

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПРОТОКОЛОВ МАРШРУТИЗАЦИИ

С.А. Макеев

Качество функционирования маршрутизируемых сетей передачи данных (СПД) в значительной степени определяется эффективностью используемых алгоритмов маршрутизации и правильным выбором значений конфигурируемых параметров маршрутизатора, настройка которых осуществляется в зависимости от выполнения условий доставки сообщений.

Разработанные автором на основе математического аппарата теории массового обслуживания аналитические и имитационные модели позволяют оценить эффективность функционирования процесса маршрутизации, обосновать выбор того или иного протокола маршрутизации, настроить конфигурируемые параметры протокола маршрутизации.

Анализ работы сети позволяет выявить узкие места и, устранив их, оптимизировать сеть под выполняемые задачи.

Предметом исследования является сеть и работа маршрутизаторов. Сеть – в данном случае, набор взаимосвязанных, посредством маршрутизаторов, автономных систем, каждая из которых, в свою очередь, объединяет конечных клиентов, представляющих собой источники сетевых сообщений. Сетевое сообщение может содержать любую информацию.

В качестве исходных данных к имитационной модели были выделены следующие (рис.1):

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ - параметры исследуемой сети:

- топология сети;
- пропускные способности каналов;
- средняя длина передаваемого по сети сообщения.

$L = \{l_1, l_2, \dots, l_k\}$ - параметры нагрузки сети:

- интенсивность сообщений поступающей в сеть;
- интервалы рассылки служебных сообщений подпротоколов LS,HELLO.

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ - y_i параметры i -го ($i=1..k$) узла-маршрутизатора сети:

- количество процессоров маршрутизатора;
- длина очередей маршрутизатора;
- среднее время обработки заголовка одного сообщения процессором маршрутизатора.

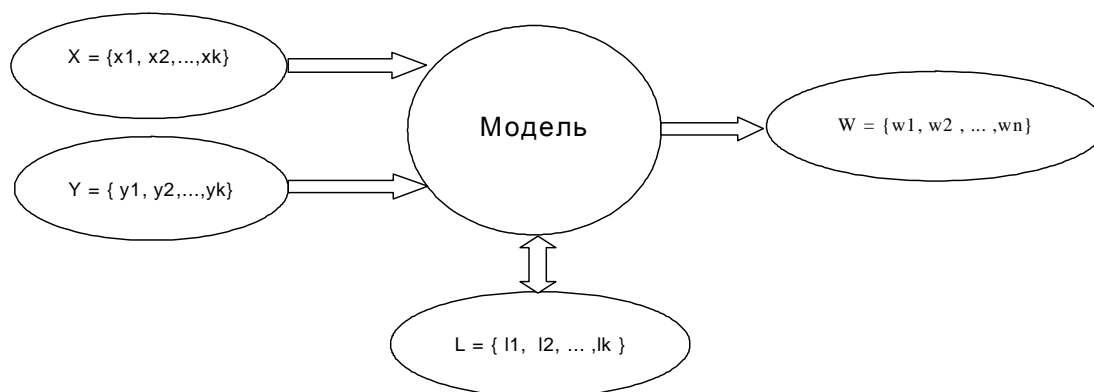


Рис.1 Структура исходных данных

$W = \{ w_1, w_2, \dots, w_n \}$ - основные результаты моделирования:

- оценка состояния таблиц маршрутизации;
- время доставки служебных сообщений протокола маршрутизации;
- время доставки сообщений.

Основные моделируемые функции:

- маршрутизация входящих сообщений от источников сообщений;
- имитация работы маршрутизатора работающего по протоколу OSPF.

Требуется определить:

- максимальные временные интервалы рассылки служебных сообщений протокола маршрутизации, при которых достигается заданный уровень доставки сообщений;
- основные характеристики работы сети.

Алгоритм функционирования узла – маршрутизатора:

- входящее сообщение попадает в очередь;
- учитывая дисциплину обслуживания, процессор выбирает заявку, анализирует ее заголовок;
- процессор с помощью протокола маршрутизации определяет направление для отправки сообщения и поддерживает актуальность таблиц маршрутизации путем обмена служебными сообщениями с другими узлами;
- после обработки заголовка сообщения и выбора исходящего направления сообщение попадает в очередь ожидания канала – канал может быть занят отправкой другого сообщения.

