
МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELLING

УДК 519.216

Агеев Д. В.¹, Копылев А. Н.²¹Канд. техн. наук, докторант Харьковского национального университета радиозлектроники²Ассистент Запорожского национального технического университета

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ NGN ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

В данной статье предлагаются математические модели информационных потоков и методы определения их характеристик на различных участках мультисервисной сети NGN с целью их использования при проектировании телекоммуникационных сетей.

Ключевые слова: самоподобный процесс, дисперсия, трафик, аппроксимация, агрегирование, фрактал.

ВВЕДЕНИЕ

С учетом мировых и отечественных тенденций развития телекоммуникационных систем, одной из наиболее актуальной проблем отрасли связи Украины является создание мультисервисной сети связи, которая удовлетворяла бы растущему передаваемому трафику и увеличивающемуся перечню телекоммуникационных услуг. Существующие методы, используемые при расчете параметров структурных элементов проектируемой системы, основаны на предположении об аппроксимации Марковской моделью потоков Пуассона и Эрланга, которые широко используются при проектировании сетей с коммутацией пакетов и коммутацией каналов. Перспективная сеть NGN в свою очередь обеспечивает предоставление услуг, которые предусматривают установку соединения и выделения ресурсов на все время существования соединения (что свойственно сетям с коммутацией каналов), а также без выделения ресурсов в индивидуальное пользование (что свойственно се-

тям с коммутацией пакетов). Математические модели и методы, используемые при проектировании мультисервисных телекоммуникационных систем, должны учитывать особенности обоих классов сетей.

С другой стороны, последние многочисленные исследования в области телетрафика показали, что реальный телетрафик, циркулирующий в телекоммуникационных системах, имеет более сложный характер, чем тот, что описывается классическими моделями. Основной причиной специфических свойств трафика, по мнению многих исследователей, является наличие информационных обратных связей и использование протоколов управления потоком. Исследование статистических свойств реального трафика показало наличие «тяжелых хвостов» распределения и долговременных зависимостей. Для описания подобных свойств телетрафика в работах многих исследователей предлагается использовать модели самоподобных процессов.

© Агеев Д. В., Копылев А. Н., 2010

В данной статье предлагаются математические модели информационных потоков и методы определения их характеристик на различных участках мультисервисной сети NGN.

1. ЗАДАЧИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЕТЕЙ NGN

В рекомендациях серии Y (рек. Y.2001 и Y.2011) предложена модель инфокоммуникационной системы, которая включает четыре основных компонента:

- оборудование в помещении абонента, которое может состоять как из одного терминала, так и из нескольких;

- сеть абонентского доступа, которая обеспечивает подключение оборудования, находящегося в помещении пользователя, к транспортной сети;

- транспортную сеть, состоящую из совокупности коммутационных узлов и станций, обеспечивающих коммутацию и прозрачную передачу информации пользователя, а также обеспечивающую выход к средствам поддержки иных инфокоммуникационных услуг;

- уровень управления услугами содержит функции управления логикой услуг и приложений и представляет собой распределенную вычислительную среду, обеспечивающую предоставление инфокоммуникационных услуг, управление услугами, создание и внедрение новых услуг, взаимодействие различных услуг.

Процесс проектирования мультисервисной телекоммуникационной системы, как и любой другой сложной, пространственно разнесенной системы является сложной процедурой. Для упрощения процесса проектирования весь процесс разбивается на отдельные этапы. На каждом из этапов ставится определенная задача из общего перечня решаемых задач проектирования. Использование такого подхода позволяет упростить процесс проектирования за счет того, что задачи разных этапов можно решать максимально независимо друг от друга с использованием результатов одних из них как исходные данные для других.

Одним из этапов проектирования является выбор параметров структурных элементов мультисервисной телекоммуникационной системы. Для решения данной задачи необходимо знать характеристики информационных потоков, циркулирующих в сети. Определение параметров потока в каналах связи обычно производится в процессе проектирования в результате решения задачи распределения потоков. Для решения последней задачи необходимо знать:

- характеристики потоков, поступающих в сеть;
- методику определения характеристик группового потока;

- методику определения параметров потоков в результате агрегирования трафика в узлах сети;

- методику определения характеристик потока в результате обработки в узлах сети.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ САМОПОДОБНОГО ПОТОКА

Как уже указывалось выше, современные исследования показали, что использование моделей самоподобного процесса позволяет более точно описать поведение сетевого трафика. Дадим определения строго и асимптотически самоподобных в широком смысле случайных процессов дискретного аргумента [1].

