

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ САМОПОДОБНОГО ТРАФИКА НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ В ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

### Введение

Особенностью современного этапа развития общества является усиление роли информации во всех основных сферах человеческой деятельности. Дальнейшее социальное развитие, безусловно, будет в первую очередь связано с информатизацией. Характерной чертой этого процесса является создание глобальной информационной инфраструктуры, для которой мультисервисные телекоммуникационные сети являются неотъемлемой системообразующей составляющей. Именно от развития телекоммуникационных технологий, от увеличения охвата территории, от обеспечения возможности мобильности абонентов, создания телекоммуникационной сети как единой системы зависит успешность процесса создания глобальной информационной инфраструктуры.

Количество устройств, объединенных телекоммуникационными сетями, непрерывно возрастает. Одновременно с этим увеличивается количество типов устройств, расширяется область применения информационных и телекоммуникационных систем, что приводит к увеличению как объема передаваемой информации, так и ее разнообразию. Одновременно с развитием мультисервисных телекоммуникационных сетей и информационных технологий следует отметить, что речевая коммуникация (телефония) остается одним из наиболее оперативных и востребованных способов непосредственного обмена информацией между людьми.

До последнего времени телекоммуникационные технологии, методы управления трафиком и методы синтеза телекоммуникационных систем развивались на основе использования теории телетрафика, базирующего на применении моделей простейшего потока. Использование этих моделей основывается на гипотезе о независимости процессов происходящих в разных узлах сети и отсутствии корреляции между моментами поступления вызовов и пакетов в сеть. Как показали последние исследования трафика, передаваемого в мультисервисных телекоммуникационных сетях, это предположение во многих случаях является неверным. Причиной этому, как считается, является образование множественных информационных обратных связей в/между элементами сети и большое разнообразие передаваемых видов информации. Для решения этой проблемы предлагается использовать модели самоподобного потока, который более полно описывает процессы протекающие в сети.

Для удовлетворения требований пользователей необходимо обеспечить высокое качество речи. Одним из факторов, влияющих на качество передачи речи по телекоммуникационным сетям является степень самоподобия трафика, что не в полную меру на данный момент является исследованным. Для оценки степени влияния самоподобного трафика на качество речи необходимо рассмотреть причины его возникновения и проанализировать параметры качества передачи в IP-сетях, чему и посвящена данная статья.

### Причины возникновения самоподобия в телекоммуникационных сетях

Современные исследования показывают, что самоподобность в идеализированном окружении (т.е. с неограниченными ресурсами и независимыми источниками трафика) может возникать в результате объединения множества отдельных, хотя и сильно изменчивых ON/OFF источников (где ON- и OFF-периоды имеют распределение с тяжелым хвостом и бесконечные дисперсии, например распределения Парето) [1, 2, 3]. Другими словами, наложение множества ON/OFF-источников, проявляющих синдром бесконечной дисперсии, в результате дает самоподобный объединенный сетевой трафик, стремящийся к фрактальному броуновскому движению. Исследование различных источников трафика показывает, что высокоизменчивое поведение ON/OFF – свойство, присущее архитектуре клиент/сервер [4].

Реальные клиент/серверные сетевые окружения предполагают ограниченность ресурсов. Это означает, что из-за борьбы за ограниченные ресурсы могут возникать нелинейные процессы, и как следствие возникает корреляция между источниками трафика. Кроме того, различные (основанные на обратной связи) механизмы управления, например алгоритм планировщика OS (Operating System), TCP (Transmission Control Protocol), Ethernet, также могут давать дополнительную нелинейность в случае перегрузки.

Сложность понимания причин самоподобности в сетевом трафике заключается в том, что не существует одного причинного фактора, вызывающего самоподобность [5]. Различные корреляции, существующие в самоподобном сетевом трафике, которые воздействуют на различных временных масштабах, могут возникать по различным причинам, проявляя себя в характеристиках относительно конкретного временного масштаба. Это может быть, например, структура информации и поиска (приложений, диска и программы в памяти), «время обдумывания» пользователя и преимущество передач файлов (сеанс/активность), эффекты кэширования, TCP, Ethernet и различные АТМ-механизмы управления (управление доступом, управление перегрузками и т.д.).