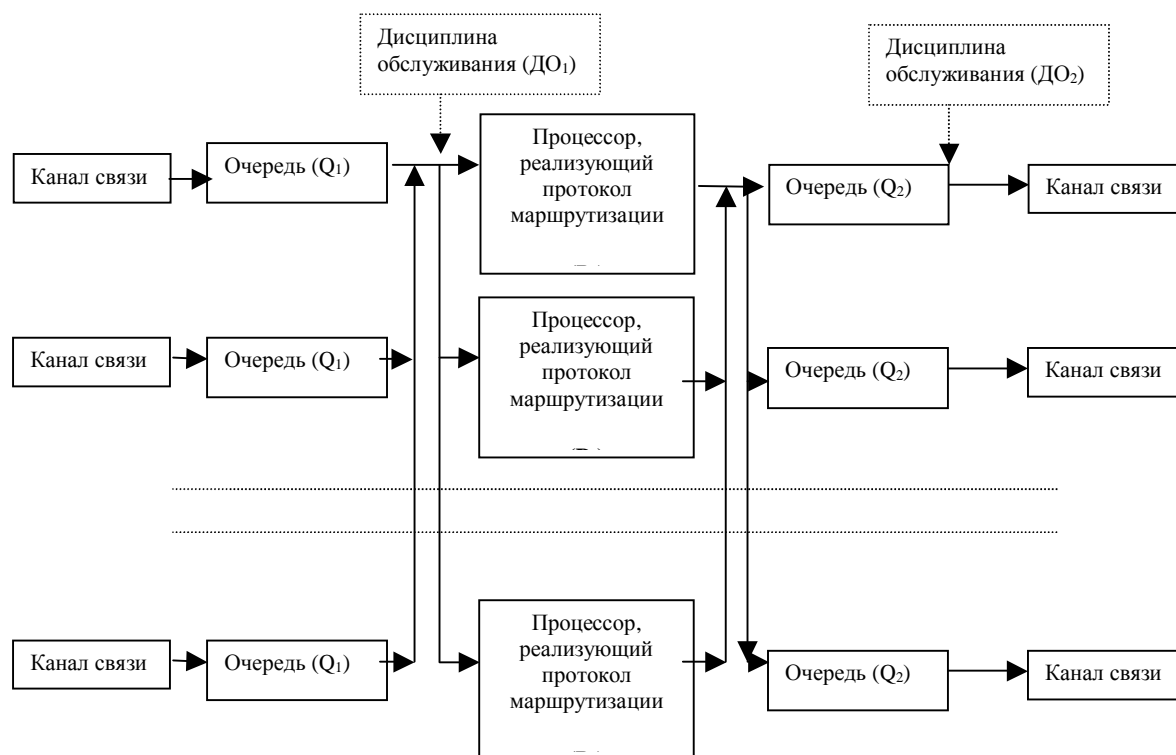


Рис.2 Модель маршрутизатора

Каждый компонент узла реализован в виде отдельного приложения, состав и связи между компонентами задаются в зависимости от реальной модели производителя или от проектируемой модели маршрутизатора.

При построении модели СПД используются следующие предположения:

- потоки сообщений, поступающих в сеть, предполагаются простейшими;

- потоки сообщений, циркулирующих между узлами СПД, предполагаются независимыми;
- длины сообщений фиксированы;
- отсутствуют петли в маршрутах.

Введенные предположения позволяют использовать в качестве модели СПД экспоненциальную РСМО [1], которая в соответствии с эквивалентным преобразованием может быть представлена как совокупность независимых экспоненциальных СМО.

Исследуемая сеть передачи данных описывается следующими структурными и нагрузочными параметрами:

1) матрица состояния связей $S(n)$, где n – количество маршрутизаторов в сети, а S_{ij} – метрика канала, соединяющего маршрутизатор i с маршрутизатором j ;

2) матрица $\lambda = [\lambda_{kl}]$ интенсивностей сообщений от источника (ЛВС), соединенного с маршрутизатором k , адресованных к источнику, подсоединенному к маршрутизатору l ;

3) l_c – средняя длина сообщения, передаваемого по сети. Время передачи данных по каналам связи для каждого канала зависит от длины пакета [бит] и от скорости передачи данных по КС [бит/с];

$$b_{ij} = \frac{l_c}{V_{ij,КС}} \text{ с.}$$

4) b_{cpu} – среднее время обработки заголовка одной заявки одним процессором маршрутизатора;

5) n_{cpu_i} – количество процессоров для i -го маршрутизатора;

6) v_k – объем очереди маршрутизатора k

Из матрицы состояния связей по алгоритму SPF (предложен Е.В. Дейкстрой) можно построить маршрутные таблицы для каждого маршрутизатора сети [2,3]. На основании этих таблиц находим матрицы $P(k,l) = [P_{ij}(k,l)]$, где $P_{ij}(k,l)$ – вероятность того, что при передаче сообщения от маршрутизатора k к маршрутизатору l сообщение пройдет по каналу $i \rightarrow j$, т.е. через маршрутизатор j . Маршруты прохождения сообщения фиксированы в соответствии с маршрутными таблицами, и нет необходимости использовать для нахождения суммарной интенсивности потока сообщений в узел передаточные коэффициенты:

$$P_{ij}(k,l) = \begin{cases} 1 - n_{pu_i} \frac{v_k + V_{КС,ij} * t}{\lambda_k * t} < 1 \\ 0 - n_{pu_i} \frac{v_k + V_{КС,ij} * t}{\lambda_k * t} \geq 1 \end{cases}$$

Потоки можно суммировать как независимые в соответствии с маршрутной информацией.

