

УДК 621.391

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКОВ В СЕТЯХ WDM С УЧЕТОМ ЭФФЕКТА САМОПОДОБИЯ



[Д.В. АГЕЕВ](#)

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Abstract – An important stage of design and operation of telecommunication systems is the routing and find the intensity of flows along these routes. This problem is known as the problem of flow distribution . Existing methods for the solution based on Poisson flow models that have lost their value for modern multiservice traffic . Studies have shown more precisely the properties of self-similar traffic models described processes. Despite the large number of publications in the direction of self-similar traffic study there is a significant lack of work on the application of these models in the synthesis of telecommunication systems. We propose a modification of the previously known method bias unbranched flows in order to account for the effect of self-similarity . As a result, the base method have changed a number of computational expressions , finding the parameters of providing aggregated flows and the average delay in the network. Proposed in the method can be used in the design of large balanced telecommunication system which is a fair assumption that a small degree of influence of one flow on quality of service parameters of the whole network.

Анотація – У роботі запропонована модифікація раніше відомого методу відхилення нерозгалужених потоків з метою врахування ефекту самоподібності. У результаті в базовому методі було змінено ряд розрахункових виразів, що забезпечують знаходження параметрів агрегованих потоків і середню затримку в мережі.

Аннотация – В работе предложена модификация ранее известного метода отклонения неразветвленных потоков с целью учета эффекта самоподобия. В результате в базовом методе был изменен ряд расчетных выражений, обеспечивающих нахождения параметров агрегированных потоков и среднюю задержку в сети.

Введение

Основным требованием, которое предъявляется к современным телекоммуникационным системам, является обеспечение требуемого качества обслуживания. Наиболее часто в качестве параметра, характеризующего качество передачи информационных потоков через сеть, при параметрическом синтезе телекоммуникационных систем используют среднее время задержки в сети. В методе синтеза, рассмотренном в работе [1], была использована упрощенная модель информационного потока, что позволило уменьшить вычислительную сложность решаемой задачи и найти маршруты передачи потоков в сети как на уровне IP/MPLS сети, так для оптической сети WDM. В то же время, предложенный ранее метод не гарантирует, что найденное распределение потоков является наилучшим по критерию минимума среднего времени задержки пакета в сети.

Добиться уменьшения среднего времени задержки пакета в сети и найти маршруты передачи для каждого из информационных потоков можно, используя для решения данной задачи метод, который базируется на моделях информационных потоков, учитывающих нелинейную зависимость параметров качества передачи от его интенсивности.

Как показали последние исследования информационных потоков, передаваемых в современных мультисервисных телекоммуникационных системах [2, 3], их свойства отличаются от тех, которые используются в классической теории телетрафика и описываются моделями простейшего потока. Использование этих моделей при параметрическом синтезе приводит к заниженным значениям объемов ресурсов сети, выделяемым для обслуживания трафика, и как следствие, невозможности обеспечить требуемый уровень качества обслуживания при эксплуатации сети. Исследования показали, что применение для описания свойств информационных потоков в сети математических моделей в виде самоподобных процессов позволяет более полно учесть их свойства. Это позволяет повысить качество параметрического синтеза телекоммуникационных систем.

Для моделирования группового трафика, как показано в работах [2], можно использовать модель фрактального Броуновского трафика, предложенную Leland и др., для которой Норросом получены ряд важных для решения задач параметрического синтеза выражений [4, 5], описывающих качественные характеристики обслуживания группового самоподобного потока в узлах сети.

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 [6]. 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 [7], в которой описан перечень задач, возникающих при параметрическом синтезе мультисервисных телекоммуникационных сетей, выбраны математические модели самоподобных потоков, предложен метод определения их параметров на разных участках сети. В работе [8] приведены расчетные выражения для определения параметров агрегированного трафика, времени задержки и вероятности потерь пакета в узлах сети, а также их значений для всей сети. С использованием этих расчетных выражений приведены и исследованы методы параметрического синтеза мультисервисных телекоммуникационных систем.

