Литература

1. Самарский, А. А. Математическое моделирование [Текст] / Самарский А.А., Михайлов А.П. // Идеи. Методы. Примеры. – М: Наука, 1997. – 320 с.
2. Емельянов, В.В. Теория и практика эволюционного модлирования [Текст] / Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. – М: Физматлит, 2003. – 432 с.
3. Снитюк, В. Є. Еволюційні технології прийняття рішень в умовах невизначеності [Текст] / Снитюк В.Є. - Київ, 2009. – 305 с.
4. Bedau, M. A. Artificial Life: organization, adaptation and complexity from the bottom up [Текст] / Bedau M. A. // Trends in cognitive science. 2003. – Vol. 7, № 11. – P. 505-512.
5. Василенко, В. О. Антикризове управління підприємством [Текст] / Василенко В.О. // Навчальний посібник Видання 2-ге, виправлене та доповнене. – Київ: ЦУЛ, 2005. – 501 с.
6. Barro, Robert J. (1989). "New Classicals and Keynesians, or the Good Guys and the Bad Guys". Swiss Journal of Economics and Statistics 125 (3): p.263–273.
7. Kirman, Alan P. (1992). "Whom or What does the Representative Individual Represent?". Journal of Economic Perspectives 6 (2): p.117–136.
8. Шевченко О.О. Історія економіки та економічної думки: сучасні економічні теорії: Навчальний посібник [Текст] / Шевченко О.О. // К.: Центр учбової літератури, 2012. - 280 с.
9. Вітлінський, В. В. Моделювання економіки [Текст] / Вітлінський В. В. // Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2003. – 408 с.
10. Мошек, Г.Є. Менеджмент підприємства [Текст] / Мошек Г.Є. // Підручник. – К.: КНТЕУ, 2002. – 371 с.

УДК 621.391

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕРАЗВЕТВЛЕННЫХ ПОТОКОВ С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА САМОПОДОБИЯ

Д. В. Агеев
Доктор технических наук, доцент
Кафедра телекоммуникационных систем
Харьковский национальный университет радиоэлектроники
пр. Ленина, 16, г. Харьков, Украина, 61166
E-mail: dm@ageyev.in.ua

У статті запропоновано метод, який дозволяє знайти оптимальний розподіл потоків у мережі для випадку нерозгалужених потоків. Цій метод є модифікацією раніше відомого методу, новизною якого є врахування ефекту самоподібності, що є властивим для сучасному трафіку в мультісервісних телекомунікаційних мережах. Метод може застосовуватися при проектуванні на стадії параметричного синтезу для знаходження оптимального розподілу потоків в мережі

Ключові слова: потік, розподіл, ефект самоподібності, параметр Херста, відхилення потоку, мережа, затримка

В статье предлагается метод, позволяющий найти оптимальное распределение потоков в сети для случая неразветвленных потоков. Даний метод является модификацией ранее известного метода, новизной которого является учет эффекта самоподобия свойственного современному трафику в мультисервисных телекоммуникационных сетях. Предлагаемый метод может использоваться при проектировании на стадии параметрического синтеза для нахождения оптимального распределения потоков в сети

Ключевые слова: поток, распределение, эффект самоподобия, параметр Херста, отклонение потока, сеть, задержка

1. Введение

Одним из этапов проектирования мультисервисных телекоммуникационных систем является выбор маршрутов передачи информационных потоков с учетом их величин. Данная задача известна как задача распределения потоков. Используемые в настоящее время методы базируются на применении классических математических моделей потоков, которые хорошо себя зарекомендовали при проектировании сетей с коммутацией каналов. Современные исследования трафика, передаваемого в телекоммуникационных системах [1-2], показывают, что его статистические характеристики отличаются от тех, которые приняты в классической теории телетрафика. Это приводит к тому, что использование традиционных методов расчета, основанных на пуассоновских моделях, дает неоправданно оптимистические результаты, приводящие к недооценке нагрузки.

Свойства информационных потоков в мультисервисных телекоммуникационных системах более точнее описываются моделями самоподобных процессов (самоподобных потоков).

При решении задач синтеза во многих случаях недостаточно ограничиться линейными моделями, например, потоковой моделью, которые не учитывают нелинейный характер зависимости качества обслуживания потоков от их интенсивности. В этом случае необходимо установить связь в виде аналитических выражений между параметрами передаваемых потоков и параметрами качества обслуживания.

