

## **СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ**

Современные телекоммуникационные сети обладают достаточно большой размерностью, характеризуются сложной многоуровневой архитектурой и широким спектром устройств. Эффективность функционирования телекоммуникационных сетей в значительной степени зависит от скорости передачи информации, уровня их интеллектуализации и обеспечения мобильности пользователей.

Новый аспект приобретает и требование по обеспечению различных видов сетевого сервиса. Появляются такие приложения как широкополосная передача голоса и видеоданных, причем все эти сервисные функции должны быть гарантированы пользователям как при доступе к сети с постоянного рабочего места, так и при его перемещении.

Это порождает ряд проблем, связанных с необходимостью разработки новых или совершенствованию известных методов решения задач маршрутизации, управления сетью и трафиком. Среди этих проблем наиболее важной является разработка интеллектуального метода управления сетью, позволяющего достаточно быстро и адекватно реагировать на изменения параметров динамически реконфигурируемой телекоммуникационной сети, а также обеспечивающего масштабируемость и максимальную независимость между сетевыми средствами и пользовательскими приложениями. Известные методы и способы управления телекоммуникационными сетями в основном рассчитаны на сети с фиксированной структурой связи и не учитывают специфики динамически реконфигурируемых телекоммуникационных сетей, в которых особую актуальность приобретает задача обеспечения качества обслуживания (QoS).

Под качеством обслуживания понимается совокупность технологий, которые позволяют приложениям запрашивать и получать предсказуемый уровень услуг с точки зрения пропускной способности, временного разброса задержки отклика, а также общей задержки доставки данных. В частности, QoS подразумевает улучшение параметров или достижение большей предсказуемости предоставляемых услуг. Это достигается следующими методами:

- Поддержкой определенной полосы пропускания.
- Сокращением вероятности потери кадров.
- Исключением или управляемостью сетевых перегрузок.
- Возможностью конфигурирования сетевого трафика.

© Н.В. Богданова, 2006

- Установкой количественных характеристик трафика по пути через сеть.

Наиболее общими характеристиками сетевого трафика являются “взрывообразность”, терпимость к задержкам, время ответа, емкость и пропускная способность.

Эти характеристики, с учетом маршрутизации, приоритетов, соединений и т.д. определяют характер работы приложений в сети.

“Взрывообразность” характеризует частоту посылки трафика пользователем.

Терпимость к задержкам характеризует реакцию приложений на все виды задержек в сети.

Пропускная способность сети определяется общим количеством данных, которые могут быть переданы в единицу времени.

По требованиям к задержке передачи можно условно разделить трафик на три категории.

- Трафик реального времени, который включает в себя аудио- и видеоинформацию, критичную к задержкам при передаче.
- Трафик транзакций. При передаче этого вида трафика задержки не должны превышать 1с.
- Трафик данных. Задержки при передаче трафика этой категории могут иметь практически любые значения и достигать даже нескольких секунд.
- В пределах каждой категории трафик может быть распределен по приоритетам.

Метод приоритетных очередей наиболее часто используется для предоставления временных гарантий чувствительным к задержкам приложениям. На данный метод не существует единого стандарта. Отдельные его части описаны в разных стандартах. Каждый производитель сетевого оборудования реализует в своих изделиях собственные алгоритмы обработки очередей. Например, алгоритм FIFO, где маршрутизатор получает пакеты быстрее, чем он может отправить их через данный порт, он помещает пакеты в очередь. Затем, в простейшем случае, они отправляются в порядке поступления, то есть реализуется принцип “первым пришел, первым ушел”. Такой алгоритм довольно эффективен, но опыт управления сетями показывает, что он далеко не оптимален.

Случайное раннее обнаружение (Random Early Detection, RED) представляет собой альтернативу очередям FIFO. Этот метод позволяет смягчить эффект от потери пакетов даже при очень больших нагрузках. Данный алгоритм был изначально придуман для протокола TCP, но он может быть применим к трафику любого протокола, когда сеть не гарантирует доставки.

