

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ТРАФИКА В ЛОКАЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

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

В [1–3] сформулированы задачи моделирования вычислительных сетей с неоднородным трафиком. Цель настоящей работы заключается в том, чтобы проиллюстрировать на примере односегментной локальной вычислительной сети (ЛВС) использование аналитических и имитационных методов моделирования при проектировании мультисервисных ЛВС. Ниже представлены результаты анализа характеристик функционирования мультисервисной ЛВС, полученные с использованием разработанных аналитических и имитационных моделей.

Объектом исследования является сегмент ЛВС, построенный по технологии Ethernet на основе концентратора и ориентированный на передачу неоднородного трафика: мультимедийного с жесткими ограничениями на время задержки кадров U_k и его вариацию $\sigma(U_k)$ и фоновый, не критичный к этим характеристикам.

Основываясь на комбинированном подходе к моделированию [4], были построены две модели исследуемой системы: аналитическая и имитационная.

Аналитическая модель сегмента ЛВС с неоднородным трафиком, подробно рассмотрена в [3]. Она представляет собой систему массового обслуживания (СМО) типа M/G/1 (в символике Кендалла [7]) с двумя классами передаваемых по сети кадров: мультимедийных с интенсивностью λ_1 и фоновых с интенсивностью λ_2 . Средние длительности обслуживания (передачи) кадров первого и второго класса соответственно равны b_1 и b_2 . Для этой модели в [3] получены математические зависимости для оценки характеристик функционирования системы: U_k и $\sigma(U_k)$.

Аналитическая модель построена с использованием ряда допущений и предположений, поэтому полученные на основе такой модели результаты носят оценочный характер и не учитывают всех особенностей функционирования реальной системы. Более детальное исследование может быть выполнено с использованием имитационных моделей [5].

Имитационная модель сегмента ЛВС Ethernet с неоднородным трафиком на основе концентратора с N узлами построена с учетом всех тонкостей алгоритма CSMA/CD. Подробное описание разработанной модели опубликовано в [3].

На основе разработанной имитационной модели было проведено исследование влияния различных законов распределения интервалов времени между поступающими кадрами на задержку и вариацию задержки речевых и фоновых кадров.

В качестве таких законов рассматривались следующие законы распределения, различающиеся значением коэффициента вариации v интервалов между кадрами:

- детерминированный закон ($v = 0$);
- равномерный закон ($v = 0.58$);
- Эрланга 2-го порядка ($v = 0.7$);
- экспоненциальное ($v = 1$);
- гиперэкспоненциальное ($v = 2$).

Для этих законов были определены задержки для кадров различных классов, их вариации и число коллизий при разной суммарной загрузке в сегменте ЛВС и различным процентным соотношением речевых и фоновых кадров.

Все расчеты производились на имитационной модели при различной длине речевых ($l_1 = 64$ байт) и фоновых ($l_2 = 1518$ байт) кадров для пропускной способности канала связи $V_{kc} = 10 \text{ Мбит/с}$.

На рис. 1 и рис. 2 представлены графические зависимости задержек речевых и фоновых кадров от суммарной загрузки канала связи (концентратора) для различных законов распределения интервалов между кадрами и двух значений доли фоновых кадров в общем потоке: 50% и 95%.

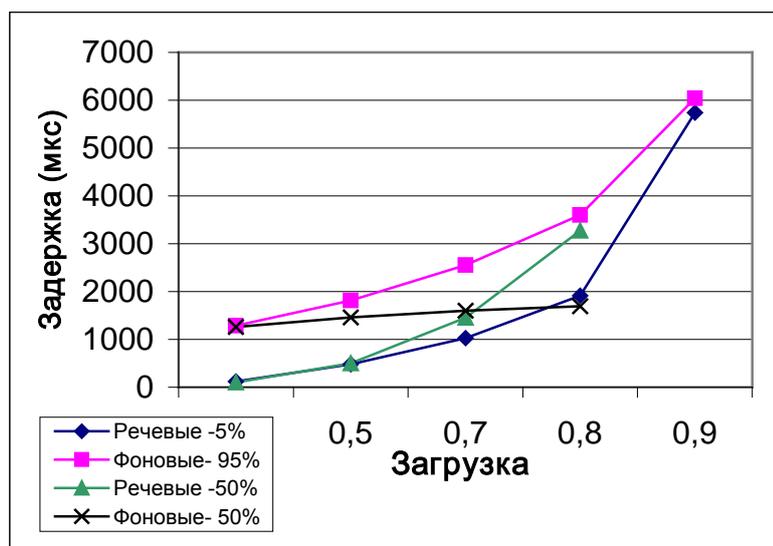


Рис. 1. Зависимость задержки от суммарной загрузки канала связи при экспоненциальном законе распределения