Среди публикаций в направлении исследования самоподобных потоков существует большая нехватка в исследованиях, которые посвящены задачам синтеза телекомуникационных систем с обеспечением общесистемных параметров качества обслуживания, базирующихся на использовании моделей самоподобных процессов. В данной статье, базируясь на известных ранее исследованиях самоподобных потоков предложена модификация известного ранее метода распределения неразветвленных потоков.

2. Анализ публикаций по теме решаемой задачи

Целый ряд научных публикаций посвящен исследованию степени влияния самоподобных информационных потоков на качество обслуживания в узлах сети, их статистических характеристик обоснованию выбора математических моделей потоков. Существует целая группа работ посвященая исследованию качественных характеристик обслуживания с применением аналитических моделей. Так в работе [3] на основе анализа большого числа работ по исследованию трафика в IP сетях приведена классификация трафика, и каждому виду трафика сопостав-лен закон распределения. В работе утверждается, что наиболее широко применяются три вида распределений: Парето, Вейбулла и логонормальное.

В работе [4, 5], используя модель фрактального броуновского движения в качестве модели самоподобного процесса, получено выражение для вероятности превышения длины очереди заданной пороговой величины для обслуживающих устройств с бесконечным объемом буфера.

Используя результаты работы [5], в диссертационной работе [6] получено выражение для среднего времени задержки сообщения в узле и среднее время задержки сообщения в сети. Данные выражения использовались в работе [6] для проверки выполнения ограничения на максимально допустимую среднесетевую задержку сообщения в сети при решении задачи параметрического синтеза для случая передачи в сети потоков с параметром Херста, равном H=0,8.

Особого внимания заслуживает тот факт, что при агрегировании потоков от нескольких источников, в случае, если хотя бы один из них обладает свойствами самоподобия, свойствами самоподобия будет обладать и результирующий суммарный поток [7]. Объединение потоков от источников, генерирующих трафик, описываемый процессом с бесконечной дисперсией, приводит к самоподобному сетевому трафику, который стремится к трафику, описываемому моделью фрактального броуновского движения. Самоподобие также сохраняется при объединении потоков и от однородных и от разнородных источников трафика.

Систематизации полученных ранее результатов посвящена работа [9] в которй описан перечень задач, возникающих при параметрическом синтезе мультисервисных телекоммуникационных сетей, выбраны математические модели самоподобных потоков и предложен метод определения их параметров на разных участках сети

3. Математическая постановка задачи

Телекоммуникационная система, для которой необходимо решить задачу распределения потоков, представляет собой сеть с коммутацией пакетов. Известно первоначальное распределение потоков в сети.

При решении задачи будем использовать модель информационных потоков в сети, представленную в виде самоподобных процессов.

Приведем математическую постановку решаемой задачи. Задано:

$\Gamma^M = (V^M, E^M)$ - граф сети;

$M = \{\mu_k\}$ - множество потоков, протекающих в сети, описываемые как $\mu_k = \left(v_k^S, v_k^D, (\gamma_k, \vartheta_k, H_k)\right)$, где v_k^S и v_k^S - вершины источник и получатель соответственно, а $(\gamma_k, \vartheta_k, H_k)$ - набор параметров характеризующий протекающий самоподобный поток;

$\Pi^0 = \{\pi_k^o\}$ - пути передачи для каждого потока $\mu_k \in M$ в графе сети;

$f^0 = \left\{\left(\mu_k, \pi_k^0\right)\right\}$ - исходное распределение потоков в графе Γ^M.

При решении задачи остановимся на случае неразветленных потоков, то есть потоков, для которых существует лишь один путь их передачи и весь поток передается целиком по данному пути. В этом случае математически потоковую модель можно записать в следующем виде.

Задана топология телекоммуникационной сети описанная в виде графа Γ^M, где ребра исходного графа заменены на пару встречно ориентированных дуг:

$$e_{st}^M \Rightarrow \{\vec{e}_{st}^M, \vec{e}_{ts}^M\}, \quad \forall e_{st}^M \in E^M. \tag{1}$$

Введем обозначения:

x_{st}^k - переменная, отображающая протекает ли поток $\mu_k \in M$ по дуге $\vec{e}_{st}^M$;

$f_{st} = (\gamma_{st}, \vartheta_{st}, H_{st})$ - результирующий суммарный поток в дуге $\vec{e}_{st}^M$, где $\gamma_{st}, \vartheta_{st}, H_{st}$ - его параметры (интенсивность, бит/с; средняя длина пакета и параметр Херста соответственно).

