

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ В СЕТИ IP-ТЕЛЕФОНИИ

Введение

В настоящее время широкое распространение получила услуга IP-телефонии. Предоставление телефонных услуг через IP-сеть позволяет поставщику услуг IP получать прибыль и является выгодным для потребителей, за счет более низких по сравнению с традиционными операторами цен.

Несмотря на универсальность протокола IP, пакетная форма передачи речи сопровождается рядом специфических явлений, ухудшающих качество разговора. К ним относятся задержка сигнала при распространении по сети, потеря части пакетов при перегрузках сетевых портов, нестабильность интервала времени между началом обработки двух соседних пакетов в декодере (джиттер), а также эхосигнал, который при задержках выше 50 мс становится ощутимой помехой в трубке говорящего абонента [1].

Формулирование проблемы

В работе ставится задача исследовать составляющие задержки в IP-сети, предложить методы их минимизации, проанализировать существующие и рассмотреть возможность создания новых методов восстановления потерянных пакетов.

Цель работы – решение актуальной задачи повышения эффективности системы передачи речи по сетям с коммутацией пакетов.

Для достижения цели, необходимо провести исследование факторов влияющих на качество речи, выполнить анализ сетевых задержек и оценить качество речи при использовании различных методов заполнения потерянных пакетов.

Основные факторы, влияющие на качество речи в IP-сетях

Рассмотрим наиболее важные факторы, влияющие на качество речи. К данной группе относят следующие факторы качества IP-сети:

- максимальную пропускную способность – максимальное число полезных и избыточных данных, которое она передает;
- задержку – промежуток времени, требуемый для передачи пакета через сеть;
- джиттер – разброс времени доставки пакетов;
- потерю пакетов – пакеты или данные, потерянные при передаче через сеть [1].

Кроме факторов качества сети важную роль играет размер буфера для устранения джиттера – объем памяти, необходимый для упорядочивания пакетов и выравнивания интервалов между пакетами при их декодировании.

Исследуем влияние изменяющихся составляющих задержки в сети и потери пакетов на качество речи.

Величину задержки в сети можно условно представить в виде нескольких компонентов задержки распространения по сети и задержки в промежуточных узлах (маршрутизаторах). Задержка распространения

$$T_1 = 0,004 \cdot L_{\text{км}} \quad (1)$$

вносит незначительный вклад и является практически фиксированной величиной. Задержка в промежуточных узлах зависит от ряда факторов: интенсивности абонентской нагрузки, воздействия маршрутизатора, алгоритма обработки очереди и др.

Для модели M/M/1 теории массового обслуживания задержка в промежуточном маршрутизаторе может быть оценена по формуле

$$T_{\text{узл}} = \frac{\rho t_n}{2(1-\rho)} + t_n \quad (2)$$

где $\rho = \alpha \cdot \frac{B}{H+B}$ – коэффициент использования канала; $\alpha = \frac{R}{C}$; $t_0 = \frac{H+B}{C}$ – время передачи (обслуживания) пакета; H – длина заголовка пакета; B – длина информационной части пакета; C – пропускная способность канала связи.

Определим допустимое отношение информационной части пакета к служебной из расчета максимально возможной величины задержки в промежуточном маршрутизаторе (рис. 1, а) и оценим максимально возможное (для обеспечения сквозной задержки на уровне 250 мс) количество промежуточных маршрутизаторов при разном количестве речевых кадров в пакете. На рис. 1, б приведена зависимость суммарной задержки пакетов T , от числа промежуточных узлов m , при различном числе кадров в пакете n , для кодека G.729.

