

АЛГОРИТМ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАГРУЗКИ МЕЖДУ КАНАЛАМИ СВЯЗИ В СЕТЯХ СЛОЖНОЙ ТОПОЛОГИИ.

Батыр С.С., Бессараб В.И., Суков С.Ф.
Донецкий национальный технический университет

У статті розглянуті проблеми швидкісної передачі потоків даних та запропоновано новий алгоритм динамічної маршрутизації та розподілу потоків даних між кількома каналами зв'язку. Запропонований алгоритм використовує методи екстремального керування з ТАУ та комплексні метрики.

На сегодняшний день топология глобальных сетей характеризуется достаточной структурной сложностью и много связностью. Однако несмотря на большое количество высокоскоростных каналов связи между каналами задача по оптимизации передаваемого трафика остается очень актуальной, так как для различных видов трафика необходимо обеспечить оптимизацию характеристик передачи. К примеру, для трафика реального времени (IP-телефония, видеоконференции) нужно минимизировать время доставки, стоимость доставки в этом случае не имеет большого значения. Для электронной почты или передачи данных по протоколам HTTP/FTP уже нет необходимости по минимизации времени доставки, но становится актуальным требование по стоимости передачи данных по каналам связи.

Существующие маршрутизаторы реализуют алгоритмы маршрутизации, которые в зависимости от типа трафика его направляют на тот или иной канал связи, но они практически не используют информацию о загруженности каналов связи. Основными критериями выбора канала является его метрика и/или пропускная способность. Широко распространено использование композитных метрик, при вычислении значений которых используется сразу несколько параметров канала связи. Композитная метрика канала вычисляется как полиномиальная функция от ширины полосы пропускания, задержки распространения сигнала, надежности доставки, нагрузки на канал связи и стоимости передачи данных по каналу связи с соответствующими весовыми коэффициентами[1].

Но эти метрики остаются статическими, не отражающими текущее состояние канала. Поэтому существует необходимость в алгоритме динамической маршрутизации с учетом состояния каналов связи.

В работе [2] предложен алгоритм динамической маршрутизации по кратчайшим путям с использованием состояния каналов, но для его работы требуется, чтобы была известна вся топология сети передачи данных и состояние каналов связи.

Для решения задачи динамической маршрутизации предлагается алгоритм, реализующий динамическое распределение нагрузки между каналами.

В работе [3] была описана многоуровневая топология глобальной компьютерной сети. Маршрут пакета от отправителя до получателя включает маршрутизаторы нескольких уровней – уровня доступа, распределения и ядра. Маршрутизаторы имеют несколько основных и резервных каналов связи. Перед маршрутизатором стоит задача по оптимизации распределения нагрузки между используемыми каналами связи.

Разработаем алгоритм, который будет распределять нагрузку, когда известна загруженность лишь соседних узлов.

Входной поток маршрутизатора нужно передать на следующий уровень сети. Поток можно направить любому исходящему каналу, направленному на следующий уровень. Для упрощения начального этапа разработки рассмотрим случай, когда у маршрутизатора есть два исходящих канала, по которым он должен распределить входящий трафик.

Каналы связи между маршрутизаторами отвечают требованиям:

- 1) все линии связи абсолютно надежные;
- 2) все линии связи имеют помехозащитные свойства;
- 3) каждая линия связи состоит из единого дуплексного канала связи с заданной пропускной способностью.

Топология сети будет иметь вид, представленный на рис. 1.

Примем, что на узел 1 поступает за время $t = 1c$ поток данных объемом V байт для передачи на узлы 2 и 3. Это создает нагрузка n_1 пакетов, где n_1 определяется как:

$$n_1 = \frac{V_1}{N} \quad (1)$$

где N - средний размер пакета.

На узлах 2 и 3 также имеются входные потоки со скоростями V_2 и V_3 , или в пакетах n_2 и n_3 .