Потоки передаваемые в дугах графа Γ^M обладают следующими свойствами:

$$\sum_t x_{st}^k - \sum_t x_{ts}^k = \begin{cases} 1, & z_s^M \equiv z_k^S; \\ 0, & z_s^M \in Z^M \setminus \{z_k^S, z_k^D\}; \quad \forall v_s^M \in V^M, \forall \mu_k \in M; \\ -1, & z_s^M \equiv z_k^D, \end{cases} \quad (2)$$

Среднее время задержки пакета в сети можно определить из выражения:

$$T = \frac{1}{\Lambda} \sum_{\vec{e}_{st}^M \in E^M} \left[\frac{\gamma_{st}}{c_{st}} \left(1 + \frac{\gamma_{st}^{\frac{2H_{st}-1}{2-2H_{st}}} \cdot c_{st}^{\frac{1}{2-2H_{st}}}}{\left(c_{st} - \gamma_{st}\right)^{H_{st}/(1-H_{st})}} \right) \right]; \quad (3)$$

$$\Lambda = \sum_{\mu_k \in M} \left(\gamma_k / \vartheta_k \right). \quad (4)$$

В результате решения оптимизационной задачи необходимо такое распределение потоков $f = \left\{\left(\mu_k, \pi'_k\right)\right\}$, определяемое переменными x_{st}^k, чтобы среднее время задержки пакета в сети $T\left(\Gamma^M, c\left(\vec{e}_{st}^M\right), M, \{x_{st}^k\}\right)$ было минимальными.

4. Метода решения задачи

Предлагаемый нами метод решения поставленной задачи базируется на ранее известном методе распределения потоков, основанного на использовании классической модели простейшего потока. В связи с этим этот метод нуждается в доработке в направлении учета самоподобных свойств современного трафика.

Обоснуем возможность применения для решения поставленной задачи метода распределения потоков для неразветленных потоков.

Поток называется неразветвленным, если поток от каждого требования, т.е. трафик $\mu_k \in M$ передается только по одному пути $\pi'_k \in \Pi$. В случае, если все потоки, передаваемые в сети является неразветвленными то приводит к тому, что существует конечное множество допустимых маршрутов передачи и следовательно распределений потоков.

Для больших и сбалансированных сетей можно успешно применять модификацию метода отклонения потока [10].

Сеть называется большой, если имеет большое число узлов, и называется сбалансированной, если интенсивности потоков $\gamma(\mu_k)$ не слишком отличаются друг от друга.

Условие сбалансированности сети математически можно записать следующим образом. Для этого введем дополнительные обозначения:

$\overline{\gamma}$ - среднее значение интенсивности потока в сети IP/MPLS, передаваемого между взаимодействующими узлами LSR:

$$\overline{\gamma} \overset{\Delta}{=} \frac{1}{K} \sum_k \gamma(\mu_k), \quad K = |M|. \quad (5)$$

$\overline{\gamma}^m$ - отношение между максимальным и средним значением интенсивности потока в сети между взаимодействующими узлами LSR:

$$\gamma^m = \max_{\mu_k \in M} \left(\gamma(\mu_k) / \overline{\gamma} \right). \quad (6)$$

При этом $\overline{\gamma}^m \geq 1$. Сеть называется сбалансированной, если $\overline{\gamma}^m \approx 1$.

Эти два определения можно объединить в понятие большой и сбалансированной сети следующим образом. Введем коэффициент η:

$$\eta = \frac{\overline{\chi} \gamma^m}{(\upsilon - 1)\overline{\pi}} = \frac{\chi \gamma^m}{\upsilon(\upsilon)\overline{\pi}}, \quad \upsilon = \left|V^M\right|. \quad (7)$$

где υ - число вершин графа;

χ - число дуг графа;

$\overline{\chi} = \chi / \upsilon$ - среднее количество дуг на одну вершину графа;

$\overline{\pi}$ - средняя длина пути в графе при условии, что все требования передаются по кратчайшим путям (под длиной пути понимаем число дуг в пути):

$$\overline{\pi} = \frac{\sum_{\mu_k \in M} \gamma(\mu_k) |\pi_k|}{\sum_{\mu_k \in M} \gamma(\mu_k)} = \frac{\sum_{\vec{e}_{st}^M \in E^M} \gamma\left(\vec{e}_{st}^M\right)}{\sum_{\mu_k \in M} \gamma(\mu_k)}, \quad (8)$$

где $|\pi_k|$ - длина пути для потока $\mu_k \in M$;

$\gamma(e_{st}^M)$ - интенсивность потока в дуге графа $\vec{e}_{st}^M$.