Одним из самых важных факторов, воздействующих на характер трафика (на сессию/уровень вызовов, а также во время сессии), является поведение пользователя (человека). Было показано, например, что распределение пользовательских запросов (время обдумывания) и предпочтения для документов в Интернете (WWW-World Wide Web) обладает чрезвычайной степенью флуктуаций в широком диапазоне временных масштабов [6, 7]. Кроме того, существуют различные механизмы управления потоками для различных источников трафика (например, VBR-видео, MPEG-кодированные источники, ABR – Available BitRate, TCP), которые регулируют интенсивность выходного трафика в зависимости от состояния сети, что также дает свой вклад в усиление пульсирующей структуры сетевого трафика [1, 2, 4, 8].

### **Моделирование самоподобного трафика телекоммуникационной сети**

Для оценки степени самоподобия трафика необходимо провести исследование. Для этого может применяться натурный эксперимент, аналитическое моделирование или имитационное моделирование.

Для проведения натурального эксперимента необходим значительный участок телекоммуникационной сети, который в ходе эксперимента будет испытывать нагрузку, близкую к предельно допустимой. Поскольку все телекоммуникационные сети являются коммерческими, то на практике поставить подобный эксперимент представляется невозможным.

Аналитическое моделирование слишком сложное в реализации, что приведет к упрощению модели и, как следствие, к недостоверности результатов.

Имитационное моделирование лишено приведенных выше недостатков, поэтому оно было использовано в данном исследовании.

С целью воспроизведения телекоммуникационной сети с самоподобным трафиком было произведено моделирование в среде NS-2. Для генерации самоподобного трафика использовались 100 источников голосового трафика с постоянной битовой скоростью 64000 *бит/с* и размером пакета 160 *байт*.

Для описания работы речевых источников был выбран генератор трафика Парето, реализованный в системе NS-2. Параметризация генератора производилась на основе анализа экспериментальных данных: средний интервал активности приравнивался к 500 *мс*, а средний интервал тишины – к 1500 *мс*, параметр распределения Парето  $\alpha$  менялся для различных экспериментов в зависимости от фрактальных свойств мультиплексированного потока.

В результате моделирования был получен агрегированный поток, количество принятых пакетов которого в единицу времени (0,1 *с*) показано на рис. 1.

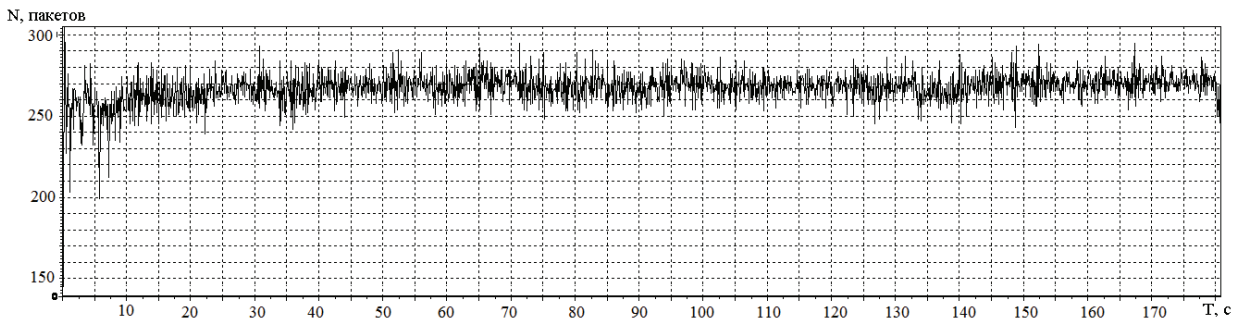


Рис. 1. Количество принятых пакетов в единицу времени, сгенерированных за 180 с

### Определение параметров самоподобия агрегированного потока

Для дальнейшего проведения эксперимента необходимо проверить как факт того, что получаемые реализации потоков обладают свойством самоподобия, так и определить их характеристики в том числе степень самоподобия трафика в сети. На сегодня известны несколько методов оценки самоподобности во временных рядах [9]. Самые популярные методы: анализ R/S-статистики; анализ графика изменения дисперсии; анализ, основанный на специфических свойствах  $S(\omega)$ ; оценка Виттла; анализ, основанный на вейвлет-функциях.

