I, O \rangle,$$

где P – конечное непустое множество символов-позиций; T – конечное непустое множество символов-переходов; I – входная функция (прямая функция инцидентности); O – выходная функция (обратная функция инцидентности).

Таким образом, входная функция I отображает переход t_j во множество входных позиций $p \in I(t_j)$, а выходная функция O отображает переход

t_j во множество выходных позиций $p \in O(t_j)$. Для каждого перехода $t_j \notin T, j=1,2,\dots,m$, можно определить множество входных позиций перехода $I(t_j)$ и выходных позиций перехода $O(t_j)$ как

$$\begin{aligned} I(t_j) &= \{p_i \in P \mid I(p_i, t_j) = 1\}, \\ O(t_j) &= \{p_i \in P \mid O(p_i, t_j) = 1\}, i = \overline{1, n}, \\ j &= \overline{1, m}, n = |P|, m = |T| \end{aligned}$$

Входная и выходная функции сети Петри (I и O) позволяют описать любую сеть с помощью двух матриц размером $n \times m$ (матриц входных и выходных позиций), имеющих следующую структуру (состоят только из положительных единиц и нулей):

$$\begin{array}{cc} \begin{array}{c} t_1 \quad t_2 \quad \dots \quad t_m \\ p_1 \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \\ p_2 \begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ p_3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ \dots \\ p_n \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \end{array} & \begin{array}{c} t_1 \quad t_2 \quad \dots \quad t_m \\ p_1 \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \\ p_2 \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \end{bmatrix} \\ p_3 \begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots & 0 \end{bmatrix} \\ \dots \\ p_n \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \end{array} \end{array}$$

Если ориентацию ветвей сделать одинаковой, например, положительным направлением (p_i, t_j) считать выход из перехода t_j и вход в позицию p_i , то соотношения выше можно представить как алгебраическую запись матрицы инцидентий, т. е. объединить обе матрицы позиций в одну:

$$A_{ij} = \begin{cases} -I(p_i, t_j) \cup O(t_j, p_i), & I(p_i, t_j) \times O(t_j, p_i) = 0; \\ \pm 1, & I(p_i, t_j) \times O(t_j, p_i) \neq 0. \end{cases}$$

Первая строка в выражении соответствует одной ветви, связывающей i -ю позицию и j -й переход, вторая строка – двум встречно направленным ветвям.

Аналогично соотношениям выше для каждой позиции $p_i \in P$, вводятся определения множества входных переходов позиции $I(p_i)$ и множества выходных переходов позиции $O(p_i)$:

$$\begin{aligned} I(p_i) &= \{t_j \in T \mid I(t_j, p_i) = 1\} \\ O(p_i) &= \{t_j \in T \mid O(t_j, p_i) = 1\} \end{aligned}$$

а матрица инцидентий A_{ji} есть транспонированная матрица A_{ij} .

Заключение

Согласно выполненному обзору, сети Петри, как инструмент математического моделирования, обладают большим потенциалом при симуляции и моделировании сложных процессов и на текущий момент активно применяются при анализе трафика и оценки помехоустойчивости при разработке сетей связи. В качестве графического средства сети Петри могут использоваться для наглядного представления моделируемой системы, подобно блок-схемам, структурным схемам и сетевым графикам. Имитация взаимодействия единиц оборудования в виде сети Петри позволяет выбрать структуру сети связи, согласовать работу единиц оборудования, определить емкости промежуточных накопителей, оценить уровень отказоустойчивости системы, определить влияние времени перенастройки оборудования на производительность системы в целом.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение возможностей использования сетей Петри для формирования моделей конкретных сетей и использование данных моделей в рамках обучения студентов технических специальностей

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочкин Д. В., Суконщиков А. А. Моделирование сетевых устройств на базе нейронечетких сетей Петри // Теоретические основы и методология имитационного и комплексного моделирования. – 2009. – №2 – С. 152-154.
2. Саркенов Д. О. Применение сетей Петри при разработке протоколов // Ползуновский альманах – 2007. – №3. – С. 82-93.
3. Петерсон Дэс. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М. : Мир, 1984. – 256 с.
4. Воевода А. А., Саркенов Д. О., Хассоунех В. Моделирование протоколов с учетом времени на цветных сетях Петри // Сб. науч. тр. НГТУ. – 2004. – № 3 (37). – С. 133-136.
5. Синадский Н. И. Применение алгоритма сетей Петри в задаче синтеза массивов данных о взаимодействии пользователей в сетях сотовой связи // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. – 2018. – С. 1-13.
6. Резинин Д. А., Шорин А. О. Многофакторная имитационная модель обслуживания подвижных объектов в мобильных системах связи // Экономика и качество систем связи. – 2016. – №1. – С. 1-7.
7. Юнесс С., Лобусов Е. С. Применение сетей Петри для исследования сетевых систем управления // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2019. – №7. – С. 1-14.
8. Гудов А. М., Семехина М. В. Имитационное моделирование процессов передачи трафика в вычислительных сетях // Управление большими системами. – №31. – С. 130-161.
9. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем: учебник для вузов – Москва : Высшая школа, 1998. – 319 с.