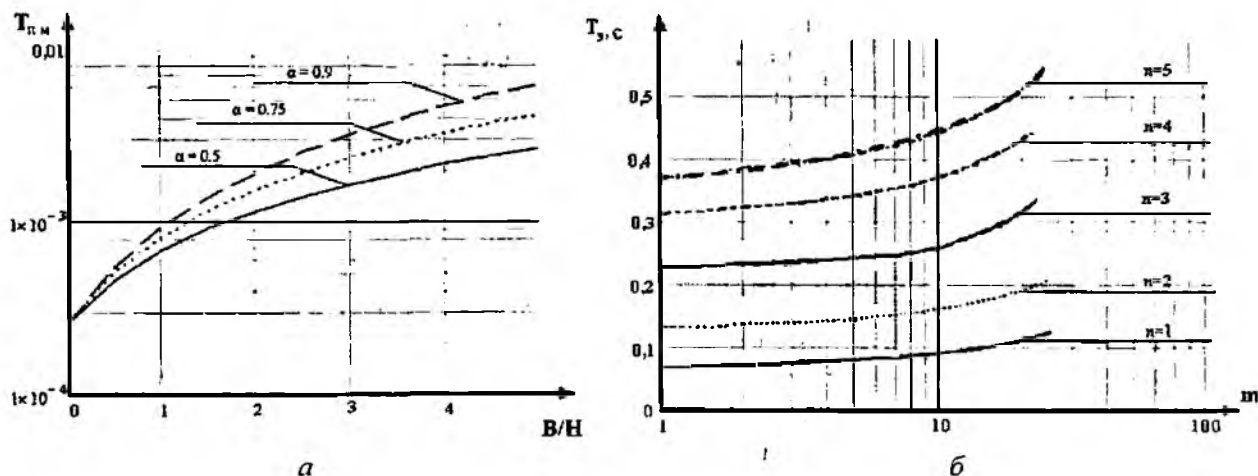


Рис. 1. Влияние информационной части пакета на задержку в промежуточном узле (а) и полную сетевую задержку при изменяющемся числе маршрутизаторов (б)

Следовательно, для обеспечения времени задержки в промежуточном узле в пределах 5 мс, при использовании высокоскоростных кодеков, необходимо выдерживать соотношение информационной части пакета к служебной на уровне $B = (4...5)H$.

Разработка программного обеспечения

Для моделирования основных методов восстановления качества речи, на языке Delphi 7.0 было разработано программное обеспечение, позволяющее моделировать основные преобразования над сигналом при прохождении через сеть IP-телефонии, потери пакетов при передаче данных по сети и алгоритмы заполнения потерянных пакетов.

Используемые критерии оценивания качества речи

В настоящее время в IP-телефонии применяются субъективные методы, наибольшее распространение среди которых получил метод MOS (Mean Opinion Score), определяющий для конкретного кодека среднюю оценку качества большой группой слушателей по пятибалльной шкале. Оценки интерпретируются так:

- 4-5 – высокое качество аналогично качеству передачи речи в ISDN или выше;
- 3,5-4 – качество ГфОП аналогично качеству речи, переданной при помощи кодека АДИКМ при скорости 32 Кбит/с;
- 3-3,5 – качество речи удовлетворительно, но ее ухудшение явно заметно на слух;
- 2,5-3 – речь разборчивая, но требует концентрации внимания для понимания.

Для оценивания качества речи данным методом использовались информационные рифмованные тесты [2] в виде 50 слов, которые произносились мужским диктором на скорости приблизительно одно слово за 1,5 с. Качество речи оценивалось для двух сценариев соединения в IP-телефонии – «компьютер-компьютер» и «телефон-телефон» и различных алгоритмов восстановления.

Результатом данного метода является словесная разборчивость, оцениваемая по формуле

$$Q = \frac{N - N_w}{N} \cdot 100, \quad (3)$$

где N_R – число правильно принятых фрагментов; N_w – число ошибочных фрагментов; N – общее число использованных слов.

Методы объективной оценки качества речи в системе IP-телефонии, на сегодняшний день, широкого распространения не получили. В работе ставилась задача оценки объективных характеристик и анализа возможности их применения в IP-телефонии. Для количественной оценки качества речевого сигнала используем 2 критерия [3]:

– нормированный показатель погрешности (величина, обратная отношению сигнал/шум, ОСШ), характеризующий средний квадрат ошибки воспроизведения $\sigma_{ш}^2$, усредненный по времени и приведенный к дисперсии сообщения $\sigma_{с}^2$:

$$\bar{\delta}^2 = \sigma_{ш}^2 / \sigma_{с}^2, \quad (4)$$

где $\sigma_{ш}^2$ – дисперсия шумов;

– среднеквадратичная ошибка (MSE – Mean square error), определяемая как

$$d[x, y] = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - y_k)^2, \quad (5)$$

где x_k – вектор отсчетов исходного сигнала, y_k – вектор отсчетов восстановленного сигнала.

