

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЯ МАРШРУТИЗАЦИЕЙ В IP СЕТЯХ****Котков М.А., Хорхордин А.В., Бойко В.В.**

Донецкий национальный технический университет, факультет КИТА

E-mail: glorytown@fcita.dn.ua

**Abstract**

*Kotkov M.A., Khorhordin A.V., Boiko V.V. The optimal control of IP network routing. In the article the problems of network routing control are reviewed. The protocol tools to flow and routing management are analyzed. Structure of automatic control system is viewed as a classic system of technology control with dynamic controlled object. Method of analyze these systems are reviewed.*

**Актуальность темы.** В деятельности провайдера сети с коммутацией пакетов (к которым относится и сеть IP) есть два аспекта. С одной стороны, необходимо обеспечить наилучшие показатели качества обслуживания абонентов, т.е. минимальную задержку и минимальную вероятность потерь. С другой стороны, обслуживание должно осуществляться с наименьшими затратами, что физически означает наиболее полное использование пропускной способности каналов связи. Но, как известно, в любой системе массового обслуживания увеличение коэффициента использования ресурсов неизбежно влечет за собой потерю качества обслуживания – при неизбежных флуктуациях трафика вероятность потери пакетов прямо связана с заполненностью канала передачи данных. Поэтому актуальной является задача оптимального управления сетью пакетной передачи – найти такие способы управления потоком данных в каналах, при которых можно обеспечить и высокие показатели качества для потребителей услуг, и эффективное использование каналов для провайдеров.

**Обзор существующих механизмов решения проблемы.** Есть два основных механизма в сети, которые позволяют воздействовать на процесс передачи данных. Один из них – маршрутизация, т.е. принятие решения о доставке информации по тому или иному каналу. При этом от того, какое решение будет принято, зависят показатели качества работы транспортной сети. В дополнение к указанным показателям здесь появляется еще и равномерность распределение нагрузки по каналам.

В общем случае маршрутизация осуществляется на основании данных из таблицы, содержащей адреса сетей-получателей, адреса портов и некоторые показатели (метрики). Данная таблица может быть статической (маршруты определяются заранее), или динамической (маршруты меняются при каких-либо условиях). Для динамического изменения таблицы маршрутизации используются различные протоколы (RIP, OSPF, BGP и др.), согласно которых маршрутизаторы обмениваются между собой информацией и принимают решения об изменении своих таблиц [1,2].

Однако предусмотренных в любом протоколе средств управления таблицами маршрутизации недостаточно для настройки действительно оптимальной маршрутизации по следующим причинам:

- стоимость передачи данных по каналам зависит от времени суток и дней недели (ночные, воскресные, праздничные тарифы);
- существует требование балансировки нагрузки на каналы;
- каналы необходимо загружать до какого-то предела, при котором не страдают показатели качества доставки информации, а это предел у каждого канала свой.

**Постановка задачи.** Есть и другой механизм, который пока что не использовался в полную меру, но который сейчас во всем мире интенсивно изучается с означенной целью.

Это – управление трафиком. Суть его заключается в том, что вводится цепь обратной связи между сетью и источником информации. “Сеть” (в смысле устройство, предоставляющее абоненту доступ к сети), посылает источнику сигнал о том, с какой интенсивностью она готова принимать от него данные [3]. Это вовсе не означает, что источник нагрузки как-то реагирует на сигнал; старое программное обеспечение не предусматривало никаких механизмов регулирования. Однако, сейчас многие источники нагрузки (прикладные программы) в принципе могут снизить скорость, растянув передачу данных на более долгий срок (передача файлов, почты); иные могут снизить скорость за счет ухудшения качества своей работы (аудио, видео). Таким образом, задача ставится так: принять от отправителя все данные, которые он хочет передать, но при этом распределить их во времени так, чтоб исключить перегрузку каналов.

Различие в работе неуправляемой сети и сети, управляемой по предлагаемому способу, может быть проиллюстрировано графиком (рис.1), где  $t$  – время суток,  $\lambda$  - скорость поступления запросов, кривая 1 показывает работу неуправляемой сети, кривая 2 – управляемой. Рассматривается отрезок из времени суток, называемый „часом наибольшей нагрузки” (ЧНН).

