

УДК 621.396.49

МЕТОД МАРШРУТИЗАЦИИ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ IP СЕТЕЙ В УСЛОВИЯХ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ПОМЕХ

Е. А. Спирина, С. В. Козлов

Казанский национальный исследовательский технический
университет им. А.Н. Туполева

Статья поступила в редакцию 27 ноября 2015 г.

Аннотация. В работе предложен метод маршрутизации IP сетей с различными уровнями иерархии, обеспечивающий повышение пропускной способности за счёт снижения потока внутрисистемных помех.

Ключевые слова: маршрутизация, IP сети, внутрисистемные помехи.

Abstract. The article considers new routing method with different hierarchical levels, which provides throughput increase by reducing intrasystem interference flow.

Key words: routing, IP networks, intrasystem interference.

Введение

В работе [1] предложен и исследован новый метод маршрутизации, обеспечивающий повышение пропускной способности фиксированных сетей широкополосного радиодоступа за счёт снижения потока внутрисистемных помех. Однако его рассмотрение и анализ проведён только на одном уровне иерархии сети широкополосного радиодоступа. При этом не рассматривается возможность расширения предложенного метода на IP сети, построенных на других технологических платформах и имеющих несколько уровней иерархии, что ограничивает потенциальный эффект от применения разработанного метода.

Снятие указанных ограничений является актуальной задачей для повышения эффективности IP сетей, работающих в условиях воздействия внутрисистемных помех.

1. Постановка задачи

Рассмотрим подсеть уровня иерархии s произвольной IP сети, состоящую из $m = \overline{1, M}$ передающих и $l = \overline{1, L}$ приёмных узлов (рис.1).

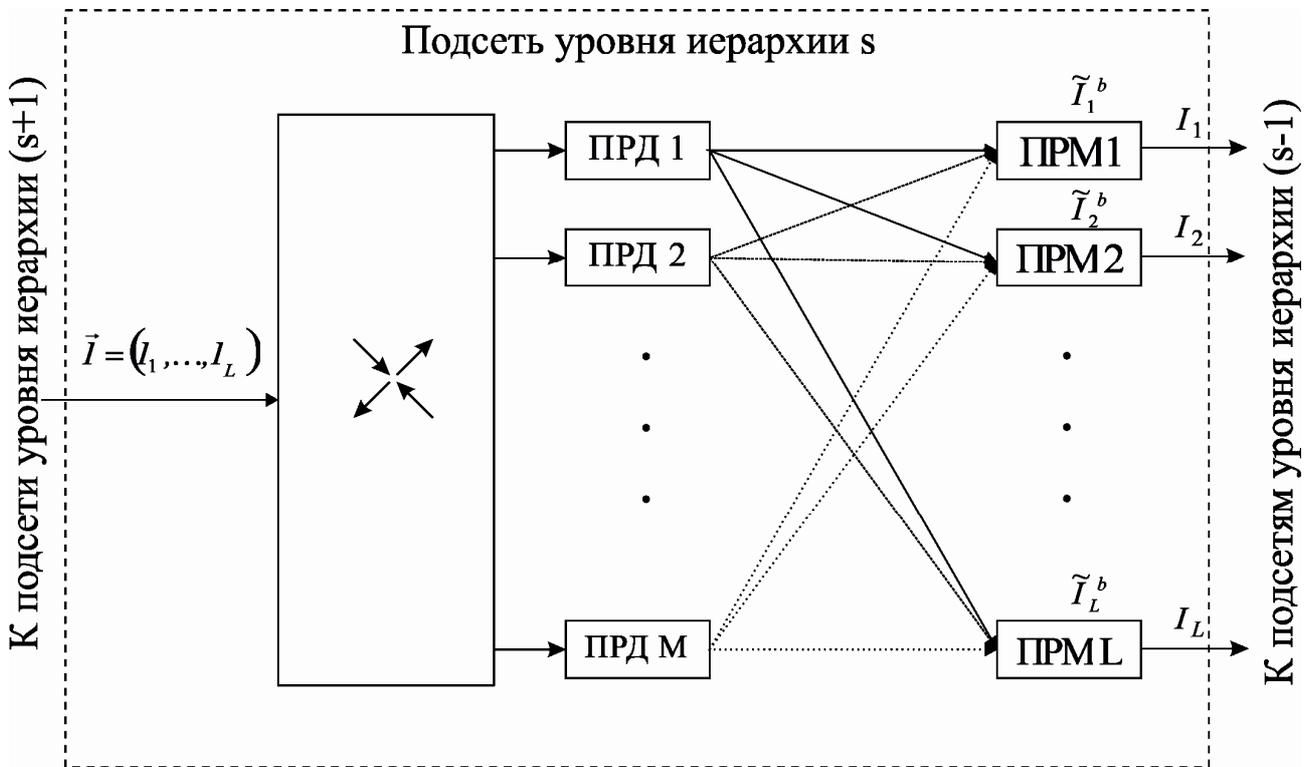


Рис.1. Подсеть уровня иерархии s

В приведённой IP сети будем рассматривать только каналы связи, соединяющие передающие и приёмные узлы. Влиянием соединений между маршрутизатором и передающими узлами, а также приёмными узлами и получателями информации – пренебрежём.

