

СПОСОБ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДЖИТТЕР БУФЕРА В VOIP

Предложен способ адаптивного регулирования джиттер буфера в VoIP, учитывающий прогноз будущего состояния сети. Он позволяет поддерживать величину джиттер буфера на минимальном уровне, при котором отсутствует отбрасывание пакетов на приемной стороне, обеспечивая оптимальное соотношение между величиной вносимой задержки джиттер буфером и количеством отбрасываемых пакетов. Экспериментальные результаты показали принципиальную возможность прогнозирования джиттера при передаче голоса в IP сетях.

An adaptive playout buffer to overcome jitter in VoIP is proposed. It based on forecasting of the future network state and allows maintaining the jitter buffer at the minimum level at which packets are not discarded by receiver, providing the optimal ratio between the amount of delay introduced by the jitter buffer and the number of discarded packets. The experimental results showed the fundamental possibility of predicting jitter for voice over IP networks.

1. Введение

Основными факторами, влияющими на качество передачи голоса в IP сетях, являются задержка передачи и процент потери пакетов

[1]. На рисунке 1 показаны контуры качества передачи речи (удовлетворенности пользователя) для кодека G.711 с включенной функцией PLC.

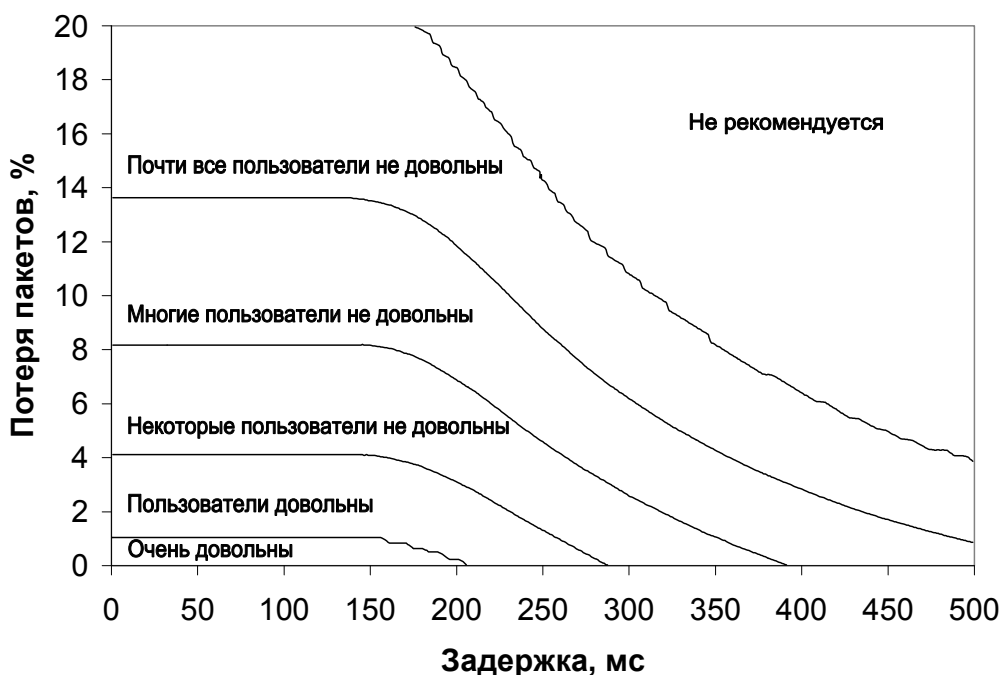


Рис. 1. Контуры качества передачи речи

На рисунке 1 видно, что качество передачи речи уменьшается с увеличением задержки и процента потери пакетов. Необходимо определить составляющие, которые вносят наибольший вклад в задержку и потерю пакетов.

Составляющие задержки при передаче голоса средствами VoIP:

- 1) аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование сигнала;
- 2) кодирование/компрессия и декодирование/декомпрессия;

- 3) оформление блока данных и распаковка блока данных стеком протоколов TCP/IP;
- 4) передача данных в сети;
- 5) джиттер буфер.

Для большинства оконечных устройств, работающих с VoIP, потерями на аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразование, декодирование/декомпрессию и реализацию стека TCP/IP можно пренебречь. Средняя величина задержки, вносимой каждой из оставшихся составляющих VoIP [2, 3], представлена в таблице 1.