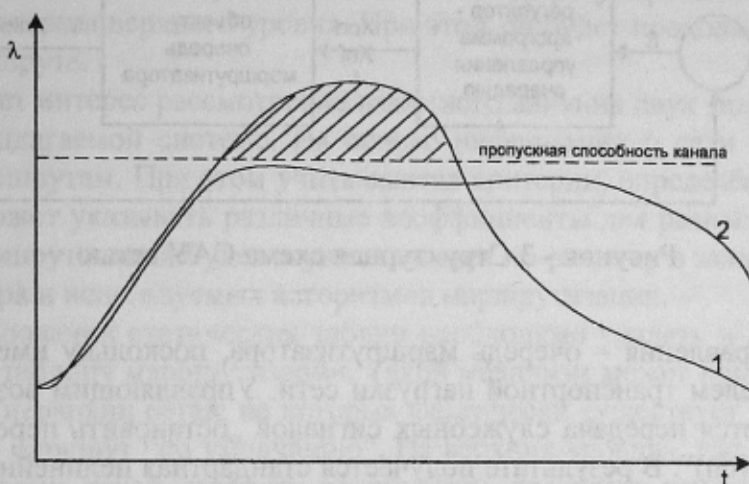


Рисунок - 1 Графики работы неуправляемой и управляемой сетей

Полезная работа сети – это площадь, ограниченная кривой, показывающей скорость поступления запросов. Очевидно также, что для кривой 1 полезная работа ограничена сверху также прямой, показывающей пропускную способность канала. При использовании управления потоком данные, которые не могли быть переданы в ЧНН, просто вытесняются в область, где скорость поступления запросов уже не превышает пропускную способность канала. Таким образом, площадь подынтегральной кривой увеличивается, что и определяет основной критерий оптимизации – максимум интегральной пропускной способности.

**Методика решения.** Для решения подобных задач может быть предложена система в таком виде (рис.2):

Функции элементов схемы следующие:

1. Монитор состояния сети - запускается с заданной периодичностью и считывает необходимые показатели работы сети;
2. Анализатор - по заданным алгоритмам формирует требования к таблице маршрутизации;
3. Исполнитель - корректирует таблицу маршрутизации на основе сформированных требований.

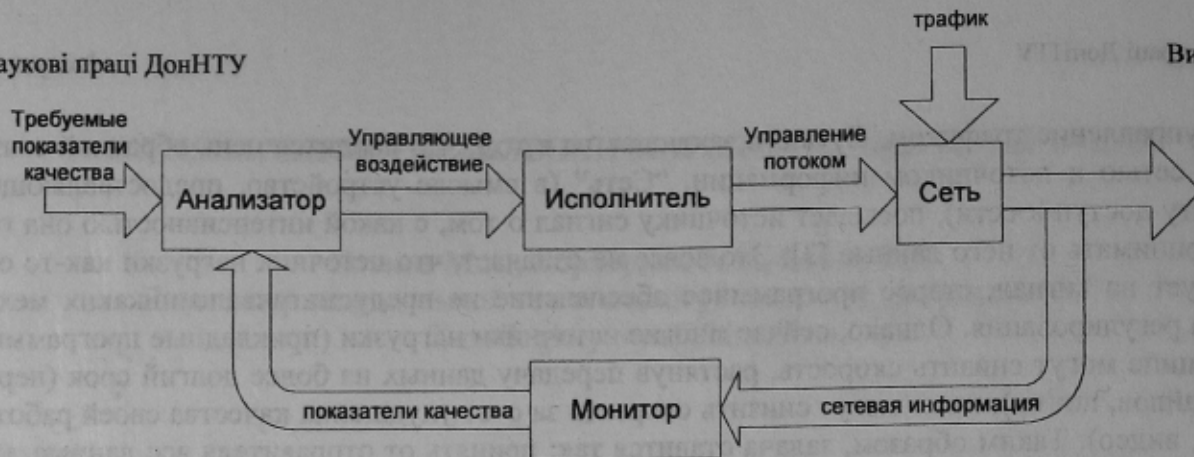


Рисунок - 2 Функциональная схема системы управления маршрутизацией в сети

Предложенный способ реализуется при помощи двухуровневой системы управления сетью, на нижнем уровне которой – классическая схема системы автоматического управления по отклонению (САУ) – рис.3.