В данной статье, базируясь на известных ранее исследованиях самоподобных потоков, предложена модификация известного ранее метода распределения неразветвленных потоков.

I. Предметная постановка задачи распределения потоков в наложенной IP/MPLS сети

Телекоммуникационная система, для которой необходимо решить задачу распределения потоков, представляет собой IP/MPLS сеть, наложенную поверх оптической транспортной сети WDM. Известно первоначальное распределение потоков в

IP/MPLS сети, а также для каждого канала связи, связывающего смежные узлы LSR, известен световой путь, используемый для передачи потока этого канала в оптической WDM сети (рис. 1).

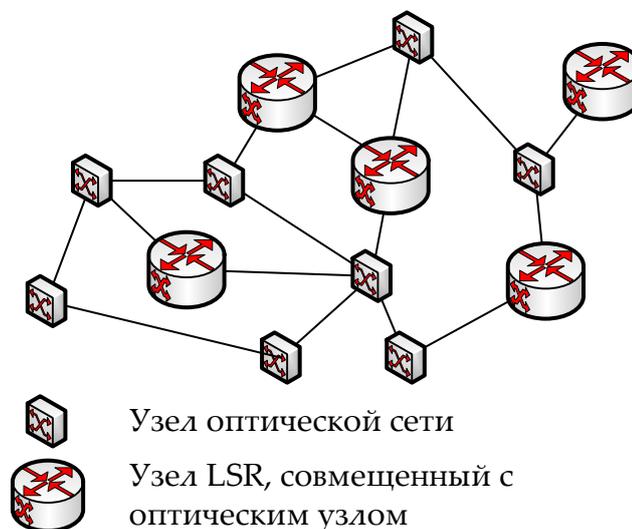


Рис. 1. Структура проектируемой транспортной сети

Предметную постановку задачи сформулируем следующим образом.

Задано:

- логическая топология наложенной IP/MPLS сети, представленная узлами LSR и каналами связи, соединяющими узлы между собой, где

$Z^M = \{z_s^M\}$ - множество узлов IP/MPLS сети;

$B^M = \{b_{st}^M\}$ - множество каналов связи, соединяющие узлы между собой;

$c_{st}^M = c(b_{st}^M)$ - пропускные способности интерфейсных плат, используемых для организации каналов связи между узлами LSR.

- топология оптической транспортной сети, представленная узлами LSR, где установлено оборудование оптического кроссконнектора и каналами связи, соединяющими узлы между собой, где

$Z = \{z_i\}$ - множество узлов оптической сети;

$B = \{b_{ij}\}$ - множество оптических каналов связи, соединяющие узлы между собой.

В синтезируемой телекоммуникационной сети передаются информационные потоки, для которых известны их характеристики и текущие маршруты передачи на уровне IP/MPLS и световые пути на уровне оптической сети WDM:

$M^F = \{\mu_k^F\}$ - множество потоков, передаваемых в транспортной сети, где $\mu_k^F = (z_k^S, z_k^D, \gamma_k)$ - поток между узлами z_k^S и z_k^D , $\{z_k^S, z_k^D\} \subset Z^M$ интенсивностью γ_k ;

$\Pi^M = \{\pi_k^M\}$ - множество маршрутов передачи потоков μ_k^F в IP/MPLS сети;

$\Pi^{ON} = \{\pi_{st}^{ON}\}$ - световые пути в оптической сети для передачи потоков канала связи (z_s^M, z_t^M) .

Необходимо найти маршруты передачи $\Pi'^M = \{\pi_k'^M\}$ для каждого потока $\forall \mu_k \in M$, так чтобы обеспечить минимум среднего времени задержки пакетов в сети.

II. Математическая постановка задачи распределения потоков в наложенной IP/MPLS сети

Используя выбранную модель информационных потоков в IP/MPLS сети, представленную в виде самоподобных процессов, произведем математическую постановку решаемой задачи.

