

## **ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ И ИНСТРУМЕНТА ИДЕМПОТЕНТНОЙ АЛГЕБРЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ**

**Дюба В.В., студент; Воропаева А.А., ассистент; Бессараб В.И., к.т.н., доц.**  
(*Донецкий национальный технический университет, г. Донецк, Украина*)

Рассмотрены проблемы обеспечения заданных показателей качества услуг QoS при предоставлении услуг Triple Play сетью мобильной связи третьего поколения. Обоснована целесообразность разработки аппарата моделирования и оптимизации участка сети или всей сети в целом для упрощения решения задач проектирования и расширения сети и улучшения экономической эффективности функционирования. Рассмотрен алгоритм создания такого аппарата с помощью сетей Петри и инструмента идемпотентной алгебры. Предложены типовые критерии оптимизации сети мобильной связи третьего поколения.

### **Введение**

В современном мире развитые страны переходят на новый уровень телекоммуникаций для удовлетворения потребностей абонентов в услугах Triple Play. Это особенно актуально для мобильных телекоммуникаций. Оптимальное решение этой задачи – переход операторов мобильной связи на стандарты 3G – UMTS, CDMA2000. Переход к новым сетям сопровождается возникновением проблем обеспечения показателей качества QoS, обеспечить которые сложнее, чем в фиксированных сетях. К тому же, новые услуги требуют большей пропускной способности каналов связи и аппаратуры, более сложных алгоритмов обработки информации, то есть, задача достижения необходимого качества услуг в значительной степени усложняется.

### **1 Постановка задачи**

Для того чтобы упростить решение задач проектирования и расширения сети, внедрения новых технологий, а также для улучшения экономической эффективности сети, необходим аппарат для проведения моделирования процессов в сети. Причем, применяемая модель должна быть как можно более близка к реальной – должны учитываться всевозможные нюансы, особенно характерные для мобильных сетей. Кроме того, должна быть возможность применения этого аппарата для оптимизации сети (или участка сети) по типовым критериям.

### **2 Пути решения задачи**

Решение поставленной задачи может быть достигнуто за счет применения аппарата сетей Петри при представлении топологии участка сети. Полученную топологию можно использовать для проведения моделирования определенного процесса в сети, а также оптимизации этого участка по обоснованному критерию.

Задача решается в три этапа:

1. Изучение представления топологии участка сети (или всей сети) в виде графа сети Петри;
2. Применение инструмента идемпотентной алгебры для моделирования и оптимизации сети;
3. Выбор и обоснование критерия оптимизации сети.

### 3 Сети Петри как инструмент исследования систем

Существуют простые сети Петри, которые представляют сеть в виде графа с двумя типами вершин (места и переходы) и дугами, соединяющими места и переходы [1,2]. Места символизируют состояние системы, а переход – действия, происходящие в системе. Система, находясь в каком-то состоянии, порождает определенные действия, и наоборот, выполнение какого-то действия переводит систему из одного состояния в другое.

Текущее состояние системы определяет расположение меток в местах сети. Выполнение действий в системе определяется как срабатывание переходов, что порождает новую маркировку, то есть новое размещение меток в сети.

Но для телекоммуникационных сетей такая модель не дает числовых характеристик, определяющих состояние системы. Поэтому более рационально применять модель цветной сети Петри [1,2], которая позволяет добавить больше информации о сети:

Метки представляют собой объект, который может содержать в себе один или более параметров, каждый из которых может принимать дискретный набор значений. Таким образом, метки отличаются по типам – метки разного цвета. К местам добавляется информация о типах меток, которые могут находиться в данном месте.

1. К дугам, исходящим из мест, добавляется информация о типах меток, которые могут участвовать в возбуждении переходов, инцидентных этим дугам.

2. К переходам может быть добавлена информация с предикатом возбуждения перехода, в зависимости от переменных, содержащихся в метках.

3. К дугам, исходящим из переходов, добавляется информация о типах меток, исходящих из перехода и о преобразовании переменных.

4. К начальной маркировке сети добавляется информация о значении переменных, содержащихся в метках.

### 4 Идемпотентная алгебра как основной аппарат оптимизационных задач

Идемпотентная алгебра или макс-плюс алгебра – это математический аппарат, основывающийся на двух основных операциях – новое сложение, которое равно максимуму, и новое умножение, которое по сути совпадает со сложением. Идемпотентная математика является естественным аппаратом для решения задач оптимизации и оптимального управления [3].