Суть метода анализа R/S-статистики заключается в нахождении среднего выборочного значения высот профиля  $X$  на исследуемой длине  $L$  как

$$X(L) = \frac{1}{L} \sum X(l),$$

Тогда накопившееся отклонение высот профиля  $X(l)$  от среднего значения будет

$$X(l, L) = \sum ((X(l) - X(L))),$$

Выражение для размаха имеет вид

$$R(L) = \max X(l, L) - \min X(l, L),$$

Нормированный размах хорошо описывается степенной зависимостью

$$R/S = N^H,$$

где  $S$  – среднеквадратичное отклонение высот профиля,  $R/S$  – нормированный размах,  $N$  – число наблюдений,  $H$  – показатель Херста.

Если в двойных логарифмических координатах построить зависимость  $R/S$  как функцию от  $N$ , то тангенс угла наклона дает значение показателя Херста  $H$ . Построенный в двойном логарифмическом масштабе график зависимости нормированного размаха от числа наблюдений  $\log(R/S) = F(\log N)$  при большом числе наблюдений хорошо аппроксимируется прямой (рис. 2), следовательно, можно говорить о фрактальности ряда.

Достоинство показателя Херста заключается в том, что по его значению можно судить о степени хаотизации системы в целом.

Если  $H = 0,5$ , события случайны и некоррелированы. Ряд можно классифицировать как произвольный.

Случай  $0,5 < H \leq 1$  указывает на персистентность потока.

Случай  $H < 0,5$  соответствует более высокой хаотичности системы. Для инерционных систем данный показатель недостижим, так как для спектрального разложения данных процессов характерно возрастание интенсивности частотных составляющих с возрастанием частоты, требует бесконечно мощного источника энергии.

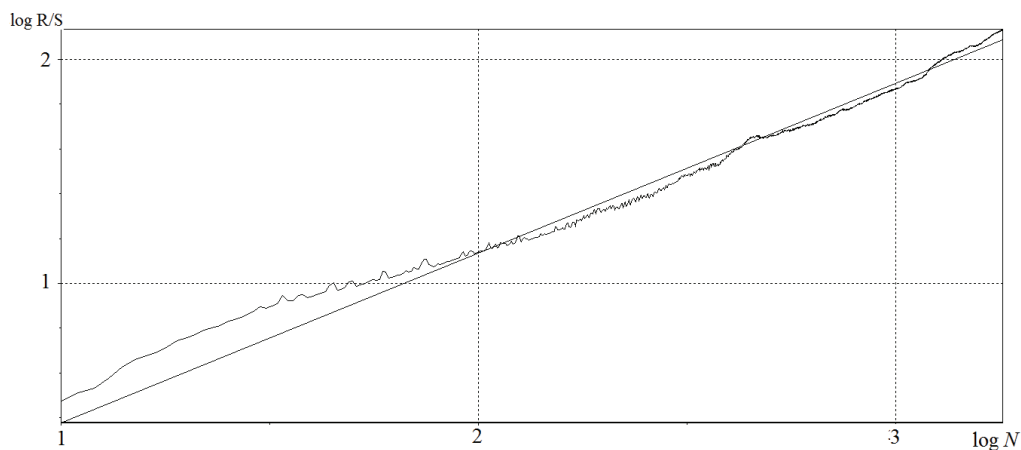


Рис. 2. Определение показателя Херста

### Исследование параметров качества при передаче VoIP-трафика

Для оценки качества речи необходимо оценить основные параметры передачи. В ходе эксперимента была исследована задержка и процент потерянных пакетов.

Результаты исследования производительности системы под воздействием фрактальных свойств мультимплексированного трафика представлены на рис. 3.