Задана структура транспортной сети IP/MPLS, наложенной поверх оптической сети WDM, представленная многослойным графом $MLG = (\{\Gamma^F, \Gamma^M, \Gamma^{ON}\}, \Gamma)$:

$\Gamma^F = (V^F, E^F)$ - граф слоя информационных потоков, описывающий взаимодействие узлов проектируемой сети;

$\Gamma^M = (V^M, E^M)$ - граф слоя IP/MPLS сети, описывающий ее логическую топологию;

$\Gamma^{ON} = (V^{ON}, E^{ON})$ - граф слоя оптической сети, описывающий ее топологию;

Γ - граф, связывающий слои многослойного графа.

Задано начальное распределение потоков в графе слоя IP/MPLS сети и световые пути в графе слоя оптической сети:

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

$\Pi^0 = \{\pi_k^0\}$ - пути передачи для каждого потока $\mu_k \in M$ в графе Γ^M слоя IP/MPLS сети;

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

$\Pi^{ON} = \{\pi_{st}^{ON}\}$ - пути (световые пути) в графе Γ^{ON} протекания потоков, которые соответствуют потокам в ребрах e_{st}^M выше лежащего графа Γ^M .

Телекоммуникационная система, для которой нужно найти оптимальные маршруты передачи потоков, является наложенной сетью, содержащей пакетную сеть IP/MPLS и опорную оптическую сеть WDM, на которую данная сеть наложена. Для данной телекоммуникационной сети заданы топологии каждой из сетей, ее составляющей, а также начальное распределение потоков и маршруты их передачи.

Анализ процессов, протекающих в синтезируемой сети, показал, что изменение световых путей в оптической сети не позволяет уменьшить среднее время задержки пакетов в сети. Световые маршруты в рамках решаемой задачи обеспечивают лишь связность между узлами LSR. Таким образом, уменьшение среднего времени задержки пакетов в сети возможно лишь за счет изменения маршрутов передачи потоков на уровне IP/MPLS сети. В этом случае при решении поставленной задачи можно ограничиться рассмотрением только уровня IP/MPLS сети.

При решении задачи остановимся на случае неразветвленных 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 IP/MPLS сети, описанная в виде графа Γ^M , где ребра исходного графа заменены на пару встречно ориентированных дуг:

$$e_{st}^M \Rightarrow \{\bar{e}_{st}^M, \bar{e}_{ts}^M\}, \quad \forall e_{st}^M \in E^M. \quad (1)$$

Введем обозначения:

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

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

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

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

$$\gamma_{st} = \sum_{\mu_k \in M} \gamma_k x_{st}^k; \quad (3)$$

$$\varrho_{st} = \frac{\sum_{\mu_k \in M} \varrho_k \gamma_k x_{st}^k}{\sum_{\mu_k \in M} \gamma_k x_{st}^k}; \quad (4)$$

$$H_{st} = \max_{\mu_k \in M: x_{st}^k=1} (H_k). \quad (5)$$

Среднее время задержки пакета в сети можно определить из выражения:

$$T(\Gamma^M, c(\bar{e}_{st}^M), M, \{x_{st}^k\}) = \frac{1}{\Lambda} \sum_{\bar{e}_{st}^M \in E^M} \left[\frac{\gamma_{st}}{c_{st}} \left(1 + \frac{\gamma_{st}^{2-2H_{st}} \cdot c_{st}^{2-2H_{st}}}{(c_{st} - \gamma_{st})^{H_{st}/(1-H_{st})}} \right) \right]. \quad (6)$$

$$\Lambda = \sum_{\mu_k \in M} \left(\frac{\gamma_k}{\varrho_k} \right). \quad (7)$$

В результате решения оптимизационной задачи необходимо такое распределение потоков $f = \{(\mu_k, \pi_k)\}$, определяемое переменными x_{st}^k , чтобы среднее время задержки пакета в сети $T(\Gamma^M, c(\bar{e}_{st}^M), M, \{x_{st}^k\})$ было минимальным.

