
Е.С. Невзорова, Ахмед К. Хасан, *В.А. Бильчук

АНАЛИЗ МЕТОДА ДВУХУРОВНЕВОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ЦЕЛЕВОЙ КООРДИНАЦИИ

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, г. Харьков, Украина
*Харьковский университет воздушных сил им. Ивана Кожедуба

Ключевые слова: метод целевой координации, итерация, иерархическая маршрутизация, поток.

Для повышения масштабируемости сети применяется метод двухуровневой маршрутизации, т.к. использование централизованных схем ресурсозатратно. Во избежание перегрузок каналов связи, а также потерь пакетов в сети в данном методе используется принцип целевой координации. Данный принцип базируется на возможности преобразования исходной задачи минимизации во множество более простых, но координируемых между собой задач с использованием двухуровневой итеративной вычислительной структуры. Проведён анализ сходимости метода двухуровневой иерархической маршрутизации на основе принципа целевой координации.

E.S. Nevzorova, Ahmed K. Hasan, *V.A. Bilchuk

ALYSIS OF THE TWO-LEVEL ROUTING METHOD WITH COORDINATION PRINCIPLE

Kharkiv National University of Radioelectronics, Kharkiv, Ukraine
* Kozhedub Air Force University

Keywords: coordination method, iteration, hierarchical routing, flow.

For increase network scalability it is using a two-level routing method, because using the centralized schemes is resource costly. To avoid overload of communication channels, as well as packet loss in the network uses the coordination principle. This principle is based on the possibility of converting the original minimization problem in a simpler maximization problem and the solution this problem with using a two-level iterative computational structure. In this paper the analysis of convergence of the two-level hierarchical routing method with coordination is given. The convergence of routing method provides with an agreed transmission of packet flows through the channels.

Введение

Иерархическое построение телекоммуникационных сетей (ТКС) продиктовано необходимостью повышения, во-первых, масштабируемости решений по управлению потоками, маршрутизацией, сетевыми ресурсами, а во-вторых, качества обслуживания и производительности системы в целом. Реализация иерархической стратегии маршрутизации позволит по сравнению с централизованными решениями значительно повысить оперативность и снизить объемы служебного (управляющего) трафика в ТКС. Для реализации иерархической маршрутизации необходимо располагать соответствующими моделями и методами многопоточковой маршрутизации, в рамках которых бы обеспечивалась координируемость решений, полученных на отдельных приграничных маршрутизаторах, с целью предотвращения перегрузки каналов связи.

Модель иерархической маршрутизации

Для каждого узла-источника в ТКС в качестве искомым выступают переменные $x_{ij}^{k_r}$, равные доле интенсивности k_r -го потока пакетов, передаваемой по каналу (i, j) ; k_r – поток пакетов, поступающий в сеть через r -й приграничный маршрутизатор; λ^{k_r} – интенсивность k_r -потока; φ_{ij} – пропускная способность канала связи (i, j) . С целью предотвращения потерь пакетов на маршрутизаторах и в сети в целом необходимо обеспечить выполнение условия сохранения потока:

$$\begin{cases} \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^{k_r} - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^{k_r} = 1, \text{ если } i\text{-й маршрутизатор - узел-источник} \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^{k_r} - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^{k_r} = 0, \text{ если } i\text{-й маршрутизатор - транзитный узел;} \\ \sum_{j:(i,j) \in E} x_{ij}^{k_r} - \sum_{j:(j,i) \in E} x_{ji}^{k_r} = -1, \text{ если } i\text{-й маршрутизатор - узел-получатель.} \end{cases} \quad (1)$$

Система уравнений (1) должна выполняться для каждого потока пакетов. Кроме того, с целью предотвращения перегрузки каналов связи важно выполнить условия:

$$\sum_{r \in M_r} \sum_{k_r \in K} \lambda^{k_r} \cdot x_{ij}^{k_r} \leq \varphi_{ij}. \quad (2)$$

Стоит учесть, что при децентрализованном расчёте маршрутных переменных на каждом отдельно взятом узле-источнике условия (2) в явном виде учесть не представляется возможным, т.к. каждый маршрутизатор определяет путь передачи потока пакетов без информации о результатах расчёта на других приграничных маршрутизаторах [1, 2]. С целью реализации многопутевой маршрутизации на маршрутные переменные следует наложить ограничения вида:

$$0 \leq x_{ij}^{k_r} \leq 1. \quad (3)$$

В векторно-матричной форме условия (1) и (2) можно представить в следующем виде:

$$A_r \cdot \vec{x}_r = \vec{a}_r, \quad (4)$$

$$B_r \cdot \vec{x}_r \leq \sum_{\substack{s \in M \\ s \neq r}} C_{rs} \vec{x}_s, \quad (5)$$

где \vec{x}_r – вектор, координатами которого являются искомые переменные $x_{ij}^{k_r}$.