Сеть называется большой и сбалансированной, если $\eta << 1$.

Как показано в работах [10], в большой и сбалансированной сети вклад одного потока $\gamma(\mu_k)$ в общий поток в дуге $\gamma(\vec{e}_{st}^M)$ можно рассматривать как величину малую. Для того чтобы применять метод отклонения потока для неразветвленных потоков в больших и сбалансированных сетях, рассмотрим новую версию метода отклонения потока, которую определим как композицию отклонений, включающих каждый раз действие только для одного потока μ_k.

Итак, предположим, что неразветвленный поток $f^l = \left\{\left(\mu_k, \pi_k^l\right)\right\}$ на шаге l алгоритма такой, что поток μ_k протекает по пути π_k^l, где π_k^l - кратчайший маршрут между узлами $\left(z_k^S, z_k^D\right)$ в метрике $L^l = \left\|\iota_{ij}^l\right\|$. Согласно методу отклонения потока, соответствующая часть $\alpha^l \gamma(\mu_k)$ ($0 < \alpha \leq 1$) потока μ_k отклоняется с пути π_k^l на путь π_k^{l+1} таким образом, чтобы целевая функция

$$T\left(\alpha^l\right) = T\left((1-\alpha^l)\gamma(f^l) + \alpha^l \gamma(\zeta)\right) \to \min, \quad (9)$$

где поток f^l передается по пути π_k^l, а ζ — по пути π_k^{l+1}. Перепишем это выражение

$$T\left(\alpha^l\right) = T(0) + \alpha^l \sum_{s,t:\vec{e}_{st}^M \in \pi_k^l} \iota_{st}^l \left(\gamma_{st}^{\zeta} - \gamma_{st}^{f}\right) + O\left(\alpha^l \left(\gamma(\zeta) - \gamma(f^l)\right)\right), \quad (10)$$

где $O(\bullet)$ содержит остаточные члены порядка малости выше, чем 1.

В соответствии со свойством сбалансированности члены $\alpha^l\left(\gamma_{st}^{\zeta} - \gamma_{st}^{f}\right)$ можно считать бесконечно малыми 1-го порядка, а член $O(\bullet)$ — бесконечно малым 2-го порядка.

Поэтому поскольку величина $\sum\limits_{s,t:\vec{e}_{st}^{M}\in\pi_k^l} \iota_{st}^l\left(\gamma_{st}^{\zeta}-\gamma_{st}^{f}\right)$ отрицательная и достаточно большая, то членом O(•) можно пренебречь и минимум в формуле (3.70) достигается на границе при $\alpha_{\min}^l = 1$. Следовательно, метод отклонения потока сохраняет свойство неразветвленности потока. Однако если $\sum\limits_{s,t:\vec{e}_{st}^{M}\in\pi_k^l} \iota_{st}^l\left(\gamma_{st}^{\zeta}-\gamma_{st}^{f}\right)\approx 0$, то поток f^l очень близок к оптимуму. Поэтому метод ОП обеспечивает отыскание неразветвленных потоков, которые являются хорошей аппроксимацией к оптимальным разветвленным потокам.

Рассмотрим метод ОП для неразветвленных потоков [10].

Пусть f^0 - начальный неразветвленный поток. Положим $l = 0$.

1. Вычисляем матрицу

$$L^l = \left\|\iota_{st}^l\right\|, \text{ где } \iota_{st}^l = \left.\frac{\partial T}{\partial \gamma_{st}}\right|_{\gamma_{st}=\gamma_{st}^l};$$

$$\frac{\partial T}{\partial \gamma_{st}} = \frac{1}{\Lambda}\left((c_{st}\gamma_{st})^{\frac{2H_{st}-1}{2-2H_{st}}} \cdot \frac{\frac{2H_{st}-1}{2-2H_{st}} + \frac{H_{st}}{1-H_{st}}\gamma_{st}(c_{st}-\gamma_{st})^{-1}+1}{(c_{st}-\gamma_{st})^{H_{st}/(1-H_{st})}} + \frac{1}{c_{ij}} \right), \quad (11)$$

где Λ - суммарного величина трафика поступающего в сеть, пакетов/с;

$c_{st} = c\left(\vec{e}_{st}^{M}\right)$ - пропускная способность дуги $\vec{e}_{st}^{M}$, которое соответствует каналу связи между узлами z_s^M и z_t^M, бит/с;

γ_{st} - интенсивность потока, протекающего по ребру $\vec{e}_{st}^{M}$;

H_{st} - параметр Херста для потока, протекающему по дуге e_{st}^{M};

2. Находим матрицу кратчайших путей $\Pi^l = \left\|\pi_{st}^l\right\|$ в метрике $L^l = \left\|\iota_{st}^l\right\|$.

