

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДОСТАВЛЕНИЯ УСЛУГ VIDEO-ON-DEMAND С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСЛОЙНОГО ГРАФА

Д. В. Агеев

Доктор технических наук, доцент*

Контактный тел.: (057) 702-13-20, 050-302-57-28

E-mail: dm@ageyev.in.ua

А. А. Игнатенко

Аспирант*

Контактный тел.: (057) 702-13-20, 066-726-60-76

E-mail: eviluser@mail.ru

Хайдара Абдалла

Аспирант*

Контактный тел.: (057) 702-13-20

E-mail: haidara@nrdl.org.ua

*Кафедра телекоммуникационных систем

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

В даній статті розглянуто метод опису телекомунікаційних систем надання послуги Video-on-Demand з використанням багатопарових графів. Описано відносини між структурними елементами кожного ієрархічного рівня багатопарового графа

Ключові слова: IPTV, VoD, транспортна мережа, багатопаровий граф, накладена мережа

В данной статье рассмотрен метод описания телекоммуникационных систем предоставления услуги Video-on-Demand с использованием многослойного графа. Описаны отношения между структурными элементами на каждом иерархическом уровне многослойного графа

Ключевые слова: IPTV, VoD, транспортная сеть, многослойный граф, накладенная сеть

The method of describing of telecommunications systems providing Video-on-Demand service using multi-layer graph is considered in this article. The relations between the structural elements at each hierarchical level of the multi-layer graph are described in the paper

Key words: IPTV, VoD, transport network, multilayer graph, overlay network

1. Введение

Концепция мультисервисных сетей, предоставляющих пользователю широкий спектр услуг, является одной из ведущих в настоящее время. Технология Triple Play позволяет пользователю получать сразу три основных вида услуг имея единственное физическое подключение – телефонию, прием и передачу данных, а также прием видеопотока. Последнюю услугу можно условно разделить на IPTV и Video-on-demand (VoD). В данной статье рассмотрены особенности VoD.

Итак, VoD – это услуга, позволяющая пользователю заказывать телевизионные программы или видеофильмы для просмотра. Сервис VoD обеспечивает возможность передачи контента, хранимого на серверах VoD, по запросу подписчика, причем источником контента может быть как информация записанная из видеоданных реального времени, так и оцифрованная видео- и аудиопродукция. Выбранный пользователем видеоконтент начинает медленно передаваться через сеть на абонентское оборудование пользователя. При этом абонент может иметь возможность использовать некоторые дополнительные функции, такие как пауза, перемотка и т.д.

2. Описание моделируемой системы

Рассмотрим общую структуру системы предоставления услуги IPTV (VoD обычно рассматривается как один из сервисов IPTV). Архитектура комплекса IPTV в общем случае включает в себя следующие составляющие:

- подсистема управления комплексом и услугами (в англоязычной литературе часто встречается название IPTV Middleware – т.е. промежуточное программное обеспечение, содействующее процессам обмена информацией между клиентом и сервером);
- подсистема приёма и обработки контента;
- подсистема защиты контента (CAS – Code Access Security);
- подсистема видео серверов;
- подсистема мониторинга качества потоков и клиентского оборудования.

Система предоставления услуг VoD может быть описана как множество серверов, на которых хранится видеоконтент. Эти сервера определенным образом связаны между собой, к ним (напрямую или через промежуточные узлы) подключены абоненты.

Контент услуги VoD хранится на серверах. Сосредотачивать контент в единой точке обмена нецелесообразно, т.к. это приводит к повышенной загрузке сети

и невозможности предоставлять услугу большому количеству абонентов на значительной территории. Для равномерного распределения нагрузки на видео серверы и минимальной загрузки сетевой инфраструктуры применяются системы распределения контента. Общий алгоритм принятия решений системой распределения контента следующий. Система распределения получает от middleware запросы абонентов на доступ к контенту, определяет, на каком сервере с минимальной загрузкой и в максимальной близости к абоненту находятся требуемые данные, и разрешает абоненту получить их с выбранного сервера. Если на минимально загруженном, но максимально приближенном к абоненту, сервере требуемого контента не обнаружено, то запрос будет переадресован на другой, схожий по условиям, сервер.

Передача видео предъявляет особенно высокие требования к пропускной способности канала связи, задержке и джиттеру. Итак, для получения качественной услуги необходимо выполнение следующих условий:

- использование каналов связи с достаточной для передачи видео пропускной способностью;
- использование по возможности кратчайшего пути между сервером предоставления услуги и абонентом с целью уменьшения загрузки промежуточных маршрутов;
- оптимальная нагрузка имеющихся каналов связи для предотвращения перегрузок на одном участке сети и простоев на другом.

При проектировании и последующем функционировании такой системы решаются две задачи: первоначальное распределение контента на серверах, а также динамическое перераспределение контента в процессе функционирования системы, учитывая интерес абонентов к тому или иному видео, или при добавлении на сервера нового контента.

