

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПЕРЕДАЧИ МУЛЬТИМЕДИЙНОГО ТРАФИКА

Национального авиационного университета

*На этапах разработки и проектирования мультисервисной сети, в условиях реального функционирования и развития, в соответствии с требованиями обеспечения качества обслуживания, надежности и информационной безопасности, возникает задача оценивания широкого класса вероятностно-временных характеристик. Это вызывает необходимость разработки соответствующего моделирующего аппарата для анализа таких сложных систем и управления сетью в реальном масштабе времени.*

### **Введение**

Современные архитектуры интернета не обеспечивают полной гарантии качества. Существует множество адаптивных методов, которые позволяют сделать приложения реального времени более толерантными к вариациям задержек и потерь пакетов. Несмотря на это, проблема качественной передачи мультимедийного трафика в сетях *TCP/IP* остается решенной не до конца [1].

В значительной степени внимание уделяется использованию беспроводной модели сети, на основе стандарта IEEE 802.16. Далее рассматриваются некоторые ключевые параметры, от которых зависит эффективное использование сети *WiMAX*. Сеть *WiMAX* предоставляет наивысшую пропускную способность на сектор с повторным использованием частоты.

В основу технологии *WiMAX* положена сотовая топология передачи информации, где каждая базовая станция (БС) соты должна обеспечивать в рамках соты передачу мультимедийного трафика (ММТ) с заданным качеством обслуживания *QoS*.

Одной из главных особенностей в процессе функционирования сети является управление во время возникновения различных конфликтных ситуаций. К конфликтным ситуациям можно отнести наиболее распространённые: перегрузка сети в целом, что зачастую характерно для передачи мультимедийного трафика в

реальном времени, перегрузка ее отдельных компонентов или сегментов, выход из строя отдельных компонентов сети, нарушение нормального процесса функционирования сети. Последствия таких ситуаций заключаются в полном или частичном отказе функционирования компонент сети, снижении ее производительности в целом и отдельных компонент, нарушении связности сети, в ухудшении качества обслуживания некоторой части абонентов и в искажении или уничтожении информации, предоставляемой им. Поскольку все перечисленные ситуаций приводят к ненадежному функционированию как различных компонент в отдельности, так и всех информационных сетей в целом, необходим их всесторонний, тщательный математический анализ и моделирование на этапах проектирования, разработки, эксплуатации и модернизации.

Основными задачами системы управления сетью являются следующие:

1. Обнаружение нештатных ситуаций определенного типа в течение заданного интервала времени с заданной вероятностью до их фактического появления.

2. При возникновении нештатной ситуации – определение компонентов сети, в которых эта ситуация развилась.

3. Прогнозирование и предотвращение нештатных ситуаций, при их возникновении определение и реализация мер, осуществляющих нейтрализацию

обнаруженной и локализованной нештатной ситуации.

Выработка требуемых управленческих решений должна производиться на основе статистического анализа и прогноза трафика пользовательской загрузки коммуникационного оборудования сети. Реализация функций управления трафиком требует создания обучающейся и адаптирующейся системы с развитым интерфейсом, основанной на системе математического расчёта мультисервис-ных сетей, что обеспечивало бы нахождение в реальном масштабе времени наиболее оптимальных решений [1].

### Математическая модель сети

Задачи анализа и проектирования сетей требуют разработки специализированных программных средств и использования специальных технологий их моделирования. Технология использования инструментальных средств математического моделирования включает в себя следующие этапы [2]:

- анализ исследуемой системы и формулирование задач расчёта повышения производительности сети;
- построение концептуальной модели (КМ), описывающей необходимый набор параметров исследуемой системы;
- основываясь на имеющемся наборе параметров, расчёт данных для повышения производительности сети;

В системе математического моделирования сети, математическая модель описывается в рамках некоторой выбранной концептуальной модели. Концептуальная модель – математический объект, описывающий множество входящих параметров моделируемой системы, ее алгоритмы функционирования, а также цели моделирования - множество исследуемых параметров моделируемой системы, одними из важнейших являются: скорость передачи мультимедийного трафика, время задержек, надёжность передачи. Концептуальной модели ставится в

соответствие программная модель (некоторая структура объектов используемого языка моделирования, которая реализует концептуальную модель в виде программы).

Для оценки вероятностно-временных характеристик передачи видеотрафика предлагается аналитическая модель. Модель цифрового вещания разработана в классе неоднородных замкнутых сетей обслуживания. Такая сеть обслуживания состоит из  $L$  узлов (систем массового обслуживания), по которым циркулирует некоторое количество  $K$  классов разнотипных заявок. Модель содержит  $L = 8 + 4N_A$  систем обслуживания,  $K = 15 N_A$  классов заявок. Направления потоков заявок, соответствующих классов известны, а величина  $N_A$  определяет число абонентов, осуществляющих одновременный прием видеопрограмм. Разработанная модель учитывает перечисленные выше технические, программные и информационные параметры моделируемой системы [3].