3. Пусть $f' = f^l$. Для каждого потока μ_k выполняем следующие операции:

3.а. Находим поток ζ, который получается из f' путем девиации потока μ_k по кратчайшему пути π_k^l, задаваемому матрицей Π^l.

3.б. Если ζ - допустимый поток и $T(\zeta) < T(f')$, то переходим к следующему шагу, в противном случае переходим к шагу 3.г.

3.в. Примем $f' = \zeta$.

3.г. Если все потоки $\mu_k \in M$ просмотрены, то переходим к следующему шагу, в противном случае возвращаемся к шагу 3.а.

4. Если $f' = f^l$, то конец работы алгоритма. Метод отклонения потока больше не может улучшить неразветвленный поток. Иначе полагаем $f^{l+1} = f'$, $l = l+1$ и переходим к шагу 1.

Данный алгоритм сходится за конечное число шагов, так как имеется лишь конечное число неразветвленных потоков, а повторения одного и того же потока исключаются по условиям остановки.

5. Выводы

Задача распределения потоков в пакетной сети может быть решена с использованием модификации ранее известного метода отклонения потока для неразветвленных потоков.

При решении данной задачи необходимо учитывать самоподобные свойства информационных потоков, передаваемых в современных муль-тисервисных телекоммуникационных системах.

В качестве модели потока в синтезируемой сети можно использовать модель фрактального броуновского движения.

В связи с этим необходимо будет провести модификацию базового алгоритма в части расчетных выражений, методики определения параметров агрегированного потока.

Литература

1. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version) [Текст] / W.E. Leland, M.S. Taqqu, W. Willinger, D.V. Wilson // IEEE/ACM Trans, on Networking. - 1994. - Vol. 2, Issue 1. - P. 1-15.
2. Paxson, V. Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling [Текст] / V. Paxson, S. Floyd // Proc. ACM Sigcomm, London, UK. - 1994. - С. 257-268.
3. Симонина, О.А. Характеристики трафика в сетях IP [Текст] / О.А. Симонина, Г.Г. Яновский // Труды учебных заведений связи. - 2004. - № 177. - С. 8-14.
4. Norros, I. A Storage Model with Self-Similar Input [Текст] / I. Norros // Queueing Systems. - 1994. - Vol. 16, No 3-4. - P. 387—396.
5. Norros, I. On the use of fractional Brownian motion in the theory of connectionless networks [Текст] / I. Norros // Selected Areas in Communications, IEEE Journal. - 1995. - Vol. 13, Issue 6. - P. 953-962.
6. Шубин, Е.В. Метод синтеза топологической структуры сети передачи данных по критерию минимальной стоимости с использованием генетического алгоритма: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.12.02. - Х.: 2005. - 172 с.
7. Taqqu, M.S. Proof of a Fundamental Result in Self-Similar Traffic Modeling [Текст] / M.S. Taqqu, W. Willinger, R. Sherman // SIGCOMM Comput. Commun. Rev. - 1997. - Vol. 27, Issue 2. - P. 5-23.
8. Агеев, Д.В. Выбор пропускных способностей каналов связи при самоподобной характере передаваемых потоков [Текст] / Д.В. Агеев, Самир Махмуд, А.В. Чернятьев // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. - 2007. - № 148. - С. 87 -95.
9. Агеев ,Д.В. Методика определения параметров потоков на разных участках мультисервисной телекоммуникационной сети с учетом эффекта самоподобия [Текст] / Д.В. Агеев, А.А. Игнатенко, А.Н. Копылев // Проблеми телекомунікацій. - 2011. - № 3 (5). - С. 18 – 37.
10. Зайченко, Ю.П. Структурная оптимизация сетей ЭВМ [Текст] / Ю.П. Зайченко, Ю.В. Гонта. - К.: Техника, 1986. - 168 с.