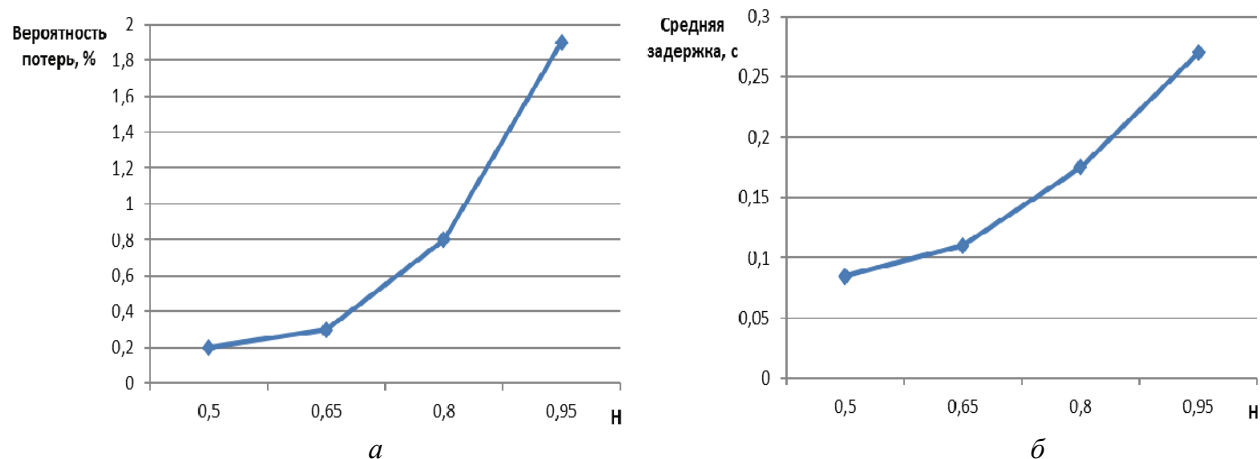


Рис. 3. Оценка влияния показателя Херста: *а* – на процент потерянных пакетов; *б* – среднюю задержку

Из полученных результатов следует, что между вероятностью потерь, а также средней задержкой и показателем Херста существует экспоненциальная зависимость. Вероятность потерь 1,9% имеет существенное влияние при использовании кодека G.711. Согласно рекомендации [10] при показателе Херста 0,8 наблюдается задержка выше приемлемой для голосовой связи.

### Оценка качества речи при полученных результатах

Первичным критерием качества аудио- и видеoinформации является восприятие качества услуги пользователем. Определение качества услуг может базироваться как на субъективных, так и на объективных оценках. Наиболее широко используемая методика субъективной оценки качества описана в Рекомендации МСЭ Р .800 (первоначальная редакция относится к 1993 г.) и известна как методика MOS (Mean Opinion Score). В соответствии с ней качество речи, получаемое при прохождении сигнала от говорящего (источник) через систему связи к слушающему (приемник), оценивается как арифметическое среднее от всех оценок, выставяемых экспертами после прослушивания тестируемого тракта передачи. Хотя

методика MOS, основанная на субъективных оценках, является достаточно надежным инструментом в телефонных сетях, в ней отсутствует возможность количественно учесть влияющие на качество речи факторы .

Для преодоления указанных недостатков в 1998 г. МСЭ принял Рекомендацию G.107 [8], в которой был описан подход к объективной оценке качества услуг в телекоммуникациях. В его основу положена так называемая E-модель, которая открыла новое направление в оценке качества услуг, связанное с измерением характеристик терминалов и сетей. После создания E-модели было проведено большое число испытаний, в которых менялся уровень воздействия искажающих сетевых факторов. Данные этих тестов были использованы в E-модели для вычисления объективных оценок. Результатом вычислений в соответствии с E-моделью является число, называемое R-фактором ("коэффициентом рейтинга"). Значения R-фактора однозначно сопоставляются с оценками MOS

Подставив полученные значения в E-модель, можно определить, как влияет степень самоподобия трафика на показатели качества при использовании различных речевых кодеков.

Ниже приведена зависимость R-фактора от показателя Херста для основных речевых кодеков.

Таблица 1

Зависимость оценки R-фактора от показателя Херста при использовании различных речевых кодеков

Кодек	H=0,5	H=0,65	H=0,8	H=0,95
G.711	88,8	87,3	79,4	58,1
G.711 with PLC	90,1	89,3	84,3	68,3
G.723.1 5.3k	71	70,2	65	48,7
G.723.1 6.3k	74,9	73,9	68,4	51,3
G.726 16k	50,5	49,9	45,8	31,8
G.726 24k	65,3	64,6	60	44,9
G.726 32k	78	77,1	71,8	55,2
G.726 40k	82,9	82	76,6	59,8
G.728 16k	74,1	73,2	68,2	52,1
G.729	79,7	78,7	72,9	55,2
G.729A	78,7	77,6	71,7	53,8