3. Математическая модель решения задач структурного и параметрического синтеза системы предоставления услуг VoD

В интересах решения задач структурного и параметрического синтеза рассматриваемую в данной статье телекоммуникационную систему можно описать в терминах теории множеств следующим образом. Модель системы должна учитывать следующие характеристики моделируемой системы как топологию сети, местоположение, производительность видео серверов, распределение видеоконтента между серверами, потоки, передаваемые по сети и их интенсивности, характеристики каналов связи.

В качестве исходных данных при структурном и параметрическом синтезе рассматриваемой системы являются:

- $U = \{u_i\}$ - множество пользователей;
- $S = \{s_i\}$ - множество видеосерверов;
- $Z = \{z_i\}$ - множество промежуточных узлов;
- $B = \{b_i\}$ - множество каналов;
- $C(b_i)$ - пропускные способности каналов;
- $P(s_i)$ - производительность серверов;

В результате структурно-параметрического синтеза необходимо определить подмножество абонентов сети закрепленных за каждым из серверов $U_\lambda(s_i) \subset U$,

подмножество каналов связи входящих в результирующую топологию сети $V_\lambda \subset V$, маршруты передачи мультимедийных потоков так чтобы обеспечивался минимум суммарной величины передаваемых по сети потоков:

$$\sum \gamma(b_i^\lambda) \rightarrow \min$$

Телекоммуникационные системы строятся иерархически, по принципу наложенных сетей, т.е. каждый нижний уровень такой сети обеспечивает прозрачную передачу потоков сети более верхнего уровня. Это необходимо учитывать при решении задач проектирования телекоммуникационных систем, когда необходимо найти структуру сети на всех ее уровнях.

Таким образом, при описании и проектировании подобных сетей целесообразно представлять ее как упорядоченный набор графов, каждый из которых описывает топологию рассматриваемой сети на конкретном иерархическом уровне. В случае данной исследуемой телекоммуникационной системы целесообразно рассматривать ее именно как наложенную сеть.

Для решения подобных задач направленных на структурный и параметрический синтез наложенных телекоммуникационных сетей хорошо зарекомендовал себя подход, базирующийся на использовании математической модели многослойного графа.

Для моделирования системы предоставления услуг VoD воспользуемся пошаговой методикой, описанной в [2].

Шаг 1. Выделить в моделируемой телекоммуникационной системе множество уровней.

Шаг 2. Описать топологию каждого уровня с помощью классического графа.

Шаг 3. Выделить между объектами различных уровней логические, функциональные и физические связи и описать их с помощью графов.

Шаг 4. Присвоить ребрам и вершинам графа набор параметров, характеризующих параметры соответствующих объектов и межобъектных связей, составляющих интерес для моделирования.

1. Для описания системы VoD многослойным графом G (рис. 1) выделим в ней три уровня (подграфы $\Gamma^1, \Gamma^2, \Gamma^3$):

- уровень взаимодействия абонентов с услугой (Γ^3);
- уровень взаимодействия абонентов с серверами и серверов между собой (Γ^2);
- уровень физической топологии моделируемой системы, уровень физического взаимодействия между собой абонентов, узлов доступа и серверов VoD (Γ^1).

2. На уровне взаимодействия абонентов с услугой вершины a_i^3 графа Γ^3 соответствуют абонентам сети (или группам абонентов подключенным к одному и тому же узлу доступа). Вершина v_0^3 моделирует предоставление услуги VoD. В описываемой системе осуществляется предоставление услуги VoD всем группам абонентов, таким образом, граф Γ^3 будет иметь топологию «звезда»:

$$e_i^3 = (v_0^3, a_i^3), \quad e_i^3 \in E^3, \quad i = 1, \dots, N_\lambda,$$

где N_A – количество абонентов сети (групп абонентов).

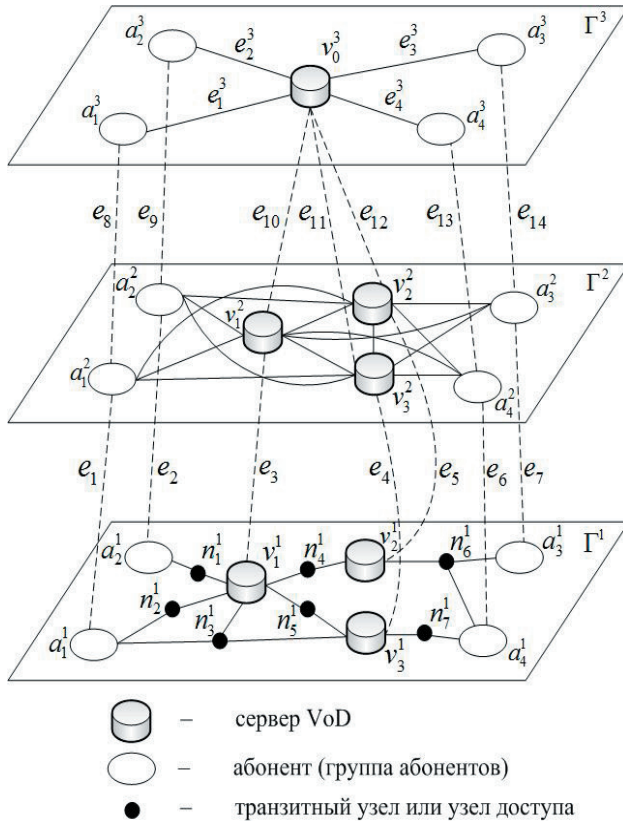


Рис. 1. Схема многослойного графа, описывающего систему предоставления услуг Video-on-Demand