Модель позволяет оценить широкий набор вероятностно-временных характеристик процесса цифрового вещания видеопрограмм, а именно:

1.  $\bar{n}_{sv} = \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{c \in C} \bar{n}_{q^{sv}, c}$  - среднее число  $\omega$ -кадров, ожидающих передачу в сервере, где  $i = \overline{1, L}$  - матрица интенсивностей обслуживания требований в сети,  $q^{sv}$  - задержка, которая происходит с кадрами при их передаче от сервера к соответствующей рабочей станции,  $\omega$  - множество всех типов кадров в видеопотоке,  $c = 3 \cdot 10^5$  км/ч – скорость распространения сигнала в линии [1].

2.  $\bar{n}_x = \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{c \in C} \bar{n}_{q^{st}, c}$  - среднее число пакетов, ожидающих передачу в интерфейсе,  $\bar{n}_x$ , где  $q^{st}$  - задержка, которая происходит с кадрами при их

передачи по гигабитному каналу Ethernet [1].

$$3. \bar{n}_{Sw} = \sum_{i=1}^{N_A} \sum_{\omega \in \Omega} \sum_{c \in C} \bar{n}_{q^{Sw}, c} - \text{среднее число}$$

пакетов, ожидающих передачу в коммутаторе  $\bar{n}_{Sw}$ , где  $q^{Sw}$  - задержка, которая происходит с IP-пакетами в коммутаторе во время их передачи от сервера к соответствующей рабочей станции и назад [1].

$$4. \bar{n}_M = \bar{n}_{Sw} + \bar{n}_x + \sum_{i=1}^{N_A} \bar{n}_{T_i} \quad \text{общее}$$

число пакетов, находящихся в совместно используемой памяти коммутатора  $\bar{n}_M$ .

Сеть определяется следующим набором параметров  $S$  [1]:

$$S = \langle L, K, \bar{N}, \Theta, \bar{D}, \mu \rangle,$$

в котором:  $L$  - число систем массового обслуживания в сети  $S$ ;  $K$  - число классов требований в сети  $S$ ;  $\bar{N}$  - начальный вектор числа требований,  $\bar{N} = (\bar{N}_k)$ ,  $k = \overline{1, K}$ ,  $\Theta = (\theta_{i,k,j,l})$ ,  $i, j = \overline{1, L}$ ,  $k, l = \overline{1, K}$  - маршрутная матрица, в которой элемент  $\theta_{i,k,j,l}$  определяет вероятность того, что требования  $k$ -класса переходят из  $i$ -системы в  $j$ -систему и  $l$ -класс;  $\bar{D}$  - вектор дисциплин обслуживания требований в  $i$ -системе обслуживания в сети  $S$ ;  $\mu = (\mu_{i,k})$ ,  $i = \overline{1, L}$ ,  $k = \overline{1, K}$  - матрица интенсивностей обслуживания требований в сети  $S$ , в которой элемент  $\mu_{i,k}$  определяет интенсивность обслуживания требований  $k$ -класса в  $i$ -системе. Значения параметров сети  $S$  - число систем массового обслуживания, число классов заявок, дисциплины обслуживания, интенсивности обслуживания, и не нулевые элементы маршрутной матрицы приводятся ниже. Используются следующие обозначения:  $S_i^\omega$ ,  $i = \overline{1, N_A}$ ,  $\omega \in \{l, P, B\}$  - средний размер MAC-пакета, который содержит  $\omega$ -кадры (бит),  $S_i^\omega = 8(S_i^{\omega} + S^{TCP} + S^{IP} + S^{MAC})$ .

Задачей является получение оценки ряда вероятностно-временных характеристик процесса передачи видеотрафика сети, ниже приведены некоторые из них:

$$t_i = \tau_{q^{Sw}, c_i^\omega, q^{Sw}, c_i^\omega} \quad \text{среднее время}$$

нахождения  $\omega$ -кадров в сети,  $t_i$

$$\tau_i^\omega = \tau_{q^{Sw}, c_i^\omega, q_i^{TP}, c_i^\omega} \quad \text{среднее время}$$

доставки  $\omega$ -кадров из сервера в  $i$ -рабочую станцию,  $i = \overline{1, N_A}$ ,  $\omega \in \Omega$

$$q_i^{TP} - \text{задержка, которая происходит}$$

с сигналом при его передаче по каналу Fast Ethernet от коммутатора до соответствующей базовой станции и назад.