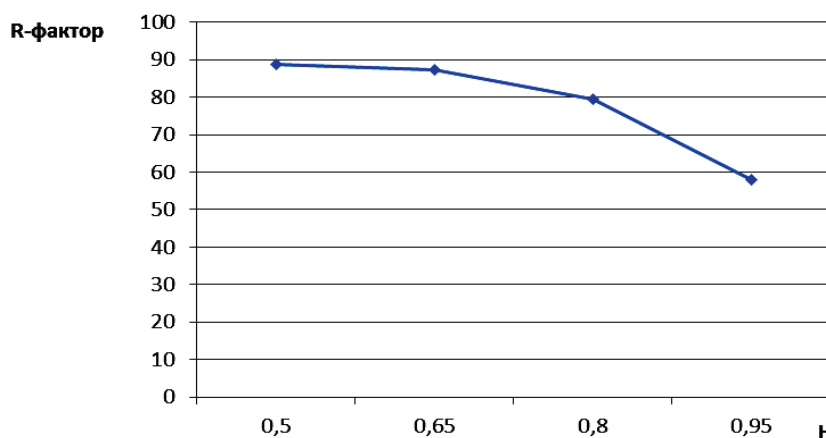


Рис. 4. Зависимость R-фактора от показателя Херста для кодека G.711

## Выводы

В современных телекоммуникационных сетях трафик обладает значительной степенью самоподобия. В результате проведенного моделирования найдено, что в целом самоподобность трафика ухудшает показатели качества обслуживания, что значительно влияет на качество речи. При показателе Херста 0,95 передаваемая речь будет оценена пользователями как неудовлетворительная.

В целом степень самоподобия трафика показала значительное влияние на качество речи. Однако полученные результаты могут незначительно расходиться с результатами, полученными в реальной сети, поскольку в используемой модели были приняты упрощения, которые могут влиять на результат.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при проектировании новых телекоммуникационных систем необходимо учитывать характер трафика и предпринимать меры по обеспечению требуемого качества обслуживания.

**Список литературы:** 1. Шелухин, О.И. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения / О.И. Шелухин, А.В. Осин, С.М. Смольский. Под ред. О.И. Шелухина. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с. 2. Шелухин, О.И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / О.И. Шелухин, А.М. Тенякшев, А.В. Осин ; под ред. О.И. Шелухина. – М. : Радиотехника, 2003. – 480 с. 3. Beran, J. Long-range dependence in variable-bitrate video traffic / J. Beran, R. Sherman, M.S. Taqqu, W. Willinger // IEEE Transactions and Communications. – 1995. – № 43. – P. 1566-1579. 4. Jena, A.K. Resoure Engineering for Internet Applications / A.K. Jena, P. Pruthi, A. Popescu // Proceedings of the 7th IFIP ATM Workshop, Antwerp, Belgium, 1999. 5. Агеев, Д.В. Параметрический синтез мультисервисных телекоммуникационных систем при передаче группового трафика с эффектом самоподобия / Агеев Д.В. // Проблемы телекоммуникаций. – 2013. – № 1 (10). – С. 46 – 65. – Режим доступа: [http://pt.journal.kh.ua/2013/1/1/131\\_ageyev\\_fbm.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2013/1/1/131_ageyev_fbm.pdf). 6. Crovella, M.E. Explaining World Wide Web Traffic Self-Similarity. Technical Report: TR-95-015 / M.E. Crovella, A. Bestavros. – Computer Science Department, Boston University, 1995. 7. Crovella, M.E. Self-similarity in world wide web traffic: evidence and possible causes / M.E. Crovella, A. Bestavros // In Proceedings of the 1996 ACM SIGMET-RICS. International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, 1996. 8. Агеев, Д.В. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия / Д.В. Агеев, А.А. Игнатенко, А.Н. Копылев // Проблемы телекоммуникаций. – 2011. – № 3 (5). – С. 18 – 37. – Режим доступа: [http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113\\_ageyev\\_method.pdf](http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1/113_ageyev_method.pdf). 9. Willinger, W. Self-similarity through high-variability: statistical analysis of Ethernet LAN traffic at the source level / W. Willinger, M.S. Taqqu, R. Sherman, D.V. Wilson // Comp. Commun. Rev. – 1995. – V.25. – P.100-113; Proc. of the ACM/SIGCOMM'95, Boston, Aug. 1995. 10. ITU-T Recommendation G.114.

Харьковский национальный  
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 21.11.2013