

УДК 351.814.331:519.711.3

Водопьянов С.В.

## АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТОПОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Національний авіаційний університет

*Исследованы параметры информационно-вычислительных систем организации воздушного движения, в которых решаются задачи анализ и прогноза уровня безопасности полетов. Разработан алгоритм оптимального выбора параметров и топологии сети в зависимости от статистики и интенсивности сетевого трафика. Предложен метод выбора целевой функции оптимизации в зависимости от требуемого качества.*

### Вступление

В перспективных корпоративных сетях систем УВД роль сетей доступа будут играть локальные сети, к которым подключены автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов [1]. В организационном плане в такой системе должна обеспечиваться поддержка всего спектра услуг, как на уровне транспортных сетей, так и на уровне сетей доступа для терминалов, находящихся в распоряжении оператора в настоящее время – обычных, мобильных или IP-телефонов, внутренних сетей громкоговорящей связи, персональных компьютеров. Кроме того, по заявкам клиентов необходимо быстро и без остановки работы системы заказчика (в нашем случае – системы УВД) организовывать и/или модифицировать индивидуальные наборы услуг, в том числе и дополнительные виды обслуживания. Другими словами, должна обеспечиваться так называемая «мультисервисность» [2].

Как известно, коэффициент использования сетей не может быть слишком близок к единице, иначе полезная пропускная способность сети резко упадет. Сеть будет или повторно передавать утерянные пакеты и квитанции, или обрабатывать коллизии, т.е. работать «на себя». Ни в коем случае нельзя допускать неконтролируемую перегрузку сети, потому что восстановление параметров заявленной производительности сети идет намного медленнее, чем их падение [3]. Поэтому для управления ресурсами и поддержания пропускной способности сети в целом на требуемом уровне необходимо перераспределять нагрузку на отдельные сегменты уже при появлении самых первых симптомов перегрузки, пока она еще контролируема.

### Пути решения

Структуризация и сегментация сетей может быть доведена до вырожденного состояния (режим «микросегментации», когда каждый терминальный узел фактически представляет собой отдельный сегмент). Тогда число узлов коммутации (УК) будет практически равно числу терминальных узлов. Помимо существенного удорожания системы в целом, это может привести к другим отрицательным последствиям. Из-за задержек прохождения данных (кадров, пакетов) через УК, потерь данных при переполнении буферов и вынужденных повторов пересылки потерянных данных пропускная способность сети может уменьшиться. Кроме того, будут утрачены такие очевидные преимущества сети со стандартной технологией разделяемой среды:

- простота топологии и легкость наращивания числа терминальных узлов в пределах, которые определяются стандартом технологии;
- простота регулирования потока данных и доступа пользователей к общей разделяемой среде (например, с помощью арбитра сети);
- простота и полная унификация протоколов обмена, что обеспечивает простоту конструкции, а, следовательно, низкую стоимость и высокую надежность сетевого оборудования.

Поэтому, очевидно, существует разумный оптимум в выборе числа сегментов сети и числа терминальных узлов в каждом сегменте. При этом, естественно, вовсе не обязательно, чтобы каждый сегмент имел одинаковое число узлов – все определяется интенсивностями потоков данных в отдельном сегменте.

Пусть имеются  $N$  терминальных узлов локальной сети или сети доступа (рис. 1). Между терминальными узлами имеются УК, которые присоединены к корневому УК (КР УК) для данного сегмента. УК могут работать как в обычном режиме, так и в «прозрачном» режиме. В обычном режиме работы УК строятся таблицы маршрутизации и изолируются отдельные сегменты друг от друга, вплоть до перехода в режим «микросегментации» - каждый терминальный узел присоединяется к КР УК через свой УК. В «прозрачном» режиме УК работает как простой повторитель, без пе-

реадресации поступающих пакетов. Формируется общая разделяемая среда, для которой задержки передачи данных минимальны, алгоритм обмена данными наиболее прост, а, следовательно, надежность работы сегмента наиболее высока.

В исходном состоянии, при отсутствии признаков перегрузки сегмента сети, все УК работают в «прозрачном» режиме. Данные через них передаются транзитом. Сегмент представляет собой общую разделяемую среду и один домен коллизий.