Очередь с приоритетами – это алгоритм, при котором несколько очередей FIFO или RED образуют одну очередь. При этом трафик отправляется в порядке строгой очередности: первым - трафик с высоким приоритетом, вторым – со средним и т.д.

Очереди на основе классов (Class Based Queuing, CBQ) – это алгоритм, при котором трафик делится на несколько классов. Каждый класс имеет собственную очередь и ему выделяется некоторая часть пропускной способности канала.

Взвешенная справедливая очередь (Weighted Fair Queuing, WFQ) – частный случай CBQ, когда классам соответствуют независимые потоки.

В настоящее время технология QoS достаточно широко используется в различных телекоммуникационных сетях.

Одним из путей реализации QoS стала разработка механизма явного управления скоростью трафика (ECR, Explicit Rate Control). Этот механизм способен работать автономно либо совместно с существующими алгоритмами организации очередей. Основные задачи, которые он позволяет решать, – повышение производительности каналов связи, уменьшение времени реакции сети и увеличение степени детализации сетевого управления за счет контроля за отдельными потоками трафика.

На данный момент существует несколько вариантов реализации QoS в сетях.

В динамически реконфигурируемых телекоммуникационных сетях традиционные методы обеспечения заданных параметров QoS, основанные на резервировании ресурсов не эффективны, так как ресурсы, которые были зарезервированы для виртуального соединения, в результате его реконфигурации могут оказаться недоступными.

Эффективным способом обеспечения требуемых параметров трафика в сети является организация динамической системы приоритетов в зависимости от ее нагрузки.

В работе [1] предложен способ поддержки QoS в мобильных сетях на основе переменного приоритета трафика, который предполагает распределение потоков на основании требуемых ресурсов и назначает им такие приоритеты, что потоки могут выборочно отбрасываться или переадресовываться во время перегрузок. DiffServ предполагает наличие определенного набора механизмов для организации очередей и планировщиков, которые можно настраивать в зависимости от характеристик трафика разного вида. Узлы самостоятельно контролируют уровни высокоприоритетных процессов и сигнализируют корректирующим механизмам, когда эти значения выходят за заданные границы. Предложенная инфраструктура хорошо адаптируется к различному виду передачи данных в мобильной сети. Однако, предложенная схема оптимизации не обеспечивает желаемого результата использования сети.

QoS маршрутизация требует не только найти маршрут от источника к адресату, но и гарантировать чтобы найденный маршрут в точности удовлетворял требуемому уровню качества. Качество обслуживания намного сложнее гарантировать в мобильных сетях, чем в других типах сетей, потому, топология сети изменяется при перемещении узлов.

Большинство известных систем управления телекоммуникационными сетями используют одну и ту же базовую структуру и способы взаимодействия, основанные на модели взаимодействия системы управ-

ления сетью (NMS) с объектами управления с помощью агентов [2]. Типичная архитектура системы управления сетью ISO показана на рис. 1.

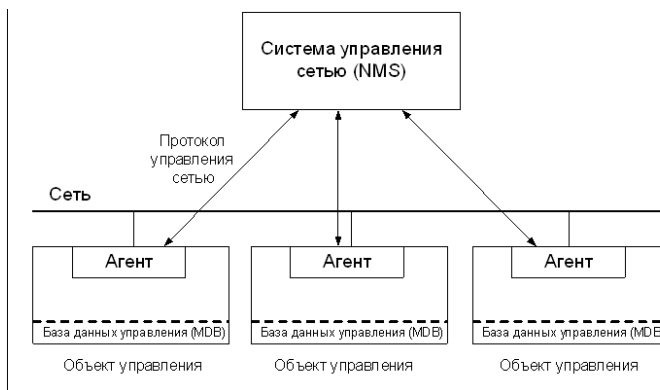


Рис. 1 – Типичная архитектура системы управления сетью ISO

Достаточно полный аналитический обзор работ по использованию агентов в телекоммуникационных сетях приведены в работах, а именно: в работе [3] рассмотрен вопрос повышения эффективности управления телекоммуникационной сетью за счет использования агентов кластера и коммуникационных агентов в компьютерных сетях с фиксированной топологией. В работах [4,5] рассмотрены основные вопросы организации архитектуры мультиагентных систем. Работа [6] посвящена обеспечению заданного уровня качества обслуживания с помощью так называемых интеллектуальных агентов, то есть агентов способных адаптироваться к изменению состояния сети. В работе [7] рассматриваются вопросы организации мобильных агентов в телекоммуникационных сетях.