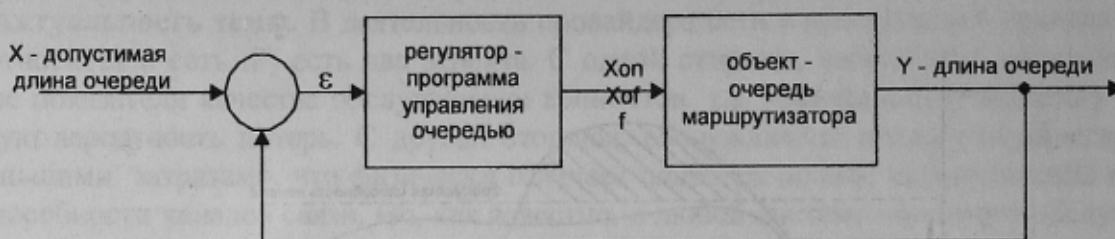


Рисунок - 3 Структурная схема САУ сетью

Здесь объект управления – очередь маршрутизатора, поскольку именно она является объективным показателем транспортной нагрузки сети. Управляющим воздействием в простейшем случае является передача служебных сигналов „остановить передачу (Xoff) – возобновить передачу (Xon)”. В результате получается стандартная нелинейная система управления с емкостным объектом (очередь) и двухпозиционным регулированием. Задающим воздействием является длина очереди, параметрами регулирования – порог срабатывания и порог отпускания. Возможны и схемы с использованием плавного регулирования, однако стандартных протокольных средств плавного управления потоком пока не существует, хотя работы в этом направлении интенсивно ведутся [7]. Это не меняет самой сути – схема системы регулирования остается пригодной и для таких систем.

Представленная структура – это классическая САУ со средствами измерения технологических параметров, схемой сравнения, регулятором и исполнительным механизмом. В роли датчика выходного сигнала, схемы сравнения и регулятора выступают специализированные программы, в качестве исполнительного механизма – интерфейс управления стандартным маршрутизатором.

На верхнем уровне решается задача оптимизации – вырабатывается задание на регулирование для нижнего уровня управления, и настраиваются параметры регулирования. Используется стандартная схема оптимального управления по интегральному критерию качества в пространстве состояний (рис.4), описываемая системой уравнений (1).

$$\begin{cases} \dot{x}(k+1) = (A - BK) \cdot x(k) + B \cdot U(k); \\ y(k) = C \cdot x(k), \end{cases} \quad (1)$$

где A – матрица динамической системы объекта управления, B – матрица управления, C – матрица измерений системы, K – матрица обратной связи (коэффициентов оптимального регулятора).

Основным инструментом, воздействующим на сеть, является маршрутизатор. Традиционная задача, решаемая маршрутизатором – это выбор маршрута следования информации.

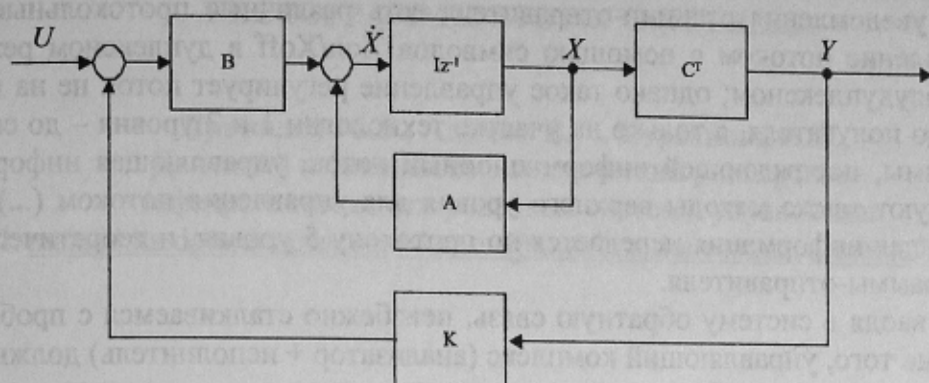


Рисунок 4 - Общая структура системы оптимального управления сетью

Управление потоком до сих пор не являлось его основной функцией, однако в предлагаемом способе управления сетью он будет включен в контур регулирования и получать задающее воздействие от системы верхнего уровня. При этом он будет продолжать решать также и задачу выбора маршрута.

Представляет интерес рассмотрение взаимного влияния двух задач, решаемых маршрутизатором в предлагаемой системе. На основе информации о сети анализатор формирует требования к маршрутам. При этом учитываются критерии, определённые администратором (например, он может указывать различные коэффициенты для разных факторов). Корректировка таблиц маршрутизации будет осуществляться по-разному в зависимости от конкретного маршрутизатора и используемых алгоритмов маршрутизации.

При использовании статических таблиц необходимо удалять и записывать данные непосредственно в таблицу маршрутизации. Такой механизм может применяться, но только на нижних уровнях иерархии сетей, на которых фактически существует только два маршрута – на “свою” сеть и маршрут “по умолчанию”. На верхних уровнях, где используются таблицы со многими записями, такой механизм неприменим, поскольку изменения в таблицах происходят регулярно (при включении-отключении каналов), и изменения, которые вносит система управления, будут пересекаться с изменениями, вносимыми со стороны протоколов динамической маршрутизации. Иными словами, команда “включить канал-выключить канал” будет создавать возмущающее воздействие на другие маршрутизаторы, решающие ту же задачу на своих участках сети. Это означает, что система является многосвязной и требует применения методов анализа и синтеза, специфичных для многосвязных систем.