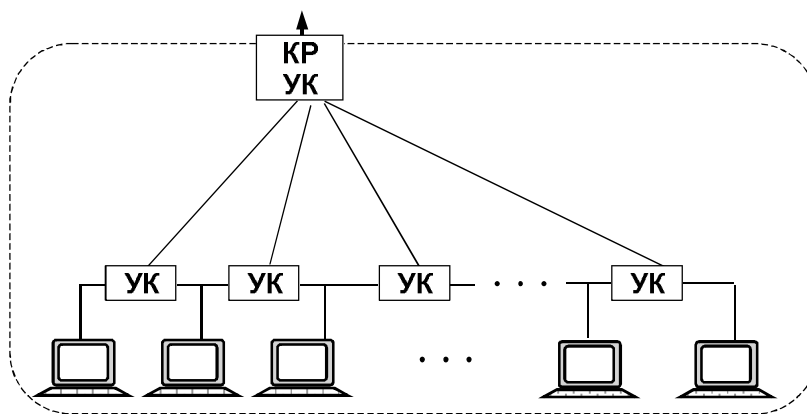


Рис. 1. Структура сети

Для поиска экстремума – оптимальной структуры – целесообразно использовать методы поиска. Наличие перегрузки фиксируется по числу потерь и повторных передач пакетов. Число повторных передач не связано жесткой функциональной зависимостью с коэффициентом использования  $i$ -го сегмента  $k_{ei}$ , поэтому его можно табулировать по графикам, подобным тем, которые приведены на рис. 2, и выбирать данные из БД, с учетом ранее накопленных априорных данных о характере трафика в каждом сегменте [4]. Простейший подход – расчет  $k_{ei}$  по соотношению между числом повторных передач и числом полезных переданных пакетов. Последнее определяется по числу переданных квитанций о приеме пакета  $j$ -м терминальным узлом.

Задачу оптимизации топологической структуры сети поставим следующим образом. Имеются следующие векторы:

$\vec{U}$  – вектор параметров сетевой нагрузки: интенсивности потоков данных между каждой парой соседних узлов коммутации, статистические характеристики трафика, приоритеты или некоторые весовые функции отдельных потоков данных;

$\vec{Q}$  – вектор параметров качества сервиса сети: быстродействие, достоверность и пр., характеризующих качество передачи данных или, в традиционной трактовке – качество сервиса  $QoS$ ;

$\vec{W}$  – вектор эксплуатационных характеристик сети: пропускная способность каналов передачи данных, быстродействие и объемы буферной памяти узлов коммутации, надежность и время восстановления оборудования, весовые коэффициенты, с помощью которых даются сравнительные оценки параметров логических связей между узлами сети.

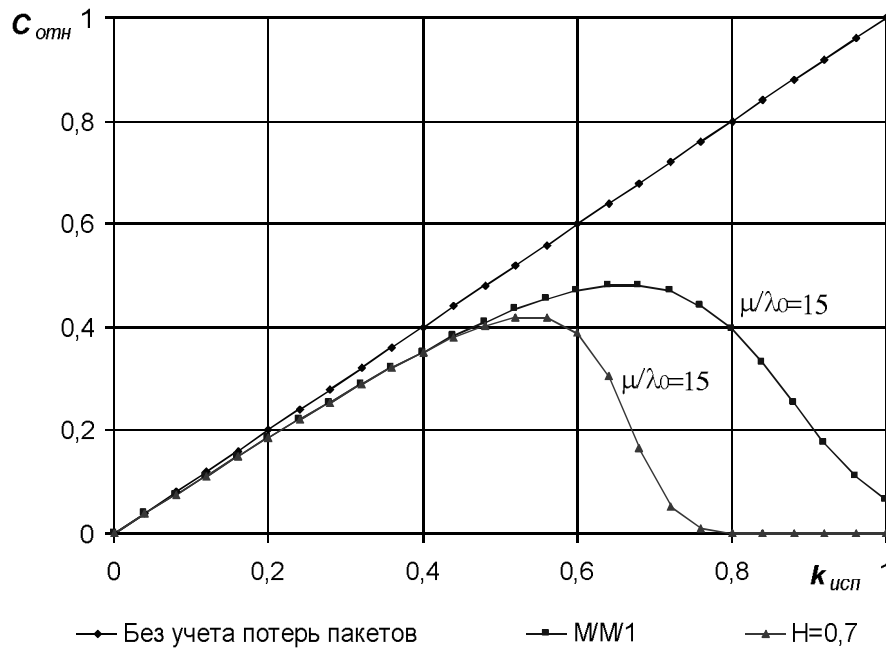


Рис 2. Реальная пропускная способность сети с коммутацией пакетов при потерях и повторных передачах пакетов для модели M/M/1 и модели с самоподобными свойствами трафика при значении параметра Херста  $H = 0,7$

Накладываются (векторные) ограничения на предельные характеристики сетевого обслуживания, в том числе на общую стоимость и структуру сети:

$$C_i(\vec{U}, \vec{Q}, \vec{W}) \leq C_{i\max}, \quad i = \overline{1, N_c}, \quad (1)$$

где  $N$  – число элементов множеств  $C_i$  и  $C_{i\max}$ .