С точки зрения IP сети передающие узлы выполняют роль шлюзов для доставки информации до приёмных узлов. Выбор варианта доставки $b = \overline{1, B}$ осуществляется маршрутизатором путём динамического формирования соответствующего маршрута для доставки информации через набор тех или иных передающих узлов (шлюзов). Следовательно, каждому варианту доставки b соответствует маршрут передачи с тем же номером.

Показателем эффективности маршрутизации, как и в [1], будем считать время доставки пакетов. В этом случае оптимальное решение задачи маршрутизации будет иметь вид:

$$\vec{N}_{opt} = \arg \min_{\vec{N}} (\tau(\vec{N})), \quad (1)$$

где $\tau(\vec{N})$ - время доставки вектора информации \vec{I} для вектора кратности использования маршрутов \vec{N} .

2. Решение задачи

Выберем единый интервал времени анализа T_A , определяемый как наименьшее общее кратное интервалов передачи информации во всех каналах связи IP сети.

По аналогии с работой [1] скорость передачи информации от передающих до приёмных узлов будет зависеть от выбранного маршрута b . Обозначим \tilde{I}_l^b объём информации, передаваемый через приёмный узел l за интервал анализа T_A .

В этом случае критерий выбора набора оптимальных маршрутов для подсети уровня иерархии s , в соответствии с [1], может быть сформулирован в виде:

$$\begin{cases} \vec{N}_{opt} = \arg \min_{\vec{N}} \left(\sum_{b=1}^B N^b \right) \\ \sum_{b=1}^B N^b \cdot \tilde{I}_l^b \geq I_l, \quad l = \overline{1, L}, \\ N^b \geq 0 \\ N^b \in Z, \quad b = \overline{1, B} \end{cases} \quad (2)$$

где \vec{N}_{opt} – оптимальное значение вектора кратности использования маршрутов $\vec{N} = (N^1, N^2, \dots, N^B)$, а I_l – это объём информации, который необходимо доставить до l -го приёмного узла.

В этом случае время доставки вектора информации $\vec{I} = (I_1, \dots, I_L)$ на рассматриваемой подсети уровня иерархии s определяется как:

$$\tau(\vec{N}) = T_A \cdot \sum_{b=1}^B N_{opt}^b. \quad (3)$$

Теперь рассмотрим процесс взаимодействия подсетей разных уровней иерархии. В этом случае маршрутизатор подсети более низкого уровня иерархии подключается к выходу приёмного узла подсети более высокого уровня иерархии.

Для подсети самого нижнего уровня иерархии $s = 0$ к приёмным узлам подключаются конечные получатели информации. Следовательно, объём информации, передаваемый через приёмный узел подсети уровня иерархии $s = 0$, определяется только количеством информации доставляемой до приёмного узла l , который зависит только от скорости передачи информации V_l^b :

$$\tilde{I}_l^b = V_l^b \cdot T_A. \quad (4)$$

Для подсети уровня иерархии $s > 0$ к выходу приёмного узла l подключен маршрутизатор подсети предыдущего уровня иерархии $(s-1)$. Тогда объём информации \tilde{I}_l^b , передаваемый через приёмный узел l , будет зависеть не только от объёма информации доставляемого до этого узла, но и от объёма информации, который может передать подсеть предыдущего уровня иерархии:

$$\tilde{I}_l^b = \min \left\{ V_l^b \cdot T_A, \hat{I}_l^{\bar{I}^p} \right\}, \quad (5)$$