Пусть $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots)$ – полубесконечный отрезок стационарного в широком смысле случайного процесса дискретного аргумента t . Обозначим через $\bar{\omega} < \infty$ и $\sigma^2 < \infty$ среднее и дисперсию процесса соответственно, а через $r(k) = \frac{\Delta(\xi_{t+k} - \bar{\omega})(\xi_t - \bar{\omega})}{\sigma^2}$, $b(k) = \frac{\Delta}{\sigma^2} r(k)$, $k \in Z_+ = \{0, 1, 2, \dots\}$ автокорреляционную функцию и автоковариацию процесса ξ .

Обозначим через $\xi^{(m)} = (\xi_1^{(m)}, \xi_2^{(m)}, \dots)$ усредненный по блокам длины m процесс ξ , компоненты которого определяются равенством

$$\xi_t^{(m)} = \frac{1}{m}(\xi_{tm-m+1} + \dots + \xi_{tm}), \quad m, t \in N. \quad (1)$$

Обозначим через $r_m(k)$, $b_m(k)$ и $\sigma_m = b_m(0)$ коэффициент корреляции, автоковариацию и дисперсию процесса $\xi^{(m)}$ соответственно.

Определение [1]. Процесс ξ называется *строго самоподобным в широком смысле* (ССШС) с параметром $H = 1 - (\beta/2)$, $0 < \beta < 1$, если

$$r_m(k) = r(k), \quad k \in Z_+, \quad m \in \{2, 3, \dots\}. \quad (2)$$

То есть процесс ξ является ССШС, если процесс $\xi^{(m)}$ неотличим от исходного процесса ξ , как минимум в отношении статистических характеристик второго порядка.

Определение [1]. Процесс ξ называется *асимптотически самоподобным в широком смысле* (АСШС) с параметром $H = 1 - (\beta/2)$, $0 < \beta < 1$, если

$$\lim_{m \rightarrow \infty} r_m(k) = g(k), \quad k \in N, \quad (3)$$

где $g(k) = \frac{1}{2}[(k+1)^{2-\beta} - 2k^{2-\beta} + (k-1)^{2-\beta}]$ – коэффициент корреляции ССШС.

Смысл этого определения состоит в том, что ξ_t^m является АСШС процессом, если после усреднения по блокам длины m и при $m \rightarrow \infty$ он сходится к ССШС процессу.

Самоподобные процессы обладают следующими основными свойствами [2]:

- медленно затухающая дисперсия;
- наличие долговременных зависимостей;
- наличие распределения с тяжелыми хвостами.

Свойство медленно затухающей дисперсии заключается в том, что дисперсия выборочного среднего затухает медленнее, чем величина, обратная размеру выборки, т. е.

$$\sigma^2(\xi_t^{(m)}) \propto m^{(2H-2)}, \quad m \rightarrow \infty, \quad (4)$$

в то время как для традиционных случайных процессов $\sigma^2(\xi_t^{(m)}) = \sigma^2 m^{-1}$, т. е. уменьшается обратно пропорционально объему выборки.

Наличие долговременной зависимости заключается в том, что самоподобный процесс обладает гиперболически затухающей корреляционной функцией

$$r(k) \cong k^{(2H-2)} L(t), \quad k \rightarrow \infty, \quad (5)$$

где $L(t)$ – медленно меняющаяся функция на бесконечности (т. е. $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{L(tx)}{L(t)} = 1$ для всех $x > 0$).

Свойство наличия распределения с тяжелым хвостом заключается в том, что случайная величина ξ имеет *распределение с тяжелым хвостом*, если

$$P[\xi > x] \sim c \cdot x^{-a}, \quad x \rightarrow \infty, \quad (6)$$

где $0 < a < 2$, и называется параметром формы, c – некоторая положительная константа. В отличие от распределений с легкими хвостами, такими как экспоненциальное или гауссовское, которые имеют экспоненциальное убывание хвоста.