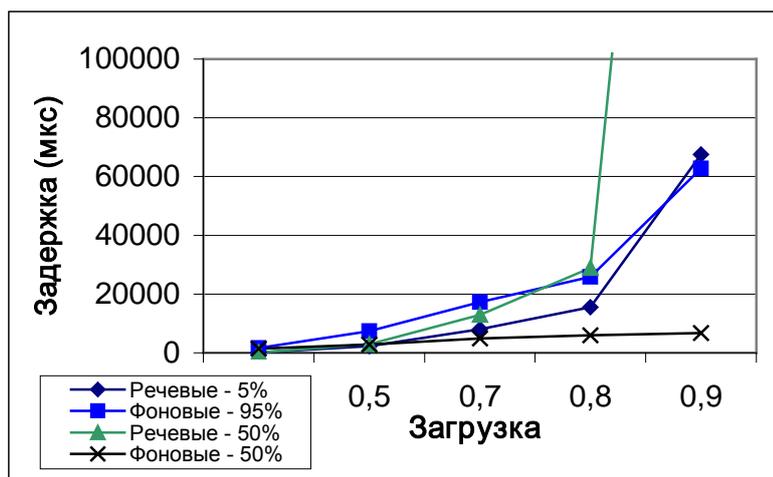


Рис. 2. Зависимость задержки от суммарной загрузки канала связи при гиперэкспоненциальном законе распределения

Анализ полученных результатов позволяет сформулировать следующие выводы:

- для детерминированного закона средняя задержка речевых кадров существенно меньше задержки фоновых кадров, так как размер фоновых кадров значительно больше речевых;
- для равномерного закона средняя задержка речевых кадров (в случае, когда доля фоновых кадров составляет 50%) начинает резко расти, когда суммарная загрузка канала превышает значение 0,8, однако задержка фонового трафика вполне предсказуема, что объясняется тем, что фоновые кадры захватывают канал на более длительное время, т. к. они длиннее речевых кадров, соответственно речевые кадры ожидают дольше, что приводит к большим задержкам;
- для распределений Эрланга 2-го порядка, экспоненциального (рис. 1) и гиперэкспоненциального (рис. 2) видно, что в случае, когда оба потока составляют 50%, загрузка речевыми и фоновыми кадрами резко возрастает в интервале от 0,8 до 0,85, и при загрузке 0,9 происходит перегрузка сети; это объясняется тем, что при высокой загрузке канала связи происходит группировка поступающих кадров, что приводит к тяжелому режиму работы КС и, как следствие, происходит резкое увеличение задержек речевых кадров.

Зависимость задержки от коэффициента вариации интервалов между поступающими в концентратор кадров позволяет сделать вывод, что задержка всех кадров, в том числе речевых, увеличивается с ростом коэффициента вариации (рис. 3). В частности, при изменении коэффициента вариации от 1 до 2 задержка речевых кадров увеличивается более чем в 8 раз. Аналогично растет вариация задержки с увеличением значения коэффициента вариации интервалов между кадрами.

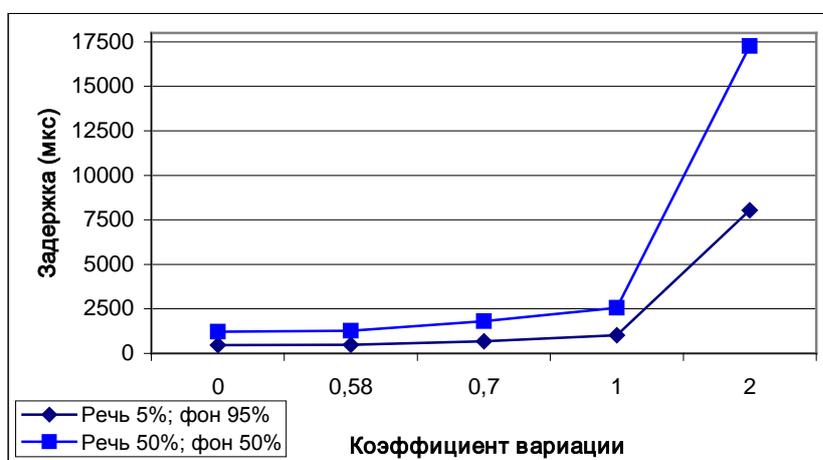


Рис. 3. Зависимость задержки от коэффициента вариации интервалов между кадрами

На рис. 4 представлены графические зависимости вариации задержки в зависимости от коэффициента вариации интервалов между поступающими в концентратор кадрами. Из графика видно, что вариация задержки резко увеличивается при изменении коэффициента вариации в интервале (1, 2), что объясняется группированием поступающих речевых кадров, что приводит к тяжелому режиму работы КС.