Исследуемые алгоритмы заполнения потерянных пакетов

На сегодняшний день могут использоваться несколько алгоритмов заполнения потерянных пакетов такие, как

- заполнение потерянного блока нулями (рис. 2, а);
- линейное сглаживание потерянного участка речевого сигнала (рис. 2. б);
- заполнение потерянного фрагмента предыдущим блоком.

Ниже приведены временные диаграммы работы алгоритмов заполнения потерянных пакетов, полученные при помощи созданного программного обеспечения.

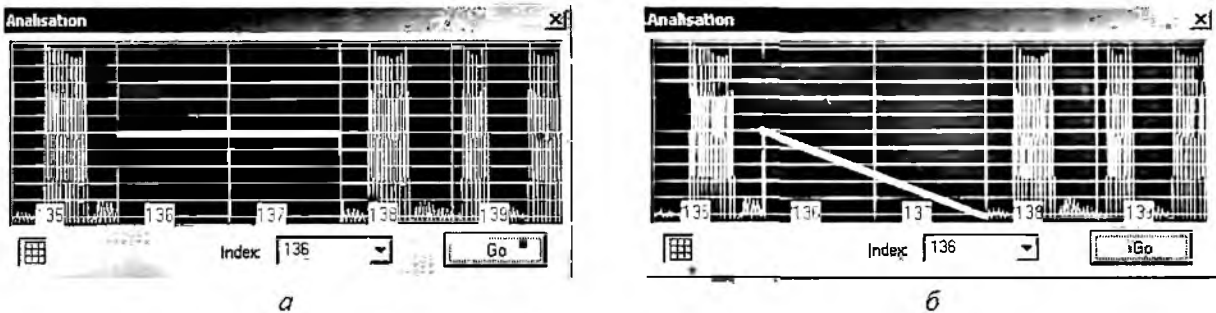


Рис. 2. Временная диаграмма работы алгоритмов заполнения нулями и линейного сглаживания

Результаты исследований

Результаты исследования качества речи для различных методов заполнения потерянных пакетов при субъективных (рис. 3, а,б) и объективных методах оценки качества речи (рис. 4 а,б; рис. 5, а,б) приведены ниже.

Субъективные оценки, выполнены неопытными операторами. Проведенные тесты показали, что наименьшая вероятность ошибки возникает при использовании алгоритма повторения предыдущего блока. Результат справедлив для двух рассмотренных сценариев соединения в сети IP-телефонии – «компьютер – компьютер» и «телефон – телефон».

Для сценария соединения «компьютер – компьютер» (рис. 3, а) наибольшая вероятность ошибки при малом количестве потерянных блоков k (3–6 %) при использовании метода ли-

нейной интерполяции. При увеличении k худший результат обеспечивает использование алгоритма заполнения потерянного блока нулями.