Примем, что канал 1-2 имеет скорость передачи данных v_{12} выше, чем канал 1-3 со скоростью v_{13} . Но в тот же время стоимость передачи данных p_{12} по каналу 1-2 выше, чем скорость передачи p_{13} по каналу 1-3. Т.е.:

$$\begin{aligned} V_{12} &> V_{13} \\ p_{12} &> p_{13} \end{aligned} \quad (2)$$

Распределим объем передаваемых данных V_1 , так, чтобы добиться минимизации общего времени передачи данных и/или минимизации стоимости передачи данных.

Представим нашу сеть в трехмерном виде (см. рис.2), т.е. в виде некоторой объемной фигуры. Для этого в узлах 1, 2 и 3 построим отрезки, перпендикулярные плоскости (1,2,3). Длина этих отрезков пропорциональна объему данных, которые передаются в узлах.

Определим углы фигуры $\angle 11'2'$ и $\angle 11'3'$, которые обозначим α_{12} и α_{13} соответственно.

Поскольку $\angle \alpha_{12} < 90^0$ и $\angle \alpha_{13} < 90^0$, тогда из трапеций $11'2'2$ и $11'3'3$ при условии, что углы $11'3$ и $133'$ равны 90^0 , углы α_{12} и α_{13} можно определить таким образом:

$$\operatorname{tg} \alpha_{12} = \frac{m_{12}}{n_1 - n_2}; \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{13} = \frac{m_{13}}{n_1 - n_3}; \quad (4)$$

Т.е.:

$$\alpha_{12} = \operatorname{arctg}\left(\frac{m_{12}}{n_1 - n_2}\right); \quad (5)$$

$$\alpha_{13} = \operatorname{arctg}\left(\frac{m_{13}}{n_1 - n_3}\right) \quad (6)$$

Распределим нагрузку между каналами пропорционально величине углов α_{12} и α_{13} . Исходя из того, что $\alpha_{ij} \rightarrow \pi/2$ при $n_i \rightarrow n_j$ и $\alpha_{ij} > \alpha_{ik}$ при $m_{ij} > m_{ik}$, и приняв величину метрики прямо пропорциональной пропускной способности канала, то на угол с большей величиной должен приходиться меньший объем трафика. Тогда величина $(\pi/2 - \alpha_{ij})$ будет зависеть от объема данных, которые передаются – чем меньше $(\pi/2 - \alpha_{ij})$, тем меньший объем трафика передается по линии.

Определим частицу трафика, что передается по ij -ому канала. Для этого определим, какую часть занимает $(\pi/2 - \alpha_{ij})$ в общей сумме

$\sum_{m=1}^K (\pi/2 - \alpha_{im})$, где K – количество исходящих каналов. Тогда объем данных, которые передаются по каналу ij , составит :

$$V_{ij} = \frac{\pi/2 - \alpha_{ij}}{\sum_{m=1}^k (\pi/2 - \alpha_{im})} \quad (7)$$

Таким образом, определив объем трафика, мы можем определить задержку при передаче:

$$T = \max (V_{ij} * v_{ij}), \quad (8)$$

где T - общее время передачи.

Попробуем исследовать зависимость (8).

Для двух каналов связи выражение примет вид:

$$T = \begin{cases} V_{13}/v_{13} & \text{при } V_{13}/v_{13} > V_{12}/v_{12} \\ V_{12}/v_{12} & \text{при } V_{13}/v_{13} < V_{12}/v_{12} \end{cases}, \quad (9)$$

Минимум T будет достигнут тогда, когда весь объем данных V_1 будет передан по линиям связи 1-2 и 1-3 при максимальной одновременной загрузке обоих каналов, т.е.

$$V_{12}/v_{12} = V_{13}/v_{13} \quad (10)$$

при условии, что $V_1 = V_{12} + V_{13}$.

При любом распределении нагрузки, которая отличается от вышеприведенного, время передачи будет больше.

Построим зависимость T от V_{12} , приняв $V_{13} = (V_1 - V_{12})$. График будет иметь вид, представленный на рис.3.