где $\hat{I}_l^{\bar{I}^p}$ - количество бит, передаваемых в подсети предыдущего уровня иерархии $(s-1)$, при формировании на приёмном узле l вектора информации \bar{I}^p . Значение $\hat{I}_l^{\bar{I}^p}$ определяет среднее количество передаваемых бит за единый интервал анализа T_A , при условии передачи информации до заданных приёмных узлов. В этом случае максимальное значение вектора $\hat{I}_l^{\bar{I}^p}$ может быть определено на подсети предыдущего уровня иерархии $(s-1)$ для ограничений вида $sign(\hat{I}_l^{\bar{I}^p})$:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tilde{I}_{lopt}^{\bar{I}^P} = \max_{\vec{N}} \left(\frac{\sum_{l=1}^L \sum_{b=1}^B N^b \cdot \tilde{I}_l^b}{\sum_{b=1}^B N^b} \right), \\ \sum_{b=1}^B N^b \cdot \tilde{I}_l^b \geq \text{sign}(I_l^P), \quad l = \overline{1, L} \\ N^b \geq 0 \\ N^b \in Z, \quad b = \overline{1, B} \end{array} \right. , \quad (6)$$

то есть с учётом только факта передачи информации на l -ый приёмный узел.

Реализация предложенного метода маршрутизации содержит два этапа:

1. Этап анализа, который осуществляется в процессе проектирования IP сети и при изменении её параметров и заключается в том, что для каждой подсети проводится:

- формирование множества возможных маршрутов доставки информации $b = \overline{1, B}$;
- расчёт скоростей передачи информации V_l^b до всех приёмных узлов для каждого из маршрутов b , с учётом заданной вероятности ошибки;
- определение объёма информации \tilde{I}_l^b , передаваемой через приёмный узел l за интервал анализа T_A ;

2. Этап маршрутизации, заключается в том, что в каждой подсети независимо для поступившего вектора информации \vec{I} путём решения системы (2) находится оптимальный вектор кратности использования маршрутов \vec{N}_{opt} , определяющий правило работы маршрутизатора.

Предложенный метод учитывает реальные скорости передачи в канале связи и может быть использован при построении процедуры маршрутизации единого алгоритма, приведённого в работе [2].

3. Пример решения

Рассмотрим пример решения задачи для простейшей IP сети (рис.2), имеющей два уровня иерархии $s = \{0,1\}$ и состоящей из трёх одинаковых подсетей, каждая из которых имеет по два приёмных и передающих узла.

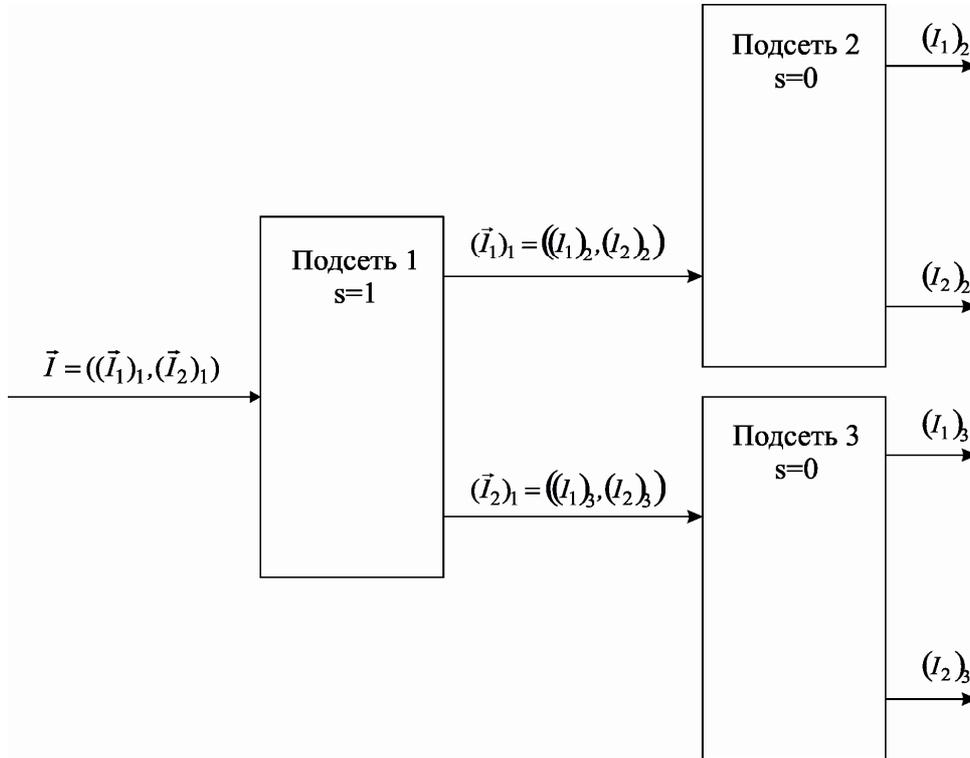


Рис.2. Структура IP сети

На рисунке 2 индекс возле круглых скобок означает номер подсети.