В ходе расчёта вектора искомым переменных \vec{x}_r в качестве критерия оптимальности получаемых решений выберем минимум следующей целевой функции:

$$\min F, \quad F = \sum_{r \in M_r} \vec{x}_r^t H_r \vec{x}_r, \quad (6)$$

где H_r – диагональная матрица весовых коэффициентов, координаты которой являются метриками каналов связи ТКС, $[\cdot]^t$ – функция транспонирования вектора (матрицы).

Тогда, переходя к задаче на безусловный экстремум, необходимо максимизировать лагранжиан:

$$\begin{aligned} \min_x F &= \max_{\mu} L, \\ L &= \sum_{r \in M_r} \vec{x}_r^t H_r \vec{x}_r + \sum_{r \in M_r} \mu_r^t (B_r \cdot \vec{x}_r - \sum_{\substack{s \in M \\ s \neq r}} C_{rs} \vec{x}_s). \end{aligned} \quad (7)$$

Для решения сформулированной оптимизационной задачи используем принцип целевой координации [3, 4].

Метод иерархической маршрутизации на основе принципа целевой координации
 В рамках данного принципа лагранжиан (7) представляем в виде:

$$L = \sum_{r \in M_r} \bar{x}_r^t H_r \bar{x}_r + \sum_{r \in M_r} \mu_r^t (B_r \cdot \bar{x}_r) - \sum_{r \in M_r} \mu_r^t \sum_{\substack{s \in M \\ s \neq r}} C_{rs} \bar{x}_s. \quad (8)$$

Предположив, что величины μ_r являются фиксированными, т.е. значения множителей Лагранжа определяются на верхнем уровне метода, выражение (8) примет вид:

$$L = \sum_{r \in M_r} L_r, \text{ где } L_r = \bar{x}_r^t H_r \bar{x}_r + \mu_r^t (B_r \cdot \bar{x}_r) - \sum_{\substack{s \in M \\ s \neq r}} \mu_s^t C_{rs} \bar{x}_s. \quad (9)$$

Таким образом, функции (9) приобретают сепарабельную форму, а общая проблема маршрутизации оказалась декомпозицированной на ряд маршрутных задач. Решение задачи по максимизации выражения (7) определяет нижний уровень расчётов, а на верхнем уровне основной задачей является координация решений, полученных на нижнем уровне, с целью недопущения перегрузки каналов связи сети (2) путем модификации векторов множителей Лагранжа в ходе выполнения следующей градиентной процедуры:

$$\mu_r(\alpha + 1) = \mu_r(\alpha) + \nabla \mu_r, \quad (10)$$

где $\nabla \mu_r$ – градиент функции, который рассчитывается исходя из получаемых на верхнем уровне результатов решения задач маршрутизации \bar{x}_s^* на каждом конкретном узле-источнике:

$$\left. \nabla \mu_r(x) \right|_{x = x^*} = B_r \cdot \bar{x}_r^* - \sum_{\substack{s \in M \\ s \neq r}} C_{rs} \bar{x}_s^*. \quad (11)$$

Наглядно схема метода двухуровневой иерархической маршрутизации на основе принципа целевой координации показана на рис. 1.

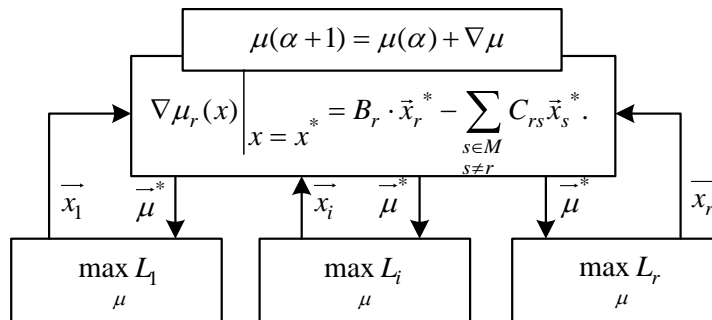


Рисунок 1. Схема метода двухуровневой маршрутизации на основе принципа целевой координации