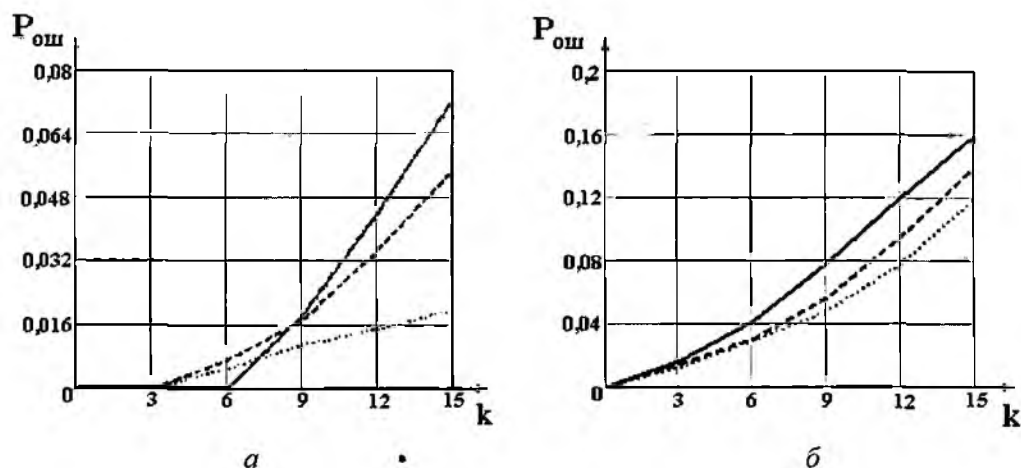


Рис. 3. Зависимость вероятности ошибки от количества потерянных блоков k (а – сценарий «компьютер-компьютер», б – сценарий «телефон-телефон»)

На рис. 3 введены следующие обозначения: — – метод заполнения потерянного блока нулями; --- – метод повторения предыдущего блока; ... – метод линейного сглаживания.

Для сценария «телефон – телефон» (рис. 3, б) наибольшая вероятность ошибки при использовании алгоритма заполнения нулями. При использовании этого сценария величина вероятности ошибки возрастает, что обусловлено возникновением дополнительных задержек и шумами в абонентских линиях и телефонной сети общего пользования.

В случае оценки качества речевого сигнала при помощи ОСШ (рис. 4, а, б) наилучшее отношение сигнал-шум обеспечивается при использовании алгоритма повторения предыдущего пакета, наихудшее – при использовании метода заполнения пропущенного блока нулями, что дает результаты, аналогичные субъективным критериям оценки.

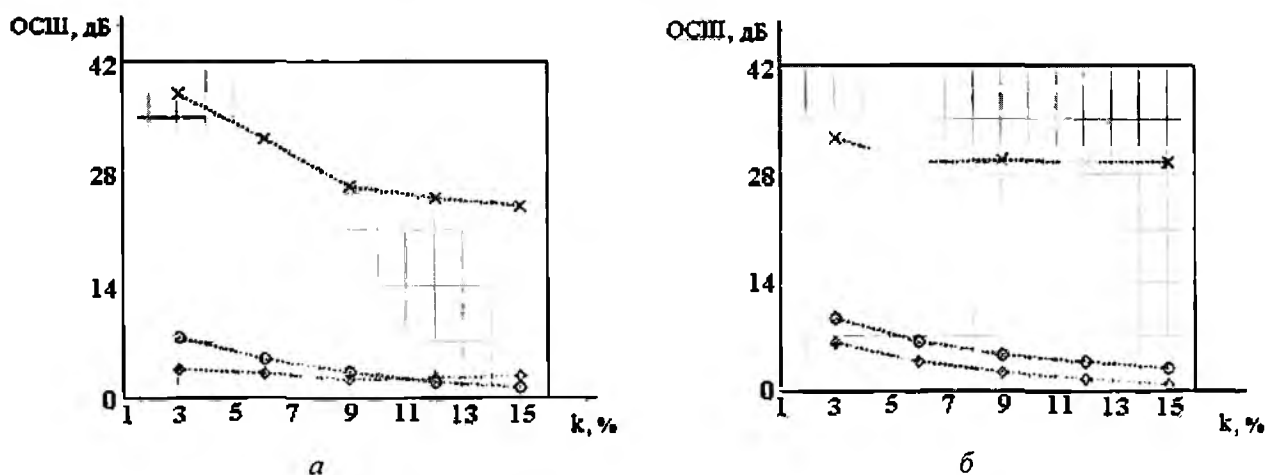


Рис. 4. Зависимость ОСШ от количества потерянных блоков (а – сценарий «компьютер-компьютер», б – сценарий «телефон-телефон»)

На рис. 4 и 5 введены следующие обозначения: \circ , ... – метод заполнения потерянного блока нулями; \times , ... – метод повторения предыдущего блока; \diamond , – метод линейного сглаживания; — – исходный сигнал. На рис. 4 приведены результаты сравнения алгоритмов восстановления по критерию СКО. Анализ рис. 5, а, б показывает, что заполнение потерянного пакета предыдущим блоком практически не нарушает структуры сигнала – давая нулевые отклонения от сигнала эталона. Однако следует отметить, что данная зависимость характерна только для речевых пакетов малой длины (содержащих 1 речевой кадр). Также следует отметить меньшее

влияние на этот критерий шумов телефонных сетей общего пользования, что делает его практически независимым от сценария соединения и, следовательно, более удобным в использовании.