В работе [8] рассматриваются вопросы использования мобильных агентов для управления телекоммуникационной сетью. В частности в работах [9,10] рассмотрены вопросы управления трафиком в телекоммуникационных сетях. С целью повышения эффективности управления телекоммуникационной сетью в работе [11] предлагается использовать многоуровневую систему интеллектуальных агентов. Вопросы использования мобильных агентов рассмотрены в работе [12].

В работе [13] рассмотрен вопрос повышения эффективности управления телекоммуникационной сетью за счет использования агентов кластера и коммуникационных агентов в телекоммуникационных сетях с фиксированной топологией.

Так в работе [14] рассматривается трех уровневая система интеллектуальных агентов для обеспечения QoS в мобильных сетях АТМ. Основной целью предложенной архитектуры является обеспечение саморегулирующейся системы управления перегрузкой сети посредством взаимодействия интеллектуальных агентов.

Таким образом, для управления сложной телекоммуникационной сетью целесообразно использовать распределенную систему управления (рис.2), которая в максимальной степени отражает структуру телекоммуникационной сети. Однако, для динамически реконфигурируемых телекоммуникационных сетей необходима более гибкая, адаптивная система управления. Решение данной задачи лежит в плоскости построения интеллектуальных систем управления телекоммуникационными сетями.

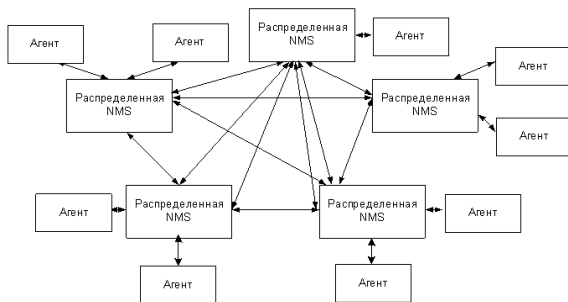


Рис. 2 – Распределенная система управления телекоммуникационной сетью

Основным предметом исследований при построении интеллектуальных систем управления сетевыми ресурсами, являются алгоритмы анализа и обработки оперативной информации о состоянии сетевых процессов, с помощью которых можно провести классификацию режимов работы телекоммуникационной сети и на этой основе спрогнозировать ее будущие состояния.

Одна из проблем на пути реализации такого подхода состоит в разработке формы описания целей и параметров управления, то есть построения адекватной математической модели сетевых процессов.

Ключевые характеристики, сопряженные с управлением трафиком, могут относиться к следующим категориям:

1. Задачи, ориентированные на управление трафиком, включают в себя аспекты улучшения QoS информационных потоков, в том числе: минимизацию потерь пакетов и задержек, оптимизацию пропускной способности и согласование наилучшего уровня услуг. Одним из подходов решения таких проблем является оптимизация использования всех имеющихся ресурсов сети. Полоса пропускания является критическим ресурсом современных сетей. Следовательно, центральной функцией управления трафиком является эффективное управление пропускной способностью. Перегрузка обычно проявляется при недостатке сетевых ресурсов или их неэффективном распределении.

Первый тип проблем перегрузки может быть решен путем расширения ресурса или ограничением потока, управлением шириной окна для потока, управлением очередями в маршрутизаторе, диспетчеризацией и

т.д. [15]).

2. Перегрузка, связанная с неэффективным размещением ресурсов, может быть уменьшена с помощью политики балансировки нагрузки в сети.