Таблица 1

Элемент	Вносимая задержка
Оптический кабель	5 мкс/км
Система наземной мобильной связи	80-110 мс
Кодек G.729 для 20 мс блоков	25 мс
Кодек GSM для 20 мс блоков	20 мс
Сетевое оборудование (L3), суммарное время нахождения в очереди и обработка	2-10 мс на узел
Джиттер буфер	20-60 мс

В соответствии с рекомендациями ITU-T G.114 [2] максимальная задержка при передаче голоса в одну сторону не должна превышать 150 мс. Таким образом, в зависимости от параметров сети, до 40% допустимой задержки может составлять время джиттер буфера. Джиттер буфер компенсирует отклонения значений задержки от среднего значения. Прибывающие пакеты на приемной стороне воспроизводятся не сразу, а с определенной задержкой. Чем больше джиттер, тем больше размер джиттер буфера требуется для компенсации изменения задержек, иначе часть пакетов будет отброшена, если они придут позже времени воспроизведения. При максимальном размере джиттер буфера появляется возможность свести количество отбрасываемых пакетов к минимуму, но при этом увеличивается время задержки. При минимальном размере джиттер буфера время задержки уменьшается, но при этом увеличивается количество отбрасываемых пакетов.

Следовательно, размер джиттер буфера должен меняться во времени по алгоритму, учитывающему текущее состояние сети. И чем динамичнее алгоритм, тем выше качество голоса на приемной стороне. Поэтому возникает задача: разработать алгоритм адаптивного регулирования джиттер буфера, работающий с опережением, то есть учитывающий прогноз будущего состояния сети.

Прогнозирование задержки и связанное с ним регулирование целесообразно проводить на конечных узлах, а не на промежуточных. Это связано с высокими требованиями к вычислительным ресурсам предлагаемого способа, а также высокой нагрузкой промежуточных узлов. При этом не требуется модифика-

ции программного обеспечения промежуточных узлов, то есть коммутаторов и маршрутизаторов. Этот подход имеет также недостатки: у промежуточных узлов больше средств регулирования трафика: приоритезация, алгоритмы управления очередями и др. Также необходимо иметь в виду, что промежуточные узлы ограничены вычислительными ресурсами и временем обработки потоков данных. Чем более интеллектуальные методы управления трафиком используются, тем больше задержки вносит каждый промежуточный узел, тем хуже качество передачи голосовых данных будет обеспечено.

2. Способы адаптивного регулирования размера джиттер буфера в VoIP

Существующие алгоритмы адаптивного регулирования джиттер буфера можно разделить на 3 класса:

1. Реактивные алгоритмы, которые непрерывно оценивают задержку и джиттер пакетов в сети для расчета граничного времени воспроизведения каждого пакета без учета процента потери пакетов. В работе [4] предложено использовать фиксированные весовые коэффициенты для задержки и джиттера пакетов в сети. Расширение этого алгоритма [5], связанное с использованием методики динамического выбора весового коэффициента задержки в сети.

2. Алгоритмы, использующие функцию распределения вероятностей задержек пакетов. Определяют размер джиттер буфера, применяя как функцию распределения измеренных задержек пакетов, так и желаемый процент потери пакетов. В [6] предполагают использование распределения Парето. Альтернативой использованию известных функций распределения стал алгоритм Concord, описанный в [7]. Этот алгоритм использует заданную гистограмму распределения задержки пакетов в качестве основы для расчета требуемой величины буфера для достижения желаемого процента потери пакетов.

3. Алгоритмы, основанные на качестве воспроизведения, определяют размер буфера путем минимизации функции, учитывающей метрики качества [8]. В [9] используется E-модель, которая является стандартным мето-

дом оценки качества речи, предложенная ITU-T [10].

Большинство из указанных алгоритмов работают по факту, то есть размер буфера изменяется после того, как было обнаружено изменение задержки. В настоящей статье предлагается использовать метод прогнозирования изменения задержки на основе сингулярно-спектрального анализа ряда предыдущих значений задержки. Это позволит поддерживать размер джиттер буфера на минимально необходимом уровне для компенсации флуктуаций времени задержки прибывающих пакетов и уменьшить количество отбрасываемых пакетов.

3. Использование сингулярно-спектрального анализа для прогнозирования задержки пакетов в IP сетях

В [11] было показано, что существует корреляция между самоподобием объема сетевого трафика и RTT.

RTT – Round Trip Time – время обращения, то есть время от момента отправки пакета-запроса в сеть до момента получения пакета-ответа из сети, состоит из времени передачи пакета в прямом и времени передачи пакета в обратном направлениях. Эта характеристика часто используется для оценки времени задержки передачи пакета от одного узла сети к другому. В случае равенства времен передачи пакета в прямом и обратном направлениях задержка получается путем деления RTT на 2.