При расчётах оптимальной передачи данных временные характеристики сигнала являются одними из важнейших составляющих. Мощность, полученная от передатчика на расстоянии  $d$ , будет непосредственно воздействовать на полученное отношение сигнала к шуму (SNR) [4]. Желаемый уровень сигнала представляется как принятая мощность  $Pr$  в милливаттах:

$$P_r [mW] = \frac{P_t G_t G_r}{PL(d) M}, \quad (1)$$

имеет смысл если  $d \gg 2D^2 / \lambda$ , где  $P_t$  - передаваемая мощность,  $G_t$  и  $G_r$  являются эффективными коэффициентами усиления антенны передатчика и приемника, величина  $PL(d)$  является потерями в тракте передачи ( $PL$ ) на расстоянии  $d$ ,  $M$  является коэффициентом потерь системы,  $D$  - эффективный размер передающей антенны, а  $\lambda$  является соответствующей длиной волны распространяющегося сигнала (в условиях дальней зоны). Коэффициент усиления антенны равен  $G = 4\pi A_e / \lambda^2$ ; величина  $A_e$  - эффективное раскрытие антенны. Длину  $\lambda$  в метрах можно найти с помощью выражения  $c/f = 3.108/f$ , где  $f$  - частота сигнала. Кроме того,  $Pr$  может быть представлен в dBm модулях как:

$$P_r[dBm] = 10 \log(P_r[mW]) \quad (2)$$

$$= P_t + G_t + G_r - PL(d) - M$$

В модели свободного прохождения сигнала, условием считается беспрепятственное распространение, также существует только один путь зоны прямой видимости (LOS) между передатчиком и приемником (T-R). На беспрепятственном LOS пути между T-R, величина  $PL(d)$  может быть определена как  $(4\pi)^2 d^2 / \lambda^2$ , если мощность измеряется в dBm, то  $PL(d)$  имеет следующий вид  $92.4 + 20 \log(f) + 20 \log(d)$ . Требуемое расстояние между T-R можно представить в виде:

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \sqrt{PL(d)} \lim_{x \rightarrow \infty} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{PL(d)}. \quad (3)$$

Для обозначения в городской среде взаимоотношения между расстоянием и полученной мощностью,  $PL$  модель можно наглядно выразить с помощью измерений параметра  $\sigma$ :

$$PL(d) = PL(d_0) + 10\rho \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma + C_f + C_H \quad (4)$$

Величина  $PL(d_0) = 20 \log(4\pi d_0 / \lambda)$  предназначена для свободно-пространственной потери в тракте передачи, с известным расстоянием  $d_0$  опорного сигнала. (обычно на большом расстоянии от передающей антенны – 1 км для больших городских мобильных систем, 100 м для систем микросоты и 1 м для внутренних систем). Элемент  $X_\sigma$  обозначает случайную нулевую средне-распределенную переменную Гаусса (измеряемую в dB), который отображает изменения в полученной средней мощности.  $\rho$  – является показателем потери в тракте передачи, где  $\rho = 2$  для области свободного распространения и как правило для беспроводных каналов значение выше.

Может измеряться как  $\rho = (a - bH_b + c/H_b)$ , где  $a$ ,  $b$ , и  $c$  – константы для каждой категории местности.  $H_b$  является высотой базовой станции и имеет значение  $10 \leq H_b \leq 80$  м. Термин  $C_f$ , измеренный с помощью  $C_f = 6 \log(f/1900)$ , является основой для фактора частотной

коррекции, он учитывается при дифракционной потере для различных частот. Основываясь на дифракционной потере,  $C_f$  является простым фактором частотной зависимости.  $C_H$  – фактор корректировки высоты антенны приемника, а  $H$  высота антенны приемника.  $C_H = -10.7 \log(H/2)$ , при условии  $2 \leq H \leq 8$  м.