Общий подход к оптимизации процессов в телекоммуникациях заключается в расчете оптимального значения некоторого параметра, который в данной задаче является критерием оптимизации.

Пусть есть сеть, представленная в виде ациклического графа, где вершины графа – узлы сети, дуги – маршруты, по которым заявки могут передаваться по сети. В каждом узле есть устройство обработки заявок и буфер, в котором может происходить ожидание обработки в очереди. В структуре сети есть особые узлы – источники и приемники заявок.

В начальный момент времени все устройства обработки заявок в сети свободные, очередь заявок в каждом узле-источнике имеет бесконечную длину, а очереди всех других узлов  $i$  содержат по некоторому количеству заявок, которые готовы к обслуживанию устройствами.

Для формализации процесса вводятся следующие обозначения переменных:

- $\tau_{ik}$  – длительность обслуживания  $k$ -й заявки в  $i$ -м узле сети;
- $x_i(k)$  – момент времени завершения обслуживания  $k$ -й заявки в  $i$ -м узле сети;
- $a_i(k)$  – момент поступления  $k$ -й заявки в очередь на обслуживание в  $i$ -м узле сети.

Предусматривается, что  $\tau_{ik}$  – неотрицательные случайные величины с некоторым математическим ожиданием для всех  $i=1,2,\dots,n$ ,  $k=1,2,\dots,n$

Для определённости задают дополнительные начальные условия процесса:

$$x_i(0) = 0 \text{ и } x_i(k) = -\infty, \text{ для } k < 0 \text{ и } i=1,2,\dots,n;$$

С учётом принятых обозначений и предположений, динамика любого узла сети описывается в терминах макс-плюс алгебры следующим уравнением:

$$x_i(k) = \tau_{ik} \otimes a_i(k) \oplus \tau_{ik} \otimes x_i(k-1) \quad (1)$$

Так будет рассчитываться время завершения обслуживания  $k$ -той заявки в  $i$ -м узле сети при различных маршрутах прохождения этой заявки. Это позволит, во-первых, провести моделирование процесса обслуживания заявки разными маршрутами, а во-вторых, оптимизировать это время, выбрав наименьший маршрут.

### **5 Анализ возможных критериев оптимизации для сети мобильной связи третьего поколения**

Применение идемпотентной алгебры и аппарата сетей Петри позволит решить задачи моделирования и оптимизации важных параметров обслуживания абонентов мобильной сети связи 3G.

Приведенный выше алгоритм моделирования времени обслуживания заявки может быть использован для оценки времени ожидания принятия на обслуживание абонента, а также для его последующей оптимизации с целью минимизации [4].

Кроме этого, можно оценивать и оптимизировать такие параметры:

1. Задержка при голосовой и видеосвязи;
2. Пропускную способность канала связи при перегрузках сети (к примеру, для временных перегрузок – во время проведения различных массовых мероприятий);
3. Время осуществления хендвера в сети. Зная временные характеристики алгоритма работы контроллеров и базовых станций, можно оценить, как быстро произойдет передача обслуживания абонента, и как это отразится на качестве услуги, которой в момент хендвера пользуется абонент.

#### **Заключение**

Предложенный способ представляется удобным инструментом для анализа участков сети мобильной связи и всей сети в целом для различных целей. При внедрении или наращивании сети удобно составить ее модель и оценить характеристики услуг, которые предоставляются абонентам, а потом, в случае необходимости, оптимизировать сеть по определенному критерию. Это позволит значительно упростить процесс построения сети, так как можно будет избежать ошибочных или неоптимальных решений.

#### **Перечень ссылок**

1. Jensen A., Kristensen L. Colored Petri Nets: modeling and validation of concurrent systems. – Springer-Verlag, 2009
2. Математичні основи теорії дискретно-безперервних систем: монографія/ В.І. Бессараб. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011.
3. Литвинов Г. Универсальные алгоритмы и идемпотентная математика // Компьютерные инструменты в образовании. - СПб.: Изд-во ЦПО "Информатизация образования", 2000, №6, С.12-18.
4. Механов В.Б. Применение сетей Петри для моделирования механизмов обеспечения QoS в компьютерных сетях // Материалы международного симпозиума “Новые информационные технологии и менеджмент качества (NIT&MQ’2010)” ФГУ ГНИИ ИТТ “Информика”. - М.: ЭГРИ, 2010.