В большинстве случаев эти времена не совпадают по ряду причин:

- 1) разные маршруты следования пакетов в прямом и обратном направлениях;
- 2) разные характеристики каналов в прямом и обратном направлениях;
- 3) разная загрузка каналов в прямом и обратном направлениях;
- 4) комбинация перечисленных выше причин.

RTT пакета состоит из суммы задержек, которые вносятся всеми промежуточными узлами и каналами на пути следования пакета. Задержка передачи пакета в Internet состоит из четырех компонент: время обработки пакета в узле, время нахождения пакета в очереди, время распространения сигнала в кабеле, время передачи пакета. При фиксированном раз-

мере пакета и одинаковых маршрутах следования изменение задержки передачи пакета может быть связано с переменным временем нахождения пакета в очередях к промежуточным узлам. Таким образом, суммарную задержку передачи пакета $T(t)$ можно выразить формулой:

$$T(t) = T_0 + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \quad (1)$$

где: T_0 – постоянная составляющая задержки передачи пакета,

N – количество очередей на маршруте следования,

$Q_i(t)$ – время нахождения пакета в i -ой очереди.

$Q_i(t)$ изменяется пропорционально изменению объема сетевого трафика: при увеличении объема трафика увеличивается время нахождения пакетов в очереди, при уменьшении объема сетевого трафика уменьшается время нахождения пакетов в очереди. В [12] показано, что $Q_i(t)$ ведет себя как процесс с медленно убывающей зависимостью (МУЗ), когда прибытие пакетов к узлу также является процессом с МУЗ, то есть обладает эффектом самоподобия.

Таким образом, можно ожидать, что и задержка передачи пакетов $T(t)$ также обладает эффектом самоподобия. Другими словами временной ряд задержек передачи пакетов имеет свойство долгой памяти, которое дает предпосылки к его прогнозированию с помощью сингулярно-спектрального анализа [13].

4. Прогнозирование джиттера прибывающих пакетов

Предлагаемый способ регулирования джиттер буфера основан на прогнозе значений задержки передачи пакетов. При этом прогноз значений задержки напрямую не учитывается для выбора размера джиттер буфера. Размер джиттер буфера определяется текущим значением джиттера пребывающих пакетов.

Значение джиттера рассчитывается в соответствии с RFC 3550 [14]. Джиттер J_i для i -го пакета определяется по формуле:

$$J_i = J_{i-1} + \frac{|D_{i-1}| - J_{i-1}}{16} \quad (2)$$

где:

D_i – отклонение от ожидаемого времени прибытия i -го пакета.

Отклонение от ожидаемого времени прибытия i -го пакета D_i определяется по формуле:

$$D_i = (R_i - R_{i-1}) - (S_i - S_{i-1}) \quad (3)$$

где:

R – время прибытия пакета в метках времени RTP,

S – временная метка RTP, взятая из пакета.

Поскольку размер джиттер буфера определяется текущим значением джиттера для последнего прибывшего пакета, то для определения следующего размера джиттер буфера необходимо спрогнозировать значения джиттера, а не задержки для следующего пакета. При этом достаточно спрогнозировать значение джиттера на несколько шагов вперед. Долгосрочный прогноз не требуется по нескольким причинам:

1) чем дальше по временной оси от текущего времени точка прогноза, тем меньше точность прогноза;

2) для вычисления длительных прогнозов требуется больше процессорного времени оконечного узла;

3) можно выполнять коррекцию прогноза с учетом текущего значения джиттера.

Таким образом, размер джиттер буфера для следующего пакета прогнозируется с помощью сингулярно-спектрального анализа ряда предыдущих значений джиттера для прибывших пакетов. Глубина анализа ряда определяется степенью его самоподобия. Спрогнозированное значение используется для задержки следующего пакета на величину, достаточную для компенсации флуктуации времени задержки. При этом обеспечивается минимально возможная задержка, вносимая джиттер буфером, при которой отсутствует отбрасывание пакетов на приемном узле.

5. Применение сингулярно-спектрального анализа для прогнозирования значения джиттера пакетов в VoIP

Для проверки предположения о возможности прогнозирования задержки были проведены опыты в условиях мобильной и стационарной сетей.

В первом случае голосовой трафик проходил через IP сеть, в которой один из сегментов был представлен системой наземной мобильной связи стандарта CDMA2000 с технологией передачи данных EV-DO Rev. A.

Во втором случае голосовой трафик проходил через IP сеть, которая состояла только из стационарных наземных сегментов.