На уровне взаимодействия абонентов с серверами и серверов между собой топология будет почти полностью связная, т.к. изначально предполагается, что каждый сервер VoD может взаимодействовать с другими серверами, а каждый абонент может получать контент с любого сервера. При этом абоненты между собой не связаны никак, следовательно, между вершинами графа, соответствующим абонентам, ребер не будет.

$$\forall v_i^2, a_j^2 \exists e^2 = (v_i^2, a_j^2)$$

$$\forall v_i^2, v_j^2, i \neq j \exists e^2 = (v_i^2, v_j^2)$$

$$\forall a_i^2, a_j^2 \nexists e^2 = (a_i^2, a_j^2)$$

Наконец, самый нижний уровень описывает физическое взаимодействие между собой серверов VoD, абонентов и узлов доступа.

3. Концепция многослойного графа предполагает моделирование наложенных сетей – соответственно, каждая функциональная единица на каждом уровне имеет отражение на другом прилегающем уровне. Такое отражение на многослойном графе выражается множеством ребер $E = \{e_1, e_2, \dots, e_{14}\}$, соединяющих соответствующие друг другу функциональные единицы (вершины) на прилегающих уровнях многослойного графа.

4. Для описания функциональных характеристик моделируемой системы воспользуемся потоковой моделью на многослойном графе [3]. На данном этапе для упрощения будем оперировать лишь значением величины потока, пренебрегая задержками и другими параметрами элементов телекоммуникационных систем. Поток, протекающий вдоль ребра, связывающего группу абонентов с услугой равен сумме потоков всех сессий, инициализированных абонентами:

$$\gamma(e_i^3) = \sum_n \gamma(S_n(a_i^3))$$

При проецировании вершины v_0^3 на множество серверов V^2 должно выполняться условие:

$$\sum_i P(v_i^2) = P(v_0^3),$$

где $P(N)$ – производительность узла.

При этом пропускные способности ребер связывающих вершины графов Γ^2 и Γ^3 , соответствующие абонента сети не ограничиваются, а для ребер связывающих вершину $v_0^3, v_0^3 \in \Gamma^3$ и вершины $v_i^2, v_i^2 \in \Gamma^2$ пропускная способность равна производительности сервера, на который проецируется это:

$$c(e(a_i^3, a_i^2)) = \infty,$$

$$c(e(v_3^0, v_i^2)) = P(v_i^2)$$

Пропускные способности ребер $e_{ij}^1 = (v_i^1, v_j^1), e_{ij}^1 \in \Gamma^1$ на нижнем слое графа Γ^1 должны быть больше или равны величине потока протекающего по ним:

$$c(e_{ij}^1) \geq \gamma(e_{ij}^1).$$

Далее необходимо описать потоковую модель на многослойном графе [3]. Процесс передачи информационных потоков через сеть моделируется протеканием потока по ребрам графа. В случае использования многослойного графа ребра подразделяются на две группы:

- ребра, соединяющие вершины одного и того же слоя;
- ребра, соединяющие вершины разных слоев многослойного графа.

В первом случае ребра графа моделируют процессы, происходящие на одном и том же уровне логического представления сети. Во втором случае – влияние процессов, происходящих на одном логическом уровне, на процессы другого уровня.

При этом должен выполняться закон сохранения потока.

Кратко его можно сформулировать в следующих утверждениях:

- величина потока, передаваемого между парой взаимодействующих узлов источник – потребитель, вдоль выбранного пути не изменяется;
- сумма потоков, передаваемых различными путями между парой взаимодействующих узлов источник – получатель, равна величине требований,

возникающих в узле – источнике, и равна величине требований, обрабатываемых в узле-потребителе;

– сумма потоков, поступающих в узел, равна сумме потоков, исходящих из узла, если узел выполняет только функции транзитного узла или отличается на величину, равную разнице величин потоков, для которых он является источником или получателем.

Применение указанной потоковой модели позволяет учесть взаимосвязи между величинами потоков на различных уровнях и ограниченность пропускной способности (производительности) различных элементов системы.

Подграф самого нижнего уровня Γ^1 представляет собой избыточный граф, включающий все промежуточные узлы и узлы доступа. Его избыточность дает возможность решать задачу

– синтеза топологии сети на избыточном графе;

– задача нахождения пути с заданными характеристиками на графе существующей топологии.

Задача проектирования сети может быть описана в двух формулировках, в зависимости от исходных данных и искомых параметров.

В первом случае для заданного объема запросов необходимо определить, какой объем ресурса следует выделить и как экономично распределить его в сети с учетом ограничивающих условий для маршрутизации и потока. Эта задача известна в англоязычной литературе (например, в [4]) как задача проектирования без ограничений пропускной способности (*uncapacitated design*). Как правило, такая задача возникает в среднесрочной и долгосрочной перспективе проектирования