Из анализа (10) и (12) можно прийти к выводу, что оптимизируемый параметр можно представить в виде функции общего вида:

$$F = f(\alpha_{12}, \alpha_{13}). \quad (11)$$

С учетом выражений (5) и (6) функция (12) примет вид:

$$F = f(g(m_{13}, m_{14})), \quad (12)$$

Таким образом, минимизируемый параметр представляет собой функцию метрик канала связи. Применение методов экстремального управления [4] для поиска экстремума (минимума времени передачи) позволит найти соответствующую комбинацию метрик. Для этого программное обеспечение маршрутизаторов должны в реальном времени обмениваться данными о состоянии каналов связи и своей загруженности. Но за счет этого будет возможно оптимизировать передачу данных и минимизировать время доставки.

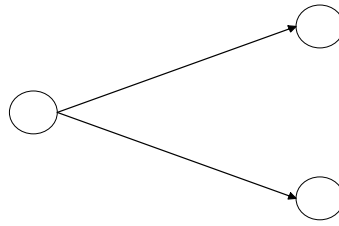


Рисунок 1 - Упрощенная модель сети

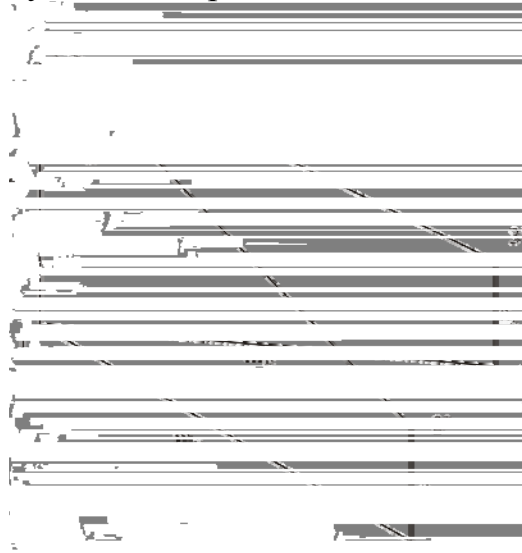


Рисунок 2 - Модель сети в виде объемной фигуры

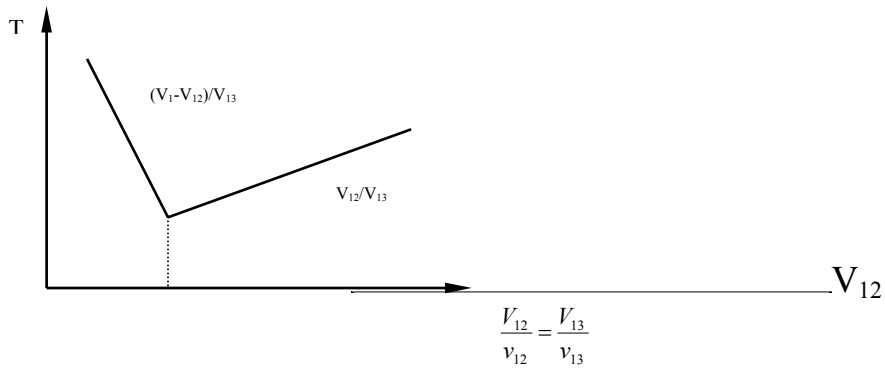


Рисунок 3 – Графики зависимостей $T=f(V_{12})$

Литература:

1. Х.Остерлох «Маршрутизация в IP-сетях принципы, протоколы, настройка», – СПб, ООО "ДиасофтЮП", 2002
2. В.М.Вишневский «Теоретические основы проектирования компьютерных сетей», – М., Техносфера , 2003
3. Батыр С.С., Суков С.Ф. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ – Сборник трудов 2-го международного молодежного форума «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В XXI ВЕКЕ» – г.Днепропетровск(Украина), 27-28.04.2004
4. Красовский А.А., Поспелов Г.С. «Основы автоматики и технической кибернетики», – М., Госэнергоиздат, 1962