Структура подсетей представлена на рисунке 3.

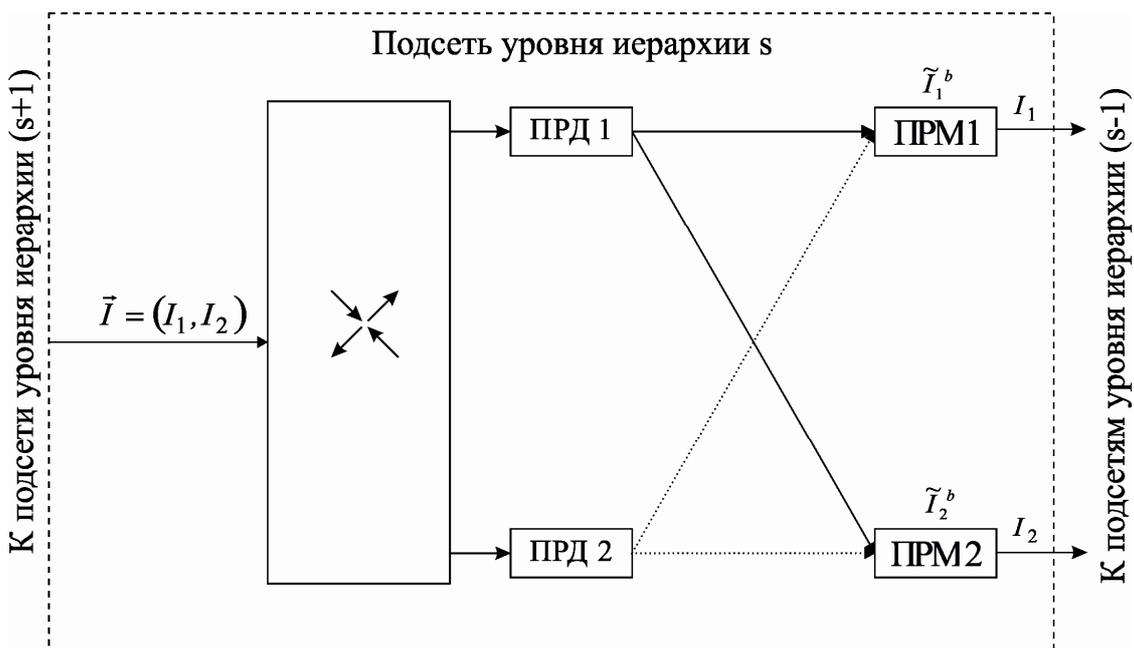


Рис.3. Структура подсетей

Выберем единый интервал времени анализа $T_A = 1$ мкс.

Проведём этап анализа. Для этого сформируем все допустимые маршруты доставки информации до приёмных узлов подсетей и зададим скорости передачи информации по каналу связи (табл.1).

Таблица 1. Скорости передачи информации по каналам связи для всех допустимых маршрутов

| Номер маршрута b | Скорости передачи информации $V_l^b = (V_{l_ПРД1}^b + V_{l_ПРД2}^b)$, Мбит/с | |
|--------------------|--|--------|
| | ПРМ 1 | ПРМ 2 |
| 1 | (10+0) | (0+0) |
| 2 | (0+8) | (0+0) |
| 3 | (4+3) | (0+0) |
| 4 | (0+0) | (8+0) |
| 5 | (0+0) | (0+10) |
| 6 | (0+0) | (3+4) |
| 7 | (4+0) | (0+4) |
| 8 | (0+3) | (3+0) |

Так как интервал анализа принят равным 1 мкс, то объём информации \tilde{I}_l^b для подсетей нулевого уровня иерархии, согласно (4) будет численно равен скорости передачи информации V_l^b .

Согласно (5) для определения объёма информации \tilde{I}_l^b , передаваемой через приёмные узлы подсети первого уровня иерархии, необходимо по формуле (6) определить $\hat{I}_{lopt}^{\tilde{I}^p}$ для подсетей предыдущего уровня иерархии ($s=0$). В заданных условиях для подсетей 2 и 3 эти значения будут одинаковыми. При доставке информации до первого приёмного узла максимум в выражении (6) будет достигаться для вектора кратности использования маршрутов $\vec{N} = (1,0,0,0,0,0,0,0)$, до второго приёмного узла – для $\vec{N} = (0,0,0,0,1,0,0,0)$, до первого и второго приёмных узлов вместе – для $\vec{N} = (1,0,0,0,1,0,0,0)$. Во всех этих случаях значение $\hat{I}_{lopt}^{\tilde{I}^p} = 10$ бит.