Наконец, накладываются ограничения на техническую архитектуру сети, вытекающие из условий физической и практической реализуемости: предельно достижимая скорость передачи данных, максимально допустимые расстояния между узлами, минимально достижимые задержки в коммутационном оборудовании, уровень взаимных помех и т.д. Обозначим множество этих ограничений через  $R_{\max}$ :

$$R(\vec{U}, \vec{Q}, \vec{W}) \in R_{\max}. \quad (2)$$

Требуется найти такой набор векторов  $\{\vec{U}, \vec{Q}, \vec{W}\}$ , который доставлял бы экстре-

мум функционалу нормированной эффективности

$$\Psi_{en}(\vec{U}, \vec{Q}, \vec{W}) \xrightarrow[\substack{\vec{U}=\vec{U}_{opt} \\ \vec{Q}=\vec{Q}_{opt} \\ \vec{W}=\vec{W}_{opt}}]{\rightarrow} \max \quad (3)$$

при ограничениях вида (1 – 2).

Сформулированная задача, конечно, имеет весьма абстрактный вид. Чтобы конкретизировать её, необходимо задать все необходимые исходные данные и задать целевую функцию. Этот выбор довольно сложен и неоднозначен, поэтому будем руководствоваться общими постулатами теории больших систем. По опыту практической эксплуатации таких систем известно, что потери (расходы), как правило, являются квадратичными функциями отклонений от оптимума. Поэтому для предварительного рассмотрения возьмём в качестве целевой функции квадратичную функцию потерь следующего вида:

$$\Psi(N_{\Pi}, N_{lost}/S_i) = \Psi \left\{ a \left[ 1 - \left( \frac{|N_{\Pi} - N_{lost}|}{N_{\Pi}} \right) \right]^2 / S_i \right\}, \quad (4)$$

где  $N_{\Pi}, N_{lost}$  – число доставленных и потерянных пакетов соответственно, измеряемые за единицу времени;  $S_i$  –  $i$ -я структура сети;  $a$  – масштабный коэффициент, выбираемый из практических соображений.

Общий алгоритм адаптивной логической структуризации сети представляет собой такую последовательность действий.

1. Ввод исходных данных:
    - количество активных терминальных узлов  $N_i$  и их принадлежность к  $i$ -му сегменту;
    - усредненные объемы загрузки буферов УК;
    - начальное соотношение объемов внутреннего и межсегментного трафика  $V_{внi}/V_{мi}$  каждого сегмента;
    - среднее время тайм-аута  $t_{out}$  при межсегментном обмене;
    - средний коэффициент использования каждого сегмента  $k_{испi}$ .
  2. Выбор из БД схемы начальной сегментации.
  3. Подсчет числа повторных передач в каждом сегменте.
  4. Подсчет числа искаженных пакетов в физическом канале каждого сегмента.
  5. Расчет полезной пропускной способности (среднее отношение числа переданных бит в секунду к пропускной способности сети).
  6. Расчет  $k_{испi}$ .
  7.  $k_{испi} < k_{испmax}$  Если да, то переход к шагу 3. Иначе – к шагу 8.
  8. Поиск экстремума – наилучшей структуры по критерию  $k_{испi} \leq k_{испmax}$ .
  9. Расчет новой структуры  $i$ -го сегмента.
  10. Переход к шагу 2.
- Таким образом, с учетом полученных выше результатов можно обосновывать требования

к терминальному и коммутационному оборудованию сетей для простейшего и самоподобного входного потоков. Кроме того, конкретизирована целевая функция и разработан алгоритм оптимизации параметров и структуры сети в зависимости от текущей нагрузки на сеть, режима работы системы организации воздушного движения, необходимости управления воздушными судами в штатной и экстремальных ситуациях.

### Выводы

Эффективным методом уменьшения бесполезной нагрузки на сети является логическая структуризация или разделение на изолированные сегменты. При этом в каждом сегменте уменьшается количество компьютеров и, соответственно, упрощаются задачи управления и оптимизации параметров. Окончательный выбор метода уменьшения размеров доменов зависит от конкретных технических, экономических и других факторов.

### Список литературы

1. Андрусак А.І., Дем'янчук В.С., Юр'ев Ю.М. Мережа авіаційного електрозв'язку. – К.: НАУ, 2001. – 448 с.
2. Хиленко В.В., Михайлов В.Ф. Сетевой интеллект и сети нового поколения // Зв'язок. – К.: – № 1. – 2003. – С. 2-5.
3. Виноградов Н.А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений // Зв'язок. – К.: – № 4. – 2004. – С. 10-17.
4. Виноградов Н.А., Лесная Н.Н., Савченко А.С., Колесник Е.В. Исследование характеристик полезной пропускной способности в условиях меняющейся нагрузки // Проблеми інформатизації та управління: – Зб. наук. пр. – К.: НАУ, – 2009. – № 4. – С. 28-31.