Качество звука или видео на приемнике непосредственно связано с отношением сигнал/шум. Ограничивающим фактором в беспроводной связи является требование принимающей стороны к отношению сигнал/шум:

$$SNR[dB] = P_r[dBm] = N_0[dBm], \quad (5)$$

где  $N_0$  – мощность шума в dBm. Предполагая, что пропускная способность несущей  $B$ ,  $F$  – коэффициент шума приемника,  $r_b/B$  – спектральная эффективность,  $G_c$  – эффективность кодирования.  $SNR$  для кодовой модуляции со скоростью передачи данных  $r_b$  может иметь следующий вид [4]:

$$SNR[dB] = 10 \log\left(\frac{P_r r_b}{N_0 B}\right) - G_c, \quad (6)$$

где:

$$N_0[dBm] = -174[dBm] + 10 \log B + F[dB].$$

Для получения критерия измерений полученного  $SNR$  каждая абонентская станция (АС) использует самую низкую частоту с predetermined мощностью передачи. После получения сообщения от АС, БС вычисляет предполагаемое расстояние между БС и АС согласно полученному  $SNR$ . Предполагая, что для успешного приёма сигнала абонентской станции, БС использует минимальную мощность приёма, чувствительность  $P_{rmin}$ , что соответствует минимально необходимому отношению  $SNR$ , обозначается как  $SNR_{min}$ , каждой АС. Согласно уравнениям (2) и (6) следует выражение [4]:

$$SNR_{min} = P_{rmin} - N_0 \quad (7)$$

$$= P_t + G_t + G_r - PL(d) - M - N_0$$

Заменяя уравнением (4) в уравнение (7):

$$SNR_{min} = P_t + G_t + G_r - 20 \log \left( \frac{4\pi d_0 f}{c} \right) - 10p \log - X_\sigma - C_f - C_{II} - M - N_0 \quad (8)$$

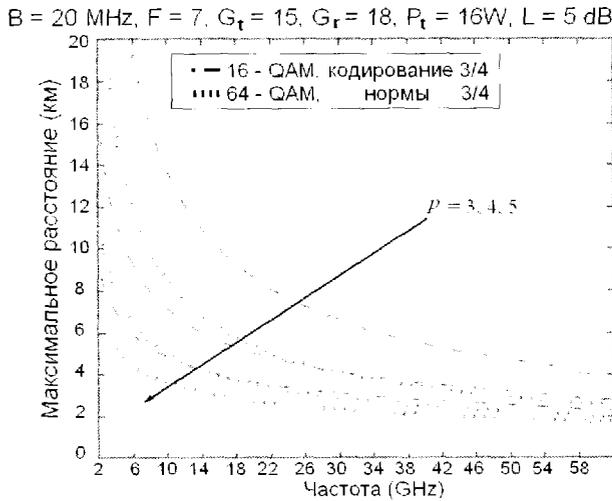


Рис. 1. Максимальное расстояние передачи в сравнении с доменами частоты от 2 до 66GHz с различными схемами модуляции.

Решая уравнения (8) для максимального расстояния передачи  $d$  ( $d_{max}$ ):

$$d_{max} = d_0 \times 10 \exp \left\{ \left[ P_t + G_t + G_r - 20 \log \left( \frac{4\pi d_0 f}{c} \right) - X_\sigma - C_f - C_{II} - M - SNR_{min} - N_0 \right] / 10p \right\} \quad (9)$$

Рис. 1, построенный на основе уравнения (9), отображает отношение частоты и расстояния между двумя антеннами с различными схемами модуляции, когда модуляция равна 16-QAM и 64-QAM и необходимое  $SNR_{min}$  составляет 18.2 децибелов и 22.4 децибела, соответственно.

При параллельном расчёте чувствительности сигнала, отношения сигнала к шуму, мощности передачи и вероятностно-временных характеристик процесса передачи видеотрафика возможно получение максимально

эффективной скорости передачи информации.

### Выводы

В работе реализован расчёт некоторых вероятностно-временных характеристик, а также интенсивности различных кадров, которые входят в различное оборудование связи, задержки передачи различных видеокладов, которые передаются каждому абоненту, частично определены временные характеристики доставки, определяющиеся как интервал между моментом начала формирования сервером IP-пакета, который содержит очередной посылаемый видеоклад, и моментом приема этого пакета рабочей станцией.

При расчётах измерения сигнала получены результаты по желаемому уровню принимаемой мощности сигнала, оптимальное расстояние между передатчиком и приемником, а также минимально необходимое отношение  $SNR$ . Прослежено влияние мощности, полученной от передатчика на определенном расстоянии, на отношение сигнала к шуму.

### Список литературы

1. Величко В.В., Субботин Е.А. Телекоммуникационные системы и сети, мультисервисные сети. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005.
2. Chang X. Network simulation with OPNET // Proc. 1999 Winter Simulation Conf. – P.7-13.
3. Zegura E.W., Calvert K.L. Bhattacharjee S. How to model an Internet work // Proc. Of the INFOVCOM'96 Conf., 1996. – P. 594-602.
4. C. Hoymann, Analysis and performance evaluation of the OFDM-based metropolitan area network IEEE 802.16 // Computer Networks, vol. 49, 2005. – P. 341-363.