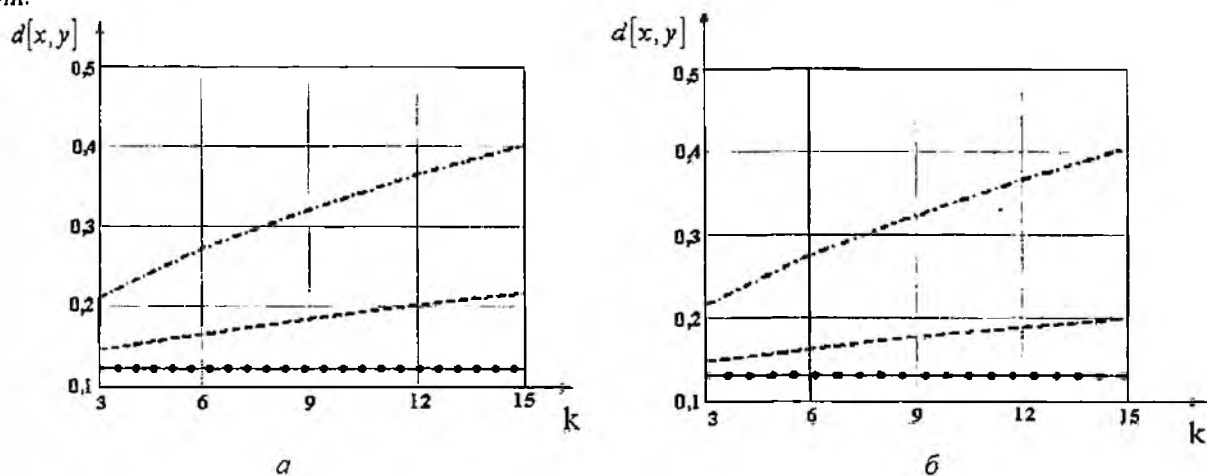


Рис. 5. Зависимость СКО от количества потерянных блоков (а – сценарий «компьютер-компьютер», б – сценарий «телефон-телефон»)

Заключение

Для анализа влияния основных составляющих задержки и методов восстановления языковых пакетов была разработана программная модель сети IP-телефонии, включающая основные преобразования над речевым сигналом и потери пакетов в сети.

Исследована зависимость задержки пакетов от количества кадров в пакете. При небольшом числе кадров задержка минимальна, но сеть загружена служебной информацией. Полученные результаты показывают, что оптимальная длина информационной части пакета должна лежать в диапазоне 300 – 500 байт, в зависимости от кодека.

Полученные зависимости времени задержки при различном числе промежуточных маршрутизаторов от числа речевых кадров в пакете позволяют формировать рекомендации по формированию речевых пакетов с максимальным коэффициентом использования сети и задержкой, не оказывающей существенного влияния на качество речи.

Оценено качество речи при различных алгоритмах заполнения потерянных пакетов. Наилучшее качество среди исследованных алгоритмов показывает метод повторения предыдущего блока. Исследование методов оценки качества речи показали четкое соответствие между широко используемыми субъективными методами (типа MOS) и объективными методами, которые анализируются в данной работе, что показывает возможность применения данных методов для оценки качества речи в IP-телефонии.

Список литературы: 1. Гольдштейн Б. С., Пинчук А. Б., Суховицкий А. Л. IP-телефония. М.: Радио и связь, 2001. 336 с. 2. Шелухин О.И., Лукьянцев Н.Ф. Цифровая обработка и передача речи / Под ред. О.И. Шелухина. М.: Радио и связь, 2000. 456 с. 3. Беллами Дж. Цифровая телефония. М.: Радио и связь, 1986. 482 с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редакцию 18.05.2009