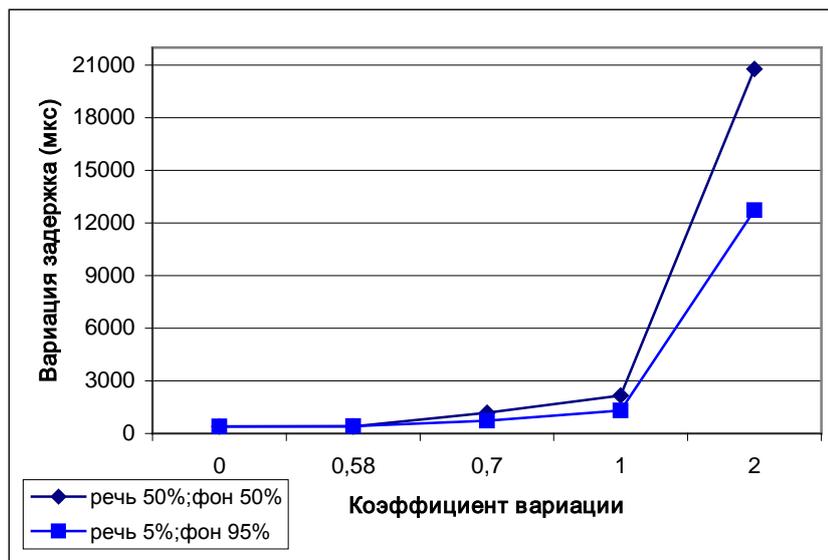


Рис. 4. Зависимость вариации задержки от коэффициента вариации интервалов между кадрами

Как уже отмечалось, алгоритм доступа CSMA/CD, реализованный в Ethernet, предполагает наличие коллизий между кадрами передающих узлов. Каждый раз после обнаружения узлом коллизии случайное время отсрочки перед следующей попыткой передачи выбирается из все более длинного интервала значений. Известно, что, как правило, кадры успешно передаются после первой или второй попытки даже в загруженной ЛВС. В очень загруженной сети может понадобиться около трех-четырех попыток. Появление в ЛВС кадров, отброшенных в результате превышения указанного числа попыток передачи, обычно обусловлено проблемами самой сети, такими, как несоблюдение правил топологии сети, неисправность кабеля или концентратора [6].

Основываясь на сказанном, можно предположить, что наличие большого числа коллизий в сети приведет к увеличению среднего времени задержки кадров. Однако, с другой стороны, максимальное время отсрочки после четвертой безуспешной попытки передачи кадра составит всего 0,82 мс, что незначительно повлияет на характеристики передачи кадров в рамках рассматриваемой односегментной топологии.

После подобных рассуждений можно сделать вывод, что если в реальном сегменте ЛВС Ethernet при больших нагрузках, имеет место в среднем 3–4 коллизии на каждый переданный кадр, то дополнительная задержка, вносимая за счет особенностей протокола CSMA/CD, не будет являться основной составляющей при подсчете суммарной средней задержки кадров. Но, пренебрегать этим, относительно малым, временем нельзя, потому что в случае многосегментных сетей положение может измениться, и возможность его оценки будет очень полезна.

С целью подтверждения такого аналитического результата на разработанной имитационной модели было поставлено множество экспериментов для проверки влияния количества коллизий на временные характеристики функционирования.

В основном эксперименты можно разделить на два типа:

- изменение количества передающих узлов при постоянных значениях загрузки;
- изменение загрузки в широком диапазоне (от 0,1 до 0,9) при максимальном количестве передающих узлов.

Для того, чтобы промоделировать наихудшие условия, длины кадров от всех узлов выбраны равными 64 байтам.

Результаты имитационного моделирования показали, что:

- количество коллизий во всех случаях в процентном отношении к общему числу переданных кадров не превышает 3,5%;
- в областях малых и средних загрузок (от 0,1 до 0,7) максимальное количество коллизий K_{\max} на каждый переданный кадр составило $K_{\max} = 1$;
- в областях высоких загрузок (от 0,7 до 0,9) у 0,01% переданных кадров максимальное число коллизий $K_{\max} = 7$.

Основываясь на собранных статистических данных, можно подтвердить сделанный выше вывод о незначительном влиянии количества коллизий на среднее время задержки кадров в сегменте ЛВС Ethernet.

Предложенные в работе модели и методы дают возможность оценить задержки при передаче речевых сообщений, а также вариации задержки с учетом случайного характера алгоритма доступа к среде для различных законов распределения интервалов времени между кадрами. В частности, разработанная имитационная модель сегмента ЛВС Ethernet позволяет проводить анализ влияния фоновых кадров на задержку и вариацию задержки речевых кадров, критичных ко времени доставки.

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. Руководство пользователя по GPSS World. – Казань: Изд-во «Мастер Лайн», 2002.
6. **Лаем Куин, Ричард Рассел.** Fast Ethernet. К.: Издательская группа ВНУ, 1998
7. **Клейнрок Л.** Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.