III. Разработка метода решения задачи распределения потоков в наложенной IP/MPLS сети с учетом эффекта самоподобия

Решаемая задача в формулировке (2) - (7) относится к задачам целочисленного нелинейного программирования и может быть решена с применением соответствующих универсальных математических программных пакетов. Однако данный класс задач обладает относительно высокой вычислительной сложностью, что не позволяет решать задачи для случая наличия в проектируемой сети большого количества узлов. В послед-

нем случае более целесообразно применять субоптимальные методы и методы, учитывающие предметную специфику решаемой задачи. Дополнительным преимуществом методов, учитывающих специфику решаемой задачи, является более низкая вероятность получения недопустимого или физически нереализуемого решения.

Предлагаемый нами метод решения поставленной задачи базируется на ранее известном методе распределения потоков. Недостатком базового метода является то, что он основан на использовании классической модели потоков теории телетрафика, а именно модели простейшего потока, которая, как указывалось выше, не в полной мере соответствует свойствам трафика в современных мультисервисных телекоммуникационных системах. В связи с этим этот метод нуждается в доработке в направлении учета самоподобных свойств современного трафика.

Обоснуем возможность применения для решения поставленной задачи распределения потоков в транспортной сети IP/MPLS с большим количеством узлов ранее известного метода распределения потоков для неразветвленных потоков.

Поток называется неразветвленным, как уже указывалось выше, 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 являются неразветвленными, это 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 [9].

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

Определим понятие сбалансированности сети математически, введя предварительно дополнительные обозначения:

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

$$\bar{\gamma} = \frac{1}{K} \sum_k \gamma(\mu_k), \quad K = |M|; \quad (7)$$

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

$$\bar{\gamma}^m = \max_{\mu_k \in M} (\gamma(\mu_k) / \bar{\gamma}), \quad (8)$$

при этом $\bar{\gamma}^m \geq 1$. Таким образом, сеть называется сбалансированной, если $\bar{\gamma}^m \approx 1$.

Определение большой и определение сбалансированной сети можно объединить в единое понятие большой и сбалансированной сети следующим образом. Введем коэффициент η :

$$\eta = \frac{\bar{\chi} \bar{\gamma}^m}{(\nu - 1) \bar{\pi}} = \frac{\chi \gamma^m}{\nu(\nu) \bar{\pi}}, \quad \nu = |V^M|, \quad (9)$$

где ν - число вершин графа;

χ - число дуг графа;

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

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

$$\bar{\pi} = \frac{\sum_{\mu_k \in M} \gamma(\mu_k) |\pi_k|}{\sum_{\mu_k \in M} \gamma(\mu_k)} = \frac{\sum_{\bar{e}_{st}^M \in E^M} \gamma(\bar{e}_{st}^M)}{\sum_{\mu_k \in M} \gamma(\mu_k)}, \quad (10)$$

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

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

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

Как показано в работах [9, 10], в большой и сбалансированной сети вклад одного потока $\gamma(\mu_k)$ в общий поток в дуге $\gamma(\bar{e}_{st}^M)$ 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 $f^l = \{(\mu_k, \pi_k^l)\}$ на шаге l алгоритма такой, что поток μ_k протекает по пути π_k^l , где π_k^l - кратчайший маршрут между узлами (z_k^S, z_k^D) в метрике $L^l = \|l_{ij}^l\|$. 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 подчинялась условию

$$T(\alpha^l) = T((1 - \alpha^l)\gamma(f^l) + \alpha^l\gamma(\zeta)) \rightarrow \min, \quad (11)$$

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

$$T(\alpha^l) = T(0) + \alpha^l \sum_{s,t: \bar{e}_{st}^M \in \pi_k^l} l_{st}^l (\gamma_{st}^\zeta - \gamma_{st}^{f^l}) + O(\alpha^l (\gamma(\zeta) - \gamma(f^l))), \quad (12)$$