В динамически реконфигурируемых телекоммуникационных сетях неэффективное распределение ресурсов дополнительно может возникнуть в результате изменения топологии сети или ее логической конфигурации.

Причины рекофигурации топологии телекоммуникационной сети:

- перемещение абонентской системы;
- отключение или подключения узла коммутации
- перемещение узла коммутации.

Причинами реконфигурации логической структуры телекоммуникационной сети может быть.

- перемещение прикладного процесса;
- изменение характеристик виртуального канала.

Перемещения абонентской системы приводит к локальной реконфигурации сети на канальном уровне. Перемещение узла коммутации затрагивает сетевой уровень, и оказывает существенное влияние на изменение маршрутной информации. Существенное влияние на управление сетью, в частности, на поддержку заданных параметров качества оказывают структурно топологические характеристики сети.

Основные проблемы, связанные с обеспечением QoS в динамически реконфигурируемой телекоммуникационной сети:

1) QoS проблема маршрутизации: как находить направление связи сквозь сеть, которая способна к поддержанию требуемого уровня QoS.

2) QoS проблема топологического характера. Как гарантировать, что когда сетевая топология меняется, новые направления связи, которые могут поддерживать существующие QoS доступны или могут быть быстро найдены.

3) Проблема перераспределения сетевых ресурсов: как реагировать на изменения в располагаемых ресурсах; как в результате изменения маршрутизации связи, или в результате изменений в характеристиках соединения в пределах данного направления связи.

В динамически реконфигурируемых сетях время реакции на изменение должно быть адекватным времени реконфигурации. Одним из способов достижения этой цели является использование гибкой системы взаимодействия интеллектуальных агентов в рамках распределенной системы управления сетью.

В отличие от распределенной системы управления телекоммуникационной сетью, представленной на рис. 2, в предлагаемой системе функции системы NMS распределены между агентами, которые располагаются в узлах коммутации, оказывающих наибольшее влияние на характер сетевого трафика.

Интеллектуальные агенты обеспечивают регулирование потоков внутри сети передачи данных и вырабатывают сигнальные пакеты для регулирования трафика по входу. За основу взят метод управления трафиком на уровне ретрансляционных участков [16]. В работе [17] приведена аналитическая модель управления трафиком на уровне ретрансляционных участков, с помощью которой было исследовано изменение размера очереди и производительности как в установившемся режиме, так и в динамическом режиме. Аналитические результаты и результаты моделирования показывают, что система управления на уровне ретрансляционных участков реагирует быстрее на изменения интенсивности трафика и, следовательно, использует ресурсы в критическом узле лучше и теряет меньшее количество пакетов, по сравнению со сквозной схемой управления нагрузкой. В работах [18,19] исследовалось поведение для ряда сетевых конфигураций и условий трафика. В ни одном из этих экспериментов не зафиксировано неустойчивое состояние сети. Когда узел становился переполненным, то в нём и создавалась перегрузка, которая не приводила к каким-либо катастрофическим изменениям в общем трафике системы. Теоретические результаты, обобщенные в [20] показывают, что колебания в занятии буфера неизбежны в общей форме обратной связи, и основываются задержками в ней, однако они являются небольшими и быстро угасают.

В отличие от известных способов управления потоком на уровне ретрансляционных участках в настоящей статье предлагается регулировать трафик с помощью интеллектуальных агентов, которые располагаются в наиболее критичных узлах коммутации. При этом, в зависимости от реконфигурации сети и перераспределения потоков интеллектуальные агенты могут менять свое месторасположение. Остальные промежуточные узлы коммутации являются прозрачными для системы управления и не участвуют в процессе управления трафиком. Это позволяет сократить объем управляющего трафика и уменьшить время задержки передачи информации в виртуальном канале.

Регулирование осуществляется на основе принципов экономико-математической модели управления трафиком [21], в рамках которой управление ресурсами осуществляется с помощью экономических агентов [22]. При этом используется [23] два типа агентов: экономический агент узла сети и экономический агент виртуального канала, в результате взаимодействия между которыми осуществляется распределение пропускной способности между виртуальными каналами.