Коэффициент Хэрста имеет принципиальное значение в теории самоподобных процессов. Он является индикатором степени самоподобия процесса. Для процессов, обладающих эффектом самоподобия, параметр Хэрста $0,5 < H < 1$.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

В существующих постановках задачи параметрического синтеза телекоммуникационных систем для описания информационных потоков, поступающих в сеть, обычно используется матрица требований передачи информации между конечными узлами сети. Однако при реализации инфокоммуникационной услуги абонент сети взаимодействует с некоторым множеством узлов управления услугой на разных

уровнях семиуровневой модели ВОС, что не учитывается данным способом описания поступающего в сеть трафика.

В данной статье для задания параметров трафика, поступающего в сеть при реализации инфокоммуникационной услуги, предлагается использовать описание с использованием моделей ON-OFF источников [3]. Согласно данной модели источник информации описывается с помощью трехуровневой модели (рис. 1):

– уровень соединения. Моделирует поведение абонента при переходе в активное состояние работы с сетью (например, установка соединения с модемным пулом интернет-провайдера);

– уровень сеанса. Моделирует активность прикладной задачи в процессе работы с сетью (например, обмен транзакциями с сервером или загрузка web-страницы);

– уровень пакетов. Это нижний уровень модели, который моделирует занятость канала связи в результате передачи пакета данных.

На каждом уровне модели поведение моделируемого объекта описывается с помощью FSM (Finite state machine), которая имеет два состояния: активное и пассивное. При этом в активном состоянии происходит передача информации, в пассивном состоянии обмен информацией не происходит или обмен идет с некоторой минимальной скоростью (обмен служебной информацией для управления сетевым соединением на соответствующем уровне). Параметрически поведение модели на каждом уровне определяется двумя случайными величинами – временем между переходами в активное состояние и длительностью активного состояния.

Характеристики трафика (обычно описываемые математическим ожиданием и дисперсией скорости передачи информации) на каждом уровне определяются рекурсивно через характеристики низлежащего уровня.

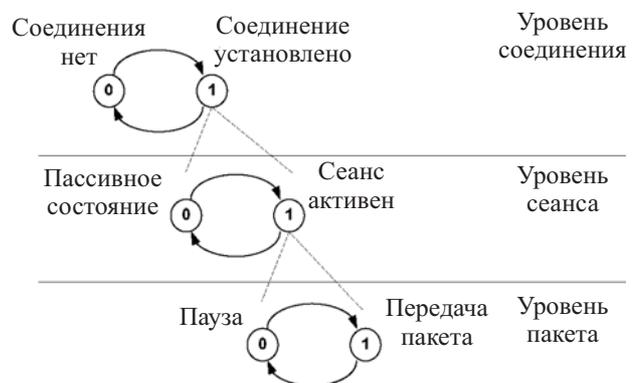


Рис. 1. Модель источника трафика

Скорость передачи информации на уровне соединения и ее стандартное отклонение σ_c определяется с учетом вероятности нахождения в пассивном P_0 и активном P_1 состоянии и скорости передачи информации в соответствующем состоянии. Расчет первых двух моментов для каждой статистической характеристики производится с учетом корректирующего коэффициента $\gamma = 2 \dots 3$. В табл. 1 приведена математическая модель, используемая для определения статистических характеристик телетрафика.

Таблица 1. Математическая модель трехуровневого источника

Уровень соединения	$\bar{V}_c = P_{0c} V_{\min} + P_{1c} V_s;$ $\sigma_c = \sqrt{m_c - \bar{V}_c^2};$ $m_c = P_{0c} (V_{\min})^2 + P_{1c} (V_s)^2;$ $V_c = \bar{V}_c + \sigma_c \gamma_c$
Уровень сеанса	$\bar{V}_s = P_{0s} V_{\min} + P_{1s} V_p;$ $\sigma_s = \sqrt{m_s - \bar{V}_s^2};$ $m_s = P_{0s} (V_{\min})^2 + P_{1s} (V_p)^2;$ $V_s = \bar{V}_s + \sigma_s \gamma_s$
Пакетный уровень	$\bar{V}_p = P_{0p} V_{\min} + P_{1p} V_{\max};$ $\sigma_p = \sqrt{m_p - \bar{V}_p^2};$ $m_p = P_{0p} (V_{\min})^2 + P_{1p} (V_{\max})^2;$ $V_p = \bar{V}_p + \sigma_p \gamma_p$

Приведенная выше модель описывает поведение одиночного источника и не отображает поведение трафика, возникающего в результате агрегирования информационных потоков от нескольких источников.