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

В соответствии со свойством сбалансированности члены $\alpha^l (\gamma_{st}^\zeta - \gamma_{st}^{f^l})$ можно считать бесконечно малыми 1-го порядка, а член $O(\bullet)$ — бесконечно малым 2-го порядка. Поэтому поскольку величина $\sum_{s,t: \bar{e}_{st}^M \in \pi_k^l} l_{st}^l (\gamma_{st}^\zeta - \gamma_{st}^{f^l})$ отрицательная и достаточно большая, то

членом $O(\bullet)$ можно пренебречь, и тогда минимум в формуле (12) достигается на границе при $\alpha_{\min}^l = 1$. Следовательно, метод отклонения потока сохраняет свойство неразветвленности потока. Однако если

$\sum_{s,t: \bar{e}_{st}^M \in \pi_k^l} l_{st}^l (\gamma_{st}^\zeta - \gamma_{st}^{f^l}) \approx 0$, то поток f^l очень близок к

оптимуму. Поэтому метод ОП обеспечивает отыскание неразветвленных потоков, которые являются хорошей аппроксимацией к оптимальным разветвленным потокам.

Опишем метод ОП для неразветвленных потоков (рис. 2).

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

1. Вычисляем матрицу $L^l = \|l_{st}^l\|$, где $l_{st}^l = \left. \frac{\partial T}{\partial \gamma_{st}} \right|_{\gamma_{st}=\gamma_{st}^l}$;

$$\frac{\partial T}{\partial \gamma_{st}} = \frac{1}{\Lambda} \left((c_{st}\gamma_{st})^{\frac{2H_{st}-1}{2-2H_{st}}} \cdot \frac{2H_{st}-1}{2-2H_{st}} + \frac{H_{st}}{1-H_{st}} \gamma_{st} (c_{st}-\gamma_{st})^{-1} + 1 \right) + \frac{1}{c_{ij}}, \quad (13)$$

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

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

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

H_{st} - параметр Херста для потока, протекающего по дуге e_{st}^M .