Суммарная интенсивность потока сообщений в узел i рассчитывается по формуле

$$\Lambda_i = \sum_{k=0}^n \sum_{l=0}^n (\lambda_{kl} * \sum_{j=0}^n P_{ji}(k,l)).$$

Λ_i используется для оценки времени обработки заголовка сообщения в узле связи i . Суммарная интенсивность потока сообщений в КС ($i \Rightarrow j$):

$$\Lambda_{ij} = \sum_{k=0}^n \sum_{l=0}^n (\lambda_{kl} * P_{ij}(k,l))$$

Λ_{ij} используется для оценки задержки сообщений при передаче по КС ($i \Rightarrow j$). Среднее время пребывания в процессорном модуле маршрутизатора i :

$$U_{cpu_i} = \frac{b_{cpu_i}}{(1 - b_{cpu_i})(\Lambda_i + \Lambda_{ucm})}$$

Λ_{ucm} – интенсивность сообщений, поступающих из источника (ЛВС), подключенного к маршрутизатору i ; $b_{cpu_i} = \frac{b_{cpu}}{n}$ – время обработки заголовка сообщения в процессорном модуле маршрутизатора, n количество процессоров маршрутизатора.

Среднее время пребывания в канале $i \rightarrow j$: $U_{ij} = \frac{b_{ij}}{1 - b_{ij} * \Lambda_{ij}}$. Среднее время пребывания в узле маршрутизаторе: $U_i = U_{cpu_i} + \sum_{j=0}^n (\frac{\Lambda_{ij}}{\Lambda_i} U_{ij})$. $U_{cpu} = [U_{cpu_i}]$ -- столбец времен пребывания сообщений в процессорных модулях. $U_{kc} = [U_{ij}]$ – матрица времен пребывания сообщений в каналах $i \rightarrow j$, $U_{ii} = 0$

Обозначим U_{kl} маршрута – время пребывания сообщения на маршруте от маршрутизатора k до адресованного источника, подсоединенного к маршрутизатору l . U_{kl} маршрута складывается из двух составляющих: времени пребывания сообщения в процессорных узлах маршрута и времени пребывания сообщения в каналах маршрута.

1. U_{klcpu} – сумма времен пребывания сообщения в транзитных процессорных модулях маршрутизаторов сети на маршруте от маршрутизатора k до адресованного источника, подсоединенного к маршрутизатору l .

$$U_{klcpu} = \sum_{i=0}^n (U_{cpu_i} * \sum P_{ij}(k, l)) + U_{cpu_l}$$

2. U_{klkc} – сумма времен пребывания сообщения в транзитных каналах сети на маршруте от маршрутизатора k до адресованного источника, подсоединенного к маршрутизатору l .

$$U_{klkc} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n (U_{ij} P_{ij}(k, l))$$

Таким образом, получаем

$$U_{kl} \text{ маршрута} = \sum_{i=0}^n (U_{cpu_i} * \sum P_{ij}(k, l)) + U_{cpu_l} + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n (U_{ij} P_{ij}(k, l)).$$

Обозначим через α_{kl} коэффициент, означающий долю, приходящуюся на интенсивность сообщений от маршрутизатора k , адресованных маршрутизатору l , в общую интенсивность, генерируемую всеми подключенными к маршрутизаторам источниками сообщений (ЛВС) по всем маршрутам.

$$\alpha_{kl} = \frac{\lambda_{kl}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \lambda_{ij}}$$

Среднее время пребывания сообщения в сети рассчитывается по формуле

$$\bar{U} = \sum_{k=0}^n \sum_{l=0}^n (\alpha_{kl} U_{kl} \text{ маршрута})$$

В приведенных выше зависимостях не учтено приоритетное обслуживание заявок. В данной работе рассматривались два класса заявок: служебные сообщения протокола OSPF, имеющие наивысший приоритет, и весь остальной трафик. Дисциплина диспетчеризации – с относительными приоритетами, идеальный случай – система без потерь заявок. В этом случае можно применить следующие зависимости для расчета времени ожидания заявок:

$$U_{OSPF}^{OP} = \frac{\lambda_{OSPF} \cdot b_{OSPF}^2 + \lambda_{IP} \cdot b_{IP}^2}{1 - \lambda_{OSPF} \cdot b_{OSPF} - \lambda_{IP} \cdot b_{IP}}$$

$$U_{IP}^{OP} = \frac{\lambda_{OSPF} \cdot b_{OSPF}^2 + \lambda_{IP} \cdot b_{IP}^2}{(1 - \lambda_{OSPF} \cdot b_{OSPF})(1 - \lambda_{OSPF} \cdot b_{OSPF} - \lambda_{IP} \cdot b_{IP})}$$

Основной задачей, преследовавшейся в данной работе, была проверка результатов, полученных с помощью имитационных моделей аналитическими зависимостями, где это возможно [4]. Расхождение результатов полученных с помощью имитационной модели и аналитики составило 10–15%, что вполне приемлемо. Результаты исследований могут быть использованы как при проектировании маршрутизируемых сетей, так и для устранения узких мест и снижения служебного трафика.

Литература

1. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. М.: Машиностроение, 1979
2. Семенов Ю.А. Протоколы и ресурсы Internet. М.: Радио и связь, 1996
3. J. Moy. OSPF Version 2 (RFC 1583). Proteon Inc., March 1994
4. J. Moy OSPF protocol analysis (RFC 1245). Proteon Inc., July 1991