Моделью телекоммуникационной сети может служить граф  $G = \langle V, E \rangle$ , где  $V = \{1, 2, \dots, K\}$  – совокупность узлов,  $E = \{1, 2, \dots, M\}$  – совокупность ребер графа.

Каждое ребро  $i$  из  $E$  характеризуется двумя величинами:

- теоретическая пиковая пропускная способность  $C_i$  (измеряется в количестве данных, переданных в единицу времени);
- реальная пропускная способность  $S_i$ , причем  $S_i < C_i$ .

Величина  $S_i$  является верхней границей степени использования канала связи  $i$ . Верхняя граница введена для того, чтобы ограничить задержку в узлах коммутации. Цель управления потоками заключается в распределении пропускной способности между виртуальными каналами.

Пусть  $A = \{1, 2, \dots, N\}$  обозначает совокупность виртуальных каналов. Каждый виртуальный канал  $a$  из  $A$  определяется совокупностью реальных каналов, входящих в его состав, т.е. совокупностью ребер графа  $G$ :

$$L_a = i_1, i_2, \dots, i_{m(a)}$$

где  $i \in E$ .

Виртуальные каналы, играя роль потребителей коммуникационных ресурсов, участвуют в их распределении. Часть ресурсов, доставшихся в результате распределения данному виртуальному каналу, описывается вектором  $X = (x_1, x_2, \dots, x_M)$ , где все  $x_i \geq 0$ .

У каждого реального канала  $L_i \in E$  есть свой продавец (экономический агент узла), который “взимает” плату с виртуальных каналов за использование физического канала  $L_i$ .

Цены задаются вектором  $P = (p_1, p_2, \dots, p_M)$ , где все  $p_i \geq e > 0$ .

Бюджетную систему канала  $a$  можно записать в виде:

$$B_a(P) = \{X | P \times X \leq W_a\}$$

Спрос со стороны  $a$  на коммуникационные ресурсы:

$$\Phi_a(P) = \{X | X \in B_a(P), X \&_a Y, \forall Y \in B_a(P)\}$$

Затраты на передачу единицы данных по реальному каналу  $L_i$  равны  $p_i$ . Следовательно, затраты на передачу единицы данных по всему виртуальному каналу  $a$ :

$$Q_a = \sum_{i \in L_a} p_i$$

Поскольку виртуальный канал  $a$  стремится передавать данные со скоростью  $g_a$ , общие затраты составят:  $g_a \times Q_a$ , причем должно выполняться условие:  $Q_a \times g_a \leq W_a$ .

Таким образом, для сокращения объема управляющего трафика и уменьшения времени задержки передачи информации в виртуальном канале, используя принципы построения экономико-математической модели управления трафиком, предлагается модель телекоммуникационной сети в виде графа, с помощью которой определяются затраты на передачу единицы данных по всему виртуальному каналу.

Разработанная модель позволяет исследовать трафик с помощью интеллектуальных агентов, которые располагаются в наиболее критичных узлах коммутации и могут менять свое место положения. Остальные промежуточные узлы коммутации являются прозрачными для систем управления и не участвуют в процессе управления трафиком.