На одном из промежуточных узлов была запущена утилита tcpdump, захватывающая и сохраняющая в файл IP пакеты, проходящие через интерфейсы узла. На оконечных узлах с помощью стандартных средств передачи голоса в IP сети был сгенерирован трафик. Файлы с захваченными голосовыми данными переданы для анализа в приложение Wireshark [15]. В Wireshark выделен временной ряд джиттера для всех пакетов каждого потока. С помощью приложения CaterpillarSSA [16] был выполнен прогноз для временного ряда джиттера на 20 точек. Результаты прогнозирования джиттера для двух временных рядов в мобильной и стационарной сети представлены на рисунке 2 и рисунке 3 соответственно.

На рисунке 2 пунктиром показано значение джиттера для пакетов, захваченных в реальной сети, содержащей один мобильный сегмент. Сплошной ломанной показан прогноз джиттера, рассчитанный, начиная со 155 пакета, на 20 пакетов. В расчете учитывались значения джиттера 100 предыдущих пакетов: с 55 по 154. По графикам видно, что реальные значения и прогноз находятся близко друг к другу. Это позволяет сделать вывод о том, что сингулярно-спектральный анализ может использоваться для прогнозирования значения джиттера пакетов в мобильной IP сети.

На рисунке 3 пунктиром показано значение джиттера для пакетов, захваченных в реальной сети, состоящей только из стационарных сегментов. Сплошной ломанной показан прогноз джиттера, рассчитанный, начиная со 190 пакета, на 20 пакетов. В расчете учитывались значения джиттера 100 предыдущих пакетов: с 90 по 189. По графикам видно, что реальные значения и прогноз находятся близко друг к другу. Это позволяет сделать вывод о том, что сингулярно-спектральный анализ может использоваться для прогнозирования значения джиттера пакетов в стационарной IP сети.