Следовательно, значения \tilde{I}_l^b для подсети первого уровня иерархии будут такими же, как и для подсетей нулевого уровня иерархии.

Проведём моделирование этапа маршрутизации в рассмотренной сети для ТСП, НТТР, FTP трафика и интервала формирования вектора информации \vec{I} равного 1 мс согласно [3] и средней скорости передачи информации до каждого получателя информации 2 Мбит/с.

Рассмотрим процесс определения оптимальных векторов кратности использования маршрутов \vec{N}_{opt} для каждой из подсетей на примере одного из сгенерированных вариантов вектора входной информации $\vec{I} = (3072, 1536, 4608, 1536)$.

Первая подсеть распределяет вектор информации \vec{I} на подсети 2 и 3, т.е. для неё вектор информации имеет вид $\vec{I} = (3072 + 1536, 4608 + 1536)$. Вектора кратности использования маршрутов и время доставки для статической маршрутизации и предложенного метода маршрутизации приведены в таблице 2.

Таблица 2. Кратности использования маршрутов и время доставки пакетов первой подсети

| Номер маршрута b | Кратность использования маршрута N^b | |
|---|--|--------------------|
| | Статическая маршрутизация | Предложенный метод |
| 1 | 0 | 460 |
| 5 | 154 | 614 |
| 7 | 1152 | 2 |
| Время доставки всех пакетов $\tau(\vec{N})$ | 1,3 | 1,0 |

Вектор информации \vec{I} для второй подсети имеет вид $\vec{I} = (3072, 1536)$ а для третьей подсети – $\vec{I} = (4608, 1536)$. Для них вектора кратности использования маршрутов и время доставки для статической маршрутизации и предложенного метода маршрутизации приведены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Таблица 3. Кратности использования маршрутов и время доставки пакетов второй подсети

| Номер маршрута b | Кратность использования маршрута N^b | |
|---|--|--------------------|
| | Статическая маршрутизация | Предложенный метод |
| 1 | 154 | 307 |
| 5 | 0 | 153 |
| 7 | 384 | 2 |
| Время доставки всех пакетов $\tau(\vec{N})$ | 0,53 | 0,46 |

Таблица 4. Кратности использования маршрутов и время доставки пакетов третьей подсети

| Номер маршрута b | Кратность использования маршрута N^b | |
|---|--|--------------------|
| | Статическая маршрутизация | Предложенный метод |
| 1 | 308 | 461 |
| 5 | 0 | 154 |
| 7 | 384 | 0 |
| Время доставки всех пакетов $\tau(\vec{N})$ | 0,69 | 0,61 |

Таким образом, суммарное время доставки пакетов в рассмотренном примере при статической маршрутизации составило до 1 и 2 получателей информации 1,83 мс, а до 3 и 4 – 1,99 мс, а при предложенном методе маршрутизации 1,46 мс и 1,61 мс соответственно, т.е. снижение времени доставки сообщений при использовании предложенного метода маршрутизации составил 20%. Аналогичный средний процент снижения времени доставки пакетов достигается и для всего сгенерированного трафика.

Заключение

Предложенный метод маршрутизации обеспечивает снижение времени доставки пакетов средним на 20% для TCP, HTTP, FTP трафика при интервале формирования вектора информации \vec{I} равном 1 мс.

Дополнительным преимуществом предложенного метода является экономия вычислительных ресурсов, снижение служебного трафика и обеспечение возможности параллельной работы всех подсетей.

Следовательно, применение предложенного метода маршрутизации позволит повысить пропускную способность IP сетей при минимальной модернизации имеющихся технических решений.

Литература

1. Спирина Е. А. Оптимизация распределения информации в фиксированных сетях широкополосного радиодоступа с учетом внутрисистемных помех. // Журнал радиоэлектроники. 2015. №9. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/sep15/5/text.pdf>.

2. Е.А. Спирина, С.В. Козлов, Ю.С. Винтенкова. Разработка единого алгоритма приема, планирования, оптимизации, адаптивного использования ресурсов и маршрутизации в сетях широкополосного радиодоступа// Нелинейный мир. -2014. - №10, т.12.С.9-12.

3. С.В. Козлов, Ю.С. Винтенкова Анализ эффективности метода маршрутизации, учитывающего внутрисистемные помехи, для фиксированных сетей широкополосного радиодоступа с трафиком протоколов TCP, HTTP,FTP. // В сборнике: Проблемы техники и технологий телекоммуникаций ПТиТТ-2015; Оптические технологии в телекоммуникациях ОТТ-2015 Материалы Международных научно-технических конференций. Уфа, 2015. Том 1. С 91-93.