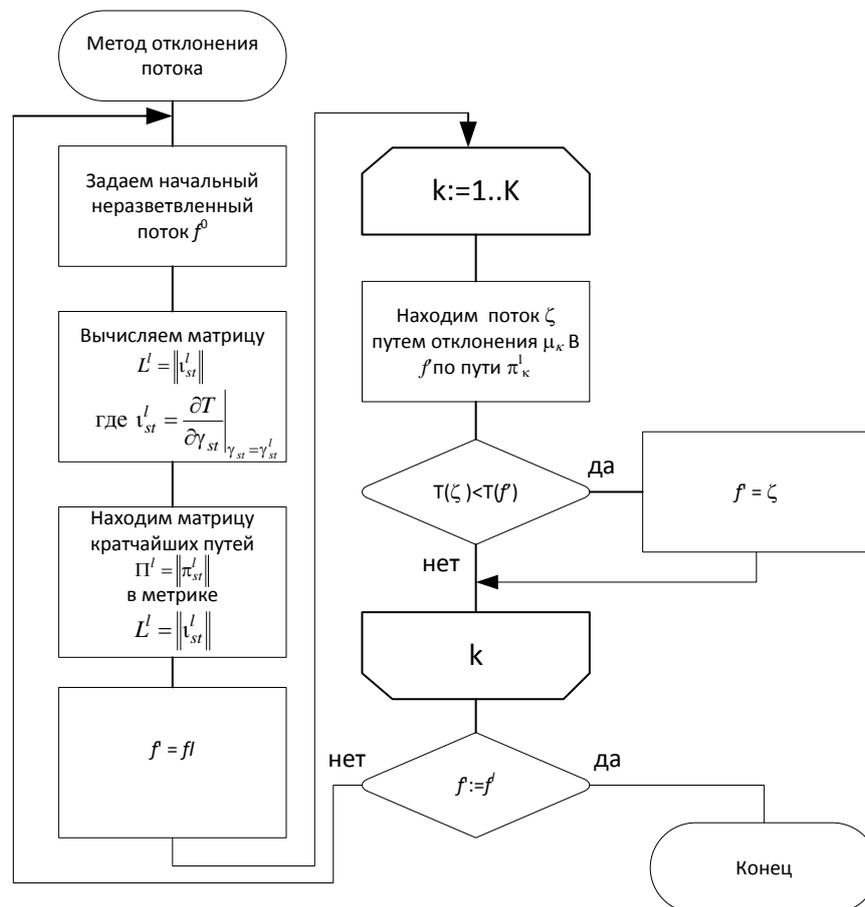


Рис. 2. Модифицированный метод отклонения потоков для неразветвленных потоков

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

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

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

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

Зв. Примем $f' = \zeta$.

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

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 останковки.

IV. Исследование метода распределения потоков в наложенной IP/MPLS сети

В данной работе исследования метода распределения потоков предлагается следующая методика, которая состоит в том, что с применением средств имитационного моделирования будет произведен анализ вероятностно - временных характеристик функционирования сети и процессов, протекающих в ней. В дальнейшем полученные результаты будут сопоставлены с ожидаемыми результатами, полученными с применением аналитических моделей и расчетов, которые легли в основу предлагаемого метода.

Имитационное моделирование производилось в среде сетевого эмулятора ns-2. При проведении данного эксперимента для описания имитационной модели использовался язык сценариев (скриптов) Otcl, который используется в качестве интерпретатора.

Входным воздействием на имитационную модель являются реализации потоков, полученные в результате измерений в фрагменте мультисервисной сети. Определим параметры полученных реализаций и агрегированных временных рядов. Согласно используемой математической модели, информационные потоки в сети характеризуются следующими параметрами: средняя интенсивность передаваемой информации, средняя длина пакета, значение параметра Херста.

Для оценки величины средней интенсивности потока и средней длины пакетов использовались классические выражения математической статистики для дискретных рядов.

Оценка параметра Херста в работе производилась 6-ю методами с использованием программного пакета Selfis v.0.1b, который позволял кроме значения параметра Херста определить и точность его оценки. При проведении эксперимента в дальнейшем использовалось то значение параметра Херста, которое было определено с наибольшей точностью.

Из анализа полученных данных было установлено, что для исследуемых реализаций информационных потоков характерно наличие эффекта самоподобия, что подтверждается тем, что для большинства реализаций информационных потоков значение параметра Херста $H > 0,5$.

Для исследования эффективности предложенного в работе метода распределения потоков воспользуемся средствами имитационного моделирования, входящими в состав программного комплекса.

В процессе проведения эксперимента система изучается в двух конфигурациях:

- в первой конфигурации маршруты передачи потоков определяются с использованием ранее известного метода отклонения потока, базирующегося на предположение о пуассоновском характере потоков;

- во второй конфигурации маршруты потоков определялись с использованием предлагаемого в работе метода распределения потоков с использованием моделей самоподобных процессов.

При проведении имитационного моделирования фиксировались реализации информационных потоков, передаваемых по сети, с последующим их анализом на величину среднесетевой задержки в сети.

Эксперимент проводился для различных наборов, поступающих в сеть потоков. Реализации потоков на входе имитационной модели базировались на результатах измерения потоков в реальном сегменте мультисервисной сети. Для каждого варианта поступающего в сеть потока производилась оценка значений его параметров в рамках пуассоновской (интенсивность потока и средняя длина пакета) и самоподобной модели (интенсивность потока, средняя длина пакета и значение параметра Херста). В дальнейшем с использованием полученных значений параметров потоков производился выбор маршрутов передачи для каждого потока с использованием критерия минимума средней задержки пакета в сети.

Результаты эксперимента представлены в табл. 1, где H – значение параметра Херста для потоков поступающих в сеть; \bar{T} – среднесетевая задержка пакета в сети, соответствующая значению целевой функции при решении задачи, $\bar{T}_{п.м.}$, $\bar{T}_{с.м.}$ – экспериментально полученные значения задержки для конфигураций сети, рассчитанных с использованием пуассоновской модели и с использованием модели самоподобных процессов.