## Литература

1. H. Arora and H. Sethu, “A simulation study of the feasibility of differentiated services architecture for qos in mobile ad hoc networks,” in *Proceedings of Applied Telecommunications Symposium*, San Diego, CA, April 2002.
2. Huaglory Tianfield, Jiang Tian, Xin Yao On the Architectures of Complex Multi-Agent Systems Proceedings of the Workshop on "Knowledge Grid and Grid Intelligence"(ISBN 0-9734039-0-X), held at the 2003 IEEE/WIC International Conference on Web Intelligence / Intelligent Agent Technology, October 13 - 16, 2003, Halifax, Canada, pp. 195 – 206.
3. Schmidt A., Specker A., Partsch G., Weber M. Agents, Brokers, Traders, and Services in Cooperative Systems //Proceedings of the Third International Conference on the Design of Cooperative Systems, COOP'98, May 1998.
4. Carter, J., Ghorbani, A. A. and Marsh, S. (2002). Just-in-time information sharing architectures in multi-agent system. Proceedings of AAMAS, 2002, Bologna, Italy, pp. 647-654.
5. Mostagir, M. and Decker, K. A multi-agent system architecture for active Networks. Proceedings of AAMAS 2002, Bologna, Italy, pp. 1417-1418.
6. Boutaba, R., Iraqi, Y. and Mehaoua, A.. A multi-agent architecture for QoS management in multimedia networks. Journal of Network and Systems Management, Vol. 11, No. 1, 2003, pp. 83-107.
7. Papavassiliou, S., Puliafito, A., Tomarchio, O. and Ye, J. (2002). Mobile agent-based approach for efficient Network management and resource allocation: Framework and applications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 20, No. 4, June 2002, pp. 858-872.
8. Papavassiliou, S., Puliafito, A., Tomarchio, O., Ye, J. Mobile agent-based approach for efficient Network management and resource allocation: Framework and applications. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 20, No. 4, June 2002, pp. 858-872.
9. Hernández, J. Z., Ossowski, S. and García-Serrano, A. Multi-agent architectures for intelligent traffic management systems. Transportation Research Part C, Vol. 10, 2002, pp. 473-506.
10. Logi, F. and Ritchie, S. G. (2002). A multi-agent architecture for cooperative inter-jurisdictional traffic congestion management. Transportation Research Part C, Vol. 10, 2002, pp. 507-527.
11. Mostagir, M. and Decker, K. (2002). A multi-agent system architecture for active Networks. Proceedings of AAMAS 2002, Bologna, Italy, pp. 1417-1418.
12. Carter, J., Ghorbani, A. A. and Marsh, S. (2002). Just-in-time information sharing architectures in multi-agent system. Proceedings of AAMAS, 2002, Bologna, Italy, pp. 647-654.

13. Schmidt A., Specker A., Partsch G., Weber M. Agents, Brokers, Traders, and Services in Cooperative Systems //Proceedings of the Third International Conference on the Design of Cooperative Systems, COOP'98, May 1998.
14. Y.Iraqi, R.Boutaba, A. L. Garcia QoS control in wireless ATM Mobile Networks and Applications 5 (2000) –p. 137–145
15. C. Yang и A. Reddy, "A Taxonomy for Congestion Control Algorithms in Packet Switching Networks,"IEEE Network Magazine, Volume 9, Number 5, July/August 1995.
16. P. P. Mishra and H. Kanakia, "A hop by hop rate based congestion control scheme," in Proceedings of ACM Sigcomm, August 1992.
17. S. Kunniyur and R. Srikant, "End-to-end congestion control: utility functions, random losses and ECN marks," in Proceedings of IEEE Infocom, Tel Aviv, Israel, March 2000, vol. 3, pp. 1323–1332.
18. G. Vinnicombe, "On the stability of end-to-end congestion control for the Internet," 2001, University of Cambridge Technical Report.
19. Y. Yi and S. Shakkottai, "Hop-by-hop congestion control over a wireless multi-hop network," Technical Report, Wireless Networking and Communications Group, Department of Electrical and Computer Engineering, The University of Texas at Austin, 2003.
20. K. W. Fendick, M. A. Rodrigues. and A. Weiss. "Analysis of a rate-based feedback control strategy for long haul data transport." *Performance Evaluation*. 1992.
21. J.Sairamesh. Economic Paradigms for Information Networks and Systems //, *PhD thesis, Columbia University, New York, 1996.*
22. D.FFerguson, C.Nicolaou and Y.Yemini. An Economy for Flow Control in Computer Networks//, *Proc. of the INFOCOM, 1990*
23. D.Ferguson, C.Nicolaou, J.Sairamesh and Y.Yemini Economic Models for Allocating Resources in Computer Systems.// Market based Control of Distributed Systems, Ed. Scott Clearwater. *World Scientific Press, 1996.*