Исследование сходимости метода иерархической маршрутизации

Для анализа факторов, которые влияют на скорость сходимости координационной процедуры (10)-(11), было рассмотрено множество сетевых структур с различным числом маршрутизаторов и каналов связи. Кроме того, изменялось число потоков и их характеристики (интенсивность). Для примера, результаты исследования представлены для варианта структуры сети, представленной на рис. 2. Сеть состояла из шести узлов и одиннадцати каналов связи. В разрывах каналов связи показана их пропускная способность (1/с). В ходе исследования был проведен анализ влияния числа итераций координирующей процедуры (10)-(11) от загруженности ТКС, т.е. от интенсивности потоков пакетов (рис. 3). Число потоков для наглядности было выбрано двум.

Из рис. 3 видно, что при небольших интенсивностях, в сумме не превышающих 300 1/с, перегрузки каналов связи не наблюдается, а метод сходился за одну итерацию. Однако, при увеличении загруженности сети число итераций увеличивалось. Максимальное же количество итераций координирующей процедуры равнялось в рамках выбранного примера пятнадцати и наблюдалось при интенсивностях каждого из двух потоков в 200 1/с. Чем большей размерности была ТКС, и чем выше была связность ее маршрутизаторов, тем больше число итераций требовалось для сходимости метода к оптимальному значению векторов \bar{X}_r .

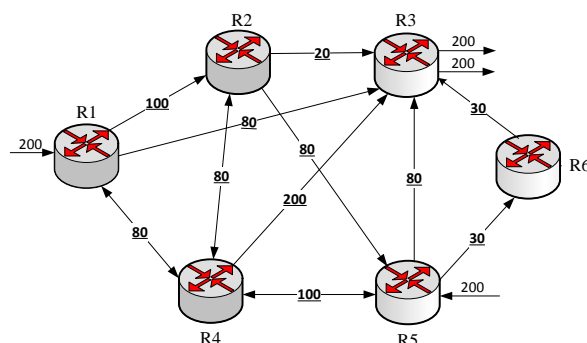


Рисунок 2. Структура сети, используемой для исследования сходимости метода иерархической маршрутизации

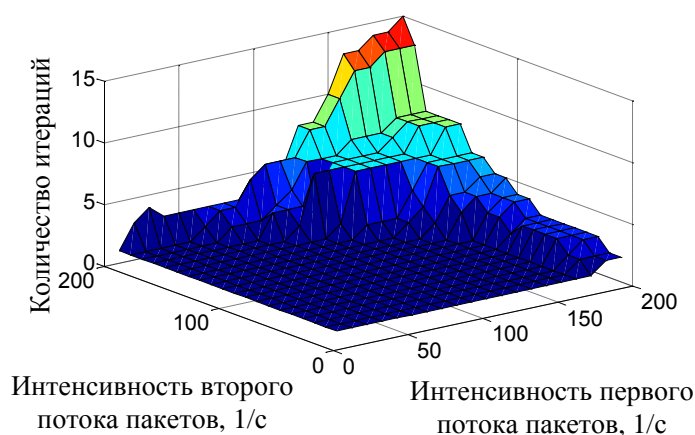


Рисунок 3. Зависимость количества итераций от интенсивностей передаваемых потоков пакетов

Таким образом, проведено исследование сходимости метода двухуровневой маршрутизации на основе принципа целевой координации. Была показана прямая связь между сходимостью метода иерархической маршрутизации и загруженностью ТКС, т.е. интенсивностями потоков пакетов. Наглядно показано, что при загруженности сети на 50% перегрузок каналов связи не наблюдается, а значит, метод сходился за одну итерацию. При увеличении загруженности сети от 55% и более число координирующих итераций нелинейно увеличивалось в связи с возникающей перегрузкой каналов связи.

Литература:

1. Лемешко А.В., Ахмад М. Хайлан, Али С. Али. Целевая координация двухуровневой маршрутизации в MPLS-сети // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб., 2009. Вып. 159, с. 41–45.
2. Лемешко А.В. Многоуровневое управление трафиком в сети MPLS–TE DiffServ на основе координационного принципа прогнозирования взаимодействий [Электронный ресурс] / А.В. Лемешко, Ахмад М. Хайлан // Проблемы телекоммуникаций. 2010, № 1 (1), с. 35 – 44. Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_lemeshko_traffic.pdf.