Таблица 1. Результаты эксперимента по исследованию метода определения пропускных способностей каналов связи

Вариант набора исходных данных	\bar{T} , мс	$\bar{T}_{п.м.}$, мс	$\bar{T}_{с.м.}$, мс	Выигрыш, %
Вариант 1	8,8	10,3	9,0	12,6
Вариант 2	4,9	6,1	5,2	14,7
Вариант 3	2,0	2,3	2,1	8,3
Вариант 4	7,2	8,6	7,3	15,1
Вариант 5	2,9	3,4	2,9	16,1
Вариант 6	3,5	4,0	3,6	10,0

Анализ результатов эксперимента (табл. 1) позволяет сделать следующие выводы:

- применение модели самоподобного процесса позволяет более точно определить параметры потоков и обеспечить среднесетевую задержку на практике наиболее близко соответствующей величине, ожидаемой при решении задачи параметрического синтеза;

- в результате эксперимента было подтверждено, что применение методов, базирующихся на пуассоновской модели потоков, дает заниженные требования к ресурсам сети, что приводит к конфигурациям, имеющим более высокие значения среднесетевой задержки и соответственно обладающим худшими параметрами качества обслуживания;

- предложенный в работе метод распределения потоков позволяет найти более эффективные их маршруты, чем классический, за счет учета наличия в передаваемых потоках эффекта самоподобия.

Это приводит к уменьшению среднего времени задержки пакетов в сети от 8% до 16%. Таким образом, применение разработанного метода на этапе проектирования мультисервисных сетей NGN позволит повысить качество предоставления услуг.

Выводы

Задача распределения потоков в IP/MPLS сети, наложенной поверх оптической сети WDM, 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 мультисервисных 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.

В результате проведенного имитационного моделирования доказана достоверность предлагаемого метода распределения потоков в наложенной IP/MPLS сети, базирующегося на использовании моделей самоподобных процессов.

Сопоставление результатов имитационного моделирования двух конфигураций сети, распределение потоков в которой производилось с применением предлагаемого в работе метода и ранее известного метода отклонения потока показало, что предлагаемый метод позволяет более эффективно распределить потоки в сети, что приводит к уменьшению среднего времени задержки пакетов в сети (от 8% до 16%) при поступлении на ее вход потоков с эффектом самоподобия.

Список литературы:

1. Агеев Д.В. Структурный и параметрический синтез наложенной сети IP/MPLS поверх сети WDM с применением модели, представленной в виде многослойного графа // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 3(8). – С. 3-23. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2012/3/1/123_ageyev_mpls.pdf.

2. Leland W.E., Taqqu M.S., Willinger W., Wilson D.V. On the Self-Similar Nature of Ethernet Traffic (Extended Version) // IEEE/ACM Trans, on Networking. – 1994. – Vol. 2, Issue 1. – P. 1-15.
3. Paxson V., Floyd S. Wide-Area Traffic: The Failure of Poisson Modeling // Proc. ACM Sigcomm, London, UK, 1994. – P. 257-268.
4. Norros I. A Storage Model with Self-Similar Input // 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 // Selected Areas in Communications, IEEE Journal. – 1995. – Vol. 13, Issue 6. – P. 953–962.
6. Taqqu M.S., Willinger W., Sherman R. Proof of a Fundamental Result in Self-Similar Traffic Modeling // SIGCOMM Comput. Commun. Rev. – 1997. – Vol. 27, Issue 2. – P. 5–23.
7. 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.
8. Агеев Д.В. Параметрический синтез мультисервисных телекоммуникационных систем при передаче группового трафика с эффектом самоподобия [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. – 2013. – № 1 (10). – С. 46 - 65. – Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2013/1/1/131_ageyev_fbm.pdf.
9. Зайченко Ю.П., Гонта Ю.В. Структурная оптимизация сетей ЭВМ. - К.: Техника, 1986. – 168 с.
10. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979. – 600 с.