Одним из основных показателей качества работы сети является отсутствие потерь передаваемой информации. Конкретно, для элемента сети – маршрутизатора, это означает, что система должна управлять очередью передаваемых информационных пакетов и принимать меры при нарушении определенных показателей заполненности очередей, то есть решать задачу управления перегрузками. Без этих средств управления всегда возникают ситуации, когда при линейном нарастании нагрузки количество доставленных пакетов достигает некоторого предела, а время ответа (фактически отражает время доставки), начиная с некоторого значения, катастрофически возрастает. Причина этого в том, что узлы отправители, сталкиваясь с потерями информации, предпринимают попытки повторной передачи.

Существующее настоящее время управление перегрузками основано на механизме, предусмотренном в протоколе TCP – уменьшить количество передаваемых пакетов при обнаружении потери. Данный механизм позволяет сети выйти из ситуации, когда перегрузка уже случилась, но не предотвратить её.

Для того чтобы сеть не входила в режим низкой пропускной способности и больших задержек необходимо обнаруживать возможность перегрузки до переполнения очередей и

уведомлять об этом конечные узлы, осуществляющие передачу данных. Но это уведомление должно происходить не через выбрасывание пакетов из очереди, а передачей соответствующего кода. Для уведомления станции-отправителя есть различные протокольные методы. Например, управление потоком с помощью символов Congestion Control в дуплексном режиме или backpressure в полудуплексном; однако такое управление регулирует поток не на всем пути от отправителя до получателя, а только на участке технологии 1 и 2 уровня – до самой прикладной программы, порождающей информационный поток, управляющая информация не дойдет. Существуют также методы верхнего уровня для управления потоком (...) – в этом случае управляющая информация передается по протоколу 5 уровня, и теоретически может достигнуть программы-отправителя.

Однако, вводя в систему обратную связь, неизбежно сталкиваемся с проблемой устойчивости. Кроме того, управляющий комплекс (анализатор + исполнитель) должны решать опять же стандартную задачу обеспечения качества регулирования – точности, временных и других характеристик. В таком случае сеть выступает как динамический объект и подлежит анализу именно с этой точки зрения. Анализ сети как динамического объекта осложняется тем, что возмущающие воздействия носят случайный и нестационарный характер (показатели нагрузки сильно зависят от времени суток, дня недели и времени года). Кроме того, поскольку маршрутизаторы, как правило, включены каскадно, то при установке системы управления на нескольких соседних маршрутизаторах они образуют многосвязную систему управления многосвязным объектом. Математический аппарат для синтеза и анализа таких систем только в очень малой степени может строиться на дифференциальных уравнениях. Основной способ исследования таких управляющих комплексов – это имитационное моделирование.

**Выводы.** Разработан способ автоматического управления транспортной информационной сетью, работающей по протоколу IP, заключающийся в том, что маршрутизатор выполняет дополнительную функцию управления потоком информации, что обеспечивает эффективное использование каналов связи наряду с качеством обслуживания для конечных потребителей. Данный способ реализуется посредством двухуровневой системы автоматического управления, нижний уровень которой представляет собой САУ по отклонению, а верхний является системой оптимального управления и выдает задание для нижнего.

### Литература

1. Хизер Остерлох. Маршрутизация в IP-сетях. Принципы, протоколы, настройка.: Пер. с англ. – СПб.: ООО “ДиаСофтЮП”, 2002. – 512 с.
2. Альваро Ретана, Дон Слайс, Расс Уайт. Принципы проектирования корпоративных IP-сетей. : Пер. с англ. – М. : Издательский дом “Вильямс”, 2002. – 368 с.: ил. – Парал. тит. англ.
3. Столлингс В. Современные компьютерные сети.: Пер.с англ. – СПб.:Питер, 2003. – 783 с.
4. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей.: М.: Техносфера, 2003. – 512 с.
5. Хорхордин А.В., Котков М.А. Розробка системи оптимального управління маршрутизацією в IP-мережах з балансуванням навантаження комунікаційних каналів // Збірка студентських наукових праць факультету КІТА. Випуск – 1. – Донецьк-ДонНТУ-2003.
6. Amit K. Jain, Sally Floyd. Quick-Start for TCP and IP. Internet Engineering Task Force, 2002.
7. Sally Floyd, Sylvia Ratnasamy, Scott Shender. Modifying TCP's Congestion Control for High Speeds. 2002.
8. Paul Barford, David Plonka. Characteristics of Network Traffic Flow Anomalies.