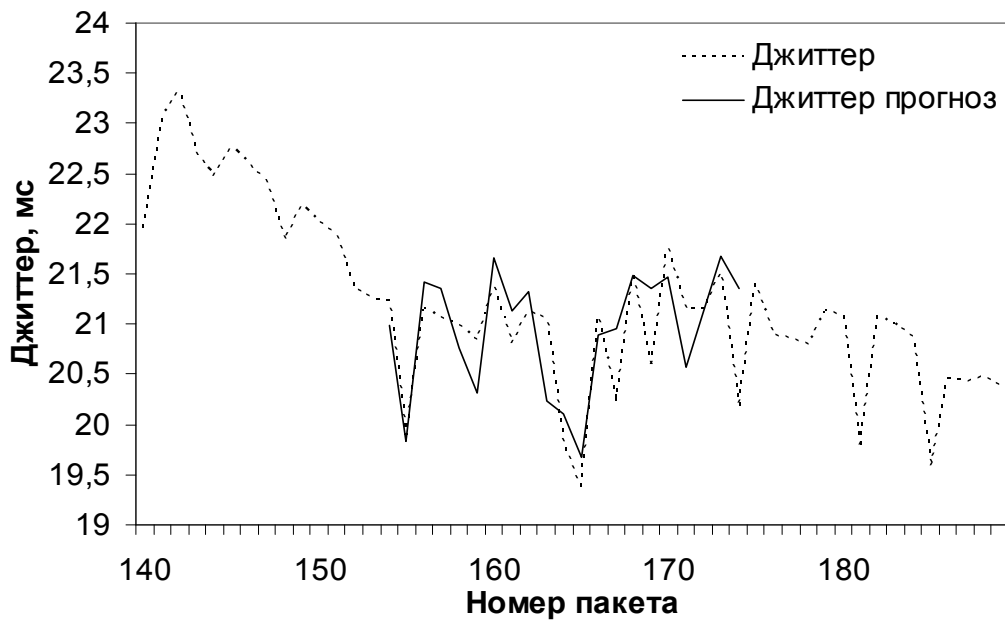


Рис.2. Прогнозирование джиттера в мобильной сети

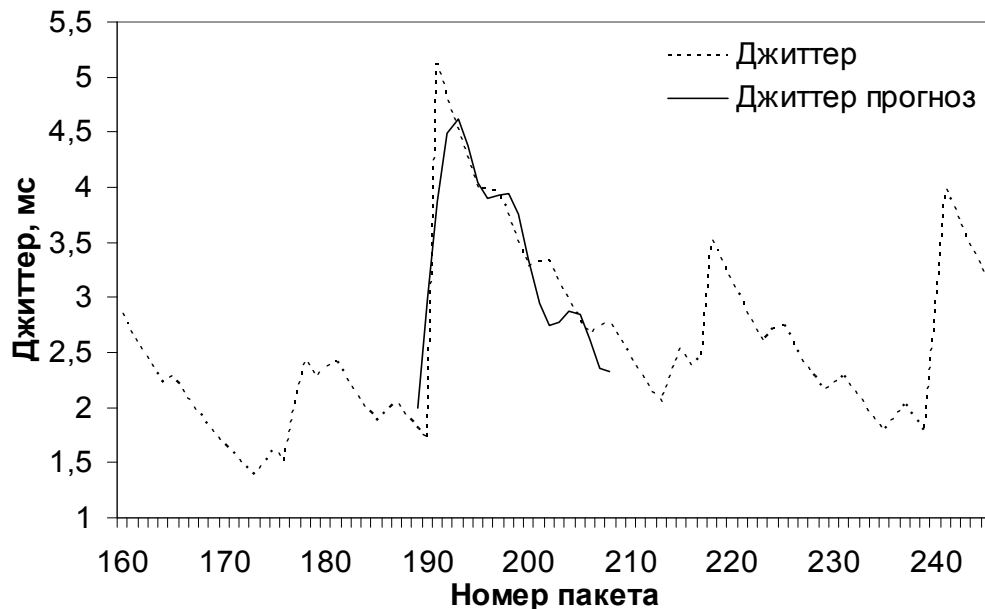


Рис. 3. Прогнозирование джиттера в стационарной сети

6. Заключение

Предложен и обоснован способ адаптивного регулирования джиттер буфера, учитывающий прогноз будущего состояния сети. Он обеспечивает минимальное количество отбрасываемых пакетов при минимальном размере джиттер буфера, а, следовательно, наивысшее качество передачи голоса в IP сети в заданных условиях.

Доказана возможность использования сингулярно-спектрального анализа для прогнозирования задержки и значения джиттера пакетов в IP сетях.

Проведены опыты для стационарной и мобильной сети, подтверждающие практическую возможность прогнозирования джиттера пакетов, а, следовательно и возможность применения предложенного способа в реальных IP сетях.

В качестве дальнейших исследований необходимо провести: выбор начальных параметров для сингулярно-спектрального анализа в зависимости от значений временного ряда задержек входящих пакетов; зависимость усредненной субъективной оценки (MOS) предложенного способа от степени самоподобия временного ряда задержек.

Список литературы

1. Definition of categories of speech transmission quality, ITU-T Recommendation G.109, Jan 2007.
2. One-Way Transmission Time, ITU-T Recommendation G.114, May 2003.
3. Network performance objectives for IP-based services, ITU-T Recommendation Y.1541, May 2002.
4. R. Ramjee, J. Kurose, D. Towsley, H. Schulzrinne, Adaptive playout mechanisms for packetized audio applications in wide-area networks, INFOCOM '94, Networking for Global Communications, 13th Proceedings IEEE, 1994.
5. M. Narbutt, L. Murphy, A new VoIP adaptive playout algorithm, Telecommunications Quality of Services: The Business of Success, QoS 2004, IEEE, 2004.
6. K. Fujimoto, S. Ata, M. Murata, Playout control for streaming applications by statistical delay analysis, Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC), 2001.
7. C. Sreenan, J.-C. Chen, P. Agrawal, B. Narendran, Delay reduction techniques for playout buffering, IEEE Transactions on Multimedia, 2000.
8. K. Fujimoto, S. Ata, M. Murata, Adaptive playout buffer algorithm for enhancing perceived quality of streaming applications, Global Telecommunications Conference, GLOBECOM '02, IEEE, vol. 3, 2002.
9. L. Sun, E. Ifeachor, Prediction of perceived conversational speech quality and effects of playout buffer algorithms, IEEE International Conference on Communications (ICC), vol. 1, 2003.
10. The E-Model, A computational model for use in transmission planning, ITU-T Recommendation G.109, Apr 2009.
11. Tatsuya Hagiwara, Hiroshi Majima, and Takahiro Matsuda, Impact of Round Trip Delay Self-Similarity on TCP Performance. IEEE Conference, Computer Communications and Networks, 2001, 166-171.
12. Qiong Li, David L.Mills. On the long-range dependence of packet round-trip delays in Internet. Proceedings of IEEE ICC'98, v.2. -1998.
13. Соловьев А.Ю. О задаче прогнозирования самоподобных сетевых процессов // II Международная научная конференция «Современные проблемы информатизации в системах моделирования, программирования и телекоммуникациях», 2009.
14. H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson. RFC 3550, RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, July 2003.
15. <http://www.wireshark.org/>
16. <http://www.gistatgroup.com/cat/programs.html>