С использованием статистической аппроксимации [4], эквивалентную пропускную способность для передачи агрегированного информационного потока можно определить как

$$C = \min \left\{ \sum_{i=1}^N v_i + u \sqrt{\sum_{i=1}^N \sigma_i^2}, \sum_{i=1}^N V_i \right\} = \min \left\{ \sum_{i=1}^N v_i + u \sqrt{\sum_{i=1}^N v_i (V_i - v_i)}, \sum_{i=1}^N V_i \right\}, \quad (7)$$

где v_i – средняя скорость передачи i -го источника; σ_i – дисперсия скорости передачи i -го источника; V_i – максимальная скорость передачи i -го источника; u – нормирующий коэффициент, зависящий от допустимой ошибки ϵ :

$$u = \sqrt{-2 \ln(\epsilon) - \ln(2\pi)}. \quad (8)$$

Другой результат можно получить, используя биномиальное распределение. В данном случае каждый источник создает трафик v_0 , бит/с (в активном состоянии) и в случае постоянной скорости передачи суммарный трафик равен $N \cdot v_0$. С учетом наличия периодов неактивности эквивалентная пропускная способность $C = n \cdot v_0$, где n – эквивалентное число активных источников с постоянной скоростью передачи. Вероятность того, что k источников из N активно, можно определить, используя биномиальное распределение:

$$P(k) = C_{Np}^k (1 - p_{on})^{N-k}, \quad (9)$$

где p_{on} – вероятность того, что источник находится в активном состоянии.

Среднее количество активных источников $M[k] = N \cdot p_{on}$ и средняя скорость поступления информационного потока, создаваемого N источниками:

$$M[v] = N \cdot p_{on} \cdot v_0. \quad (10)$$

При превышении поступающим потоком величины пропускной способности узла, на котором происходит агрегирование, возникают потери. Для учета этого вводится корректирующий коэффициент $\gamma(P_B, p_{on}, N)$, зависящий от вероятности потери, вероятности активности и количества источников.

Значение пропускной способности для N агрегированных источников, бит/с:

$$C = M[v] + \gamma(P_B, p_{on}, N) \cdot \sigma(v) = \left(N \cdot p + \gamma(P_B, p_{on}, N) \cdot \sqrt{N \cdot p_{on} \cdot (1 - p_{on})} \right) \cdot v_0. \quad (11)$$

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО ПОТОКА

Приведенные выше выражения позволяют найти статистические характеристики информационных потоков, поступающих на вход сети от группы абонентов. В процессе проектирования при решении задач параметрического синтеза необходимо знать характеристики групповых потоков, передаваемых по каналам связи.

В работе [5] автор приходит к выводу, что для сетей без установки соединения, где передается групповой поток от большого количества источников, в качестве модели потока можно использовать модель фрактального броуновского движения. Согласно данной модели, трафик можно описать следующим образом. Введем процесс A_t , описывающий количество информации (бит), переданное в течение временного интервала $[0, t)$:

$$A_t = vt + \sqrt{av} Z_t, \quad t \in (-\infty, \infty), \quad (12)$$

где Z_t – нормированное фрактальное Броуновское движение с параметром Хэрста H . Процесс описыва-

ется тремя параметрами: v – средняя интенсивность поступления информации, a – коэффициент разброса, H – параметр Хэрста.

Приняв $H = 0,5$, получим результаты, совпадающие с ранее известными в теории телетрафика для простейшего потока. Коэффициент разброса в этом случае равен единице ($a = 1$).

5. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АГРЕГИРОВАННОГО ПОТОКА

В процессе передачи информационных потоков через сеть они претерпевают обработку в узлах сети. При использовании в качестве модели группового потока математической модели фрактального броуновского движения интересующими параметрами являются v , a и H .

В работе [6] было проведено исследование и установлено:

– при объединении в узле двух потоков с долговременной зависимостью с параметрами Хэрста H_1 и H_2 результирующий поток обладает долговременной зависимостью с параметром $H = \max(H_1, H_2)$;

– при объединении потока с долговременной зависимостью с параметром Хэрста H_1 и потока с кратковременной зависимостью результирующий поток обладает долговременной зависимостью с параметром $H = H_1$;

– при обработке в узле параметр Хэрста потока не изменяется.

Учитывая приведенные результаты и приняв для потока с кратковременной зависимостью значения параметров $H = 0,5$ и $a = 1$, можно задать следующие правила суммирования самоподобных потоков [7].

Таблица 2. Статистические характеристики агрегированного группового потока

Поток 1	Поток 2	Результирующий поток
H_1	H_2	$H = \max(H_1, H_2)$
$v; a; H$	$v; a; H$	$2v; a; H$
$v_1; a_1; H$	$v_2; a_2; H$	$v_1 + v_2; \frac{v_1 a_1 + v_2 a_2}{v_1 + v_2}; H$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При решении задач параметрического синтеза мультисервисной телекоммуникационной сети NGN в качестве математической модели информационных потоков предлагается использовать модели самоподобных процессов.

Использование в качестве модели источника информационного потока модели трехуровневого ON-OFF источника позволяет учесть взаимодействие элементов

телекоммуникационной системы на различных уровнях модели ВОС. Приведены выражения, позволяющие определить статистические характеристики информационного потока, создаваемого пользователем на разных уровнях модели ВОС, а также характеристики потока, создаваемого группой абонентов.

В качестве модели группового потока, передаваемого в магистральных каналах телекоммуникационной системы, предлагается использовать модель фрактального Броуновского движения. Определены правила суммирования групповых потоков в узлах сети. Полученные выражения могут быть использованы при решении задачи распределения потоков с использованием моделей самоподобных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыбаков Б. С. Модель телетрафика на основе самоподобного случайного процесса / Б. С. Цыбаков // Радиотехника. – 1999. – № 5. – С. 24–31.
2. Шелухин О. И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях / О. И. Шелухин, А. М. Тенякшев, А. В. Осин. – М.: Радиотехника, 2003. – 480 с.
3. Garcia A. E. Approximation to a Behavioral Model for Estimating Traffic Aggregation Scenarios // Journal of Universal Computer Science. – 2008. – Vol. 14, No. 5. – P. 731–744.
4. Wang S. Video Multiplexing with QoS Constraints / S. Wang, H. Zheng, J. A. Copeland // IEEE SPIE Conference on Internet Routing and QoS. – 1998. – P. 81–91.
5. Norros I. On the Use of Fractional Brownian Motion in the Theory of Connectionless Networks / I. Norros // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 1995. – No. 6. – P. 953–962.
6. Ng J. Statistical Delay Analysis on an ATM Switch with Self-similar Input Traffic / J. Ng, S. Song, W. Zhao // Information Processing Letters. North-Holland. – 2000. – Vol. 74. – P. 163–173.
7. Patel A. Statistical Multiplexing of Self-Similar Traffic: Theoretical and Simulation Results / A. Patel, C. Williamson // Department of Computer Science. Saskatchewan. – 1997. – P. 120–128.

Надійшла 02.12.2009
Після доробки 17.03.2010

Агеев Д. В., Копильов А. М.

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ У МУЛЬТИСЕРВІСНІЙ МЕРЕЖІ NGN ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ

У даній статті пропонуються математичні моделі інформаційних потоків і методи визначення їх характеристик на різних ділянках мультисервісної мережі NGN з метою їх використання при проектуванні телекомунікаційних систем.

Ключові слова: самоподібний процес, дисперсія, трафік, апроксимація, агрегація, фрактал.

Ageyev D. V., Kopyliev A. N.

INFORMATION STREAMS MODELING IN MULTISERVICE NETWORK NGN FOR PARAMETRICAL SYNTHESIS PROBLEM SOLVING

The authors propose mathematical models of information streams and methods of their characteristics definition at various sites of multiservice network NGN for the purpose of their usage when designing telecommunication networks.

Key words: self-similar process, dispersion, traffic, approximation, aggregation, fractal.