

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕЛЕФОНИИ

Р. Т. Алиев, В. В. Король (Санкт-Петербург)

В последние годы все большее распространение получает компьютерная телефония – технология передачи телефонного трафика (речи) в режиме реального времени через цифровые сети передачи данных (СПД) [1, 2].

Одним из основных показателей качества передачи речи является время доставки речевых кадров, складывающееся из узловых задержек в конечных узлах и сетевой задержки в СПД. Узловые задержки связаны с преобразованием речевых сигналов в цифровую форму и обратно (кодирование-декодирование) и формированием речевых кадров для передачи в СПД. Значения этих задержек в общем случае представляют собой детерминированные величины и определяются значениями параметров технических средств связи [3]. Сетевая задержка связана с передачей речевых кадров в СПД и представляет собой случайную величину, значение которой зависит от ряда случайных факторов, в том числе от метода доступа к среде передачи и степени загруженности СПД.

Особенностью трафика реального времени является его критичность к задержкам при передаче. Несоблюдение заданного ограничения на передачу U^* приводит к некорректному получению данных. Некорректность заключается в том, что теряется режим полнодуплексной связи, т. е. в случае передачи речи абонент-получатель не услышит сразу, что говорил абонент-отправитель, и, таким образом, телефонный разговор лишается смысла. Для приемлемой передачи речи задержка не должна превышать значения $U^* = 150\text{мс}$. Немаловажную роль играет и вариация задержки $\sigma(U)$, представляющая собой разброс задержки очередного кадра по отношению к предыдущему. При значительной вариации задержки в сети с коммутацией пакетов кадры, придут к абоненту-получателю не детерминированным потоком, а со случайными интервалами между ними. Для того, чтобы собрать кадры корректно, необходимо знать максимально допустимое значение вариации задержки. Для обеспечения корректной работы мультисервисной сети, т. е. сети передачи данных, ориентированной на разнородный трафик, необходимо соблюдение качества обслуживания для каждого потока кадров передаваемого трафика.

В простейшем случае передача речевого трафика может быть реализована в локальной вычислительной сети (ЛВС), построенной по технологии Ethernet с логической топологией «общая шина».

В основе алгоритма работы Ethernet используется механизм CSMA/CD, основанный на случайном доступе к среде передачи данных и предполагающий наличие коллизий при передаче кадров, что не может гарантировать выполнения заданных временных ограничений на время доставки U^* , особенно в области высоких загрузок. Соответственно, при проектировании ЛВС необходимо уделить внимание возможности расчета таких характеристик как задержка и вариация задержки для кадров мультимедийного потока.

Для получения количественной оценки сетевой задержки и ее вариации могут использоваться аналитические и имитационные методы моделирования. Для этого необходимо разработать адекватные модели передачи данных, позволяющие выполнить детальный анализ свойств проектируемой сети.

Построим аналитическую модель односегментной ЛВС, где под сегментом ЛВС будем понимать коммуникационное устройство (например, сетевой концентратор) с подключенными к нему рабочими станциями, которые генерируют два класса кадров.

Первый класс представляет собой поток мультимедийных кадров с интенсивностью λ_1 , а второй – поток фоновых кадров с интенсивностью λ_2 .

Среда передачи данных (концентратор) представлена в виде обслуживающего прибора со средними временами обслуживания b_1 и b_2 кадров первого и второго класса соответственно. Значения b_1 и b_2 определяются длинами кадров каждого класса l_1 и l_2 и пропускной способностью канала связи V_{kc} . Таким образом, модель сегмента ЛВС представляется в виде системы массового обслуживания (СМО) [5] с двумя классами заявок, при этом будем полагать, что кадры первого и второго класса образуют простейшие потоки. Времена обслуживания кадров в приборе (концентраторе) являются случайными и имеют, в общем случае, произвольное распределение [4, 9].

В качестве основных характеристик передачи кадров в ЛВС будем рассматривать среднее значение U_k и второй начальный момент $U_k^{(2)}$ времени пребывания кадров класса $k = 1, \dots, H$, полагая, в общем случае, что в сети циркулирует H классов кадров. Отметим, что второй начальный момент $U_k^{(2)}$ характеризует вариацию задержки $\sigma(U)$ кадров в сети.

Применительно к рассматриваемой модели СМО $M_H/G_H/1$ с несколькими классами заявок и различными ДО в [7] представлены математические зависимости для расчета характеристик функционирования системы.

Невозможность точного математического описания характеристик моделируемой системы без целого ряда ограничений и допущений является основным недостатком аналитического подхода к моделированию. Поэтому в предложенной аналитической модели введены два основных допущения, которые позволят свести модель сегмента ЛВС к модели типа СМО $M/G/1$ и применять в расчетах известные математические зависимости [6, 7]:

- кадры первого и второго класса образуют простейшие потоки;
- времена обслуживания кадров в приборе (концентраторе) являются случайными и имеют, в общем случае, произвольное распределение [4, 9].

Кроме того, в модели не учитывается сложный алгоритм CSMA/CD доступа к СПД, который (в случае ЛВС Ethernet) носит случайный характер.

Исходя из сказанного, следует, что рассчитанные характеристики аналитической модели носят оценочный характер и не отражают результата сложного процесса функционирования реальной системы.

Для более детального анализа свойств ЛВС с мультимедийным трафиком и проведения всесторонних исследований в среде GPSS World была разработана имитационная модель односегментной ЛВС с неоднородным потоком кадров. Под сегментом ЛВС будем понимать коммуникационное устройство (например, сетевой концентратор) с подключенными к нему рабочими станциями, которые генерируют два класса кадров. Первый класс представляет собой поток мультимедийных кадров с интенсивностью λ_1 , а второй – поток фоновых кадров с интенсивностью λ_2 .

В основу была положена модель сети Ethernet с однородным потоком кадров, представленная в качестве примера в системе имитационного моделирования GPSS World. На первом этапе разработки модели были скорректированы неточности и исправлены ошибки, обнаруженные в исходной модели:

- исправлено неправильно заданное максимальное число попыток передачи кадра;

- скорректирована формула, по которой вычисляется случайное время отсрочки после момента обнаружения узлом коллизии в «алгоритме отступления»;
- пересмотрена с целью приведения к стандарту часть программного кода, реализующая выдержку межкадрового интервала.

Далее была реализована возможность моделирования работы сегмента ЛВС Ethernet, построенного на сетевом концентраторе с несколькими подключенными узлами, а не на основе устаревшей общей шины, для чего:

- введена возможность моделирования ЛВС с неоднородным потоком кадров, содержащим в пределе до 10 типов независимых друг от друга потоков, каждому из которых задается номер породившего поток узла и длина кадров данного потока;
- пересмотрен алгоритм обнаружения коллизии с целью ориентации на использование в качестве среды передачи данных сетевого концентратора, а не общей шины.

Вместе с этим были расширены и дополнены возможности имитационной модели для проведения множества экспериментов с целью всестороннего анализа эффективности организации мультисервисных ЛВС, в том числе:

- возможность задавать различные законы распределения интервалов времени между кадрами, поступающими от узлов сети в среду передачи данных; при этом, для обеспечения корректности формирования потока кадров от одного и того же узла в модели реализована процедура пересчета интервала между кадрами, учитывающая наличие последствия, обусловленного ненулевой длительностью передачи кадра в сети; эта возможность тем более необходима, что в аналитической модели допущение о простейшем характере потоков кадров предполагает отсутствия последствия, что не соответствует действительности;
- для уменьшения корреляции между вырабатываемыми случайными величинами в модели используются не один, а несколько генераторов случайных величин;
- возможность моделирования ЛВС, построенной как на общей шине (спецификация 10/100Base-2 и 10/100Base-5), так и на основе концентратора (спецификация 10/100Base-T);
- в модели реализован учет размера буфера кадров сетевого адаптера; известно, что различные производители сетевых адаптеров комплектуют свои платы буферами различной емкости (от 32 до 128 Кбайт) и при расчете конфигурации имеет смысл выбрать сетевой адаптер с размером, необходимым для конкретного случая; в имитационной модели размер буфера варьировался во всем диапазоне при различной суммарной нагрузке, что позволило оценить и выбрать оптимальный размер, исходя из ограничений, которые были наложены на модель;
- расширены возможности по сбору статистических данных, таких как: общее количество коллизий, имеющих место за время моделирования, среднее количество коллизий, приходящееся на каждый кадр, среднее время задержки кадров, средний межкадровый интервал в выходном потоке; реализована возможность сбора подобной статистики по каждому отдельному узлу.

Любая имитационная модель после построения требует обоснования адекватности, т. е. ответа на вопрос, насколько можно доверять результатам, полученным в процессе их применения. Для этого обычно используются подходы, основанные на сравнении результатов имитационного моделирования:

- с экспериментальными результатами, полученными путем измерений на реальной системе;
- с результатами, полученными на упрощенных аналитических моделях, с использованием принятых допущений и предположений;

- с результатами контрольных примеров, взятых из литературы, спецификаций или рассчитанных иным способом.

Наиболее достоверным является первый подход. Но, не всегда есть возможность провести сравнение с реальной системой, поэтому на практике часто применяют второй и третий способы.

Результаты показывают, что разработанная имитационная модель вполне адекватна и может применяться для исследований характеристик функционирования ЛВС Ethernet, ориентированной на передачу разнородного трафика, в том числе телефонного. Некоторым исследованиям, проведенным с использованием такой модели, полностью посвящена следующая статья.

Проведен анализ способов моделирования систем компьютерной телефонии, на основе которого можно говорить о необходимости проведения моделирования различными способами, что позволит получать результаты максимально приближенные к реальным, и, соответственно, повысит возможность более точного прогнозирования работы системы в целом.

Разработана детальная имитационная модель сегмента ЛВС Ethernet, позволяющая производить исследования вариации задержки в ЛВС с неоднородным трафиком, учитывая различные дисциплины обслуживания.

Рассмотрены способы обоснования адекватности имитационных моделей и на их основе проведена верификация построенной модели.

Литература

1. **Алиев Р.Т.** Исследование временных характеристик систем компьютерной телефонии/В кн.: Труды молодых ученых ИТМО. СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2001. С. 134–137.
2. **Алиев Р.Т.** Методы управления трафиком в мультисервисных сетях. / Научно-технический вестник СПб ГИТМО (ТУ). Выпуск 6. Информационные, вычислительные и управляющие системы/Главный редактор В.Н. Васильев. СПб: СПб ГИТМО(ТУ), 2002, с.10-13.
3. **Алиев Р.Т., Король В.В.** Анализ эффективности передачи трафика реального времени в сети Fast Ethernet/Современные технологии: Сборник научных статей / Под ред. С.А. Козлова и В.О. Никифорова. СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2002, с.166-173.
4. **Король В.В.** Алгоритмы передачи речи в реальном масштабе времени в локальной вычислительной сети Fast Ethernet/В кн.: Труды молодых ученых ИТМО. СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2001. С. 131–133.
5. **Лаем Куин, Ричард Рассел.** Fast Ethernet. К.: Издательская группа ВНУ, 1998
6. **Клейнрок Л.** Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.
7. **Клейнрок Л.** Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979.
8. **Гольдштейн Б.С.** Протоколы сети доступа. М: Радио и связь, 1999.
9. Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. IP-телефония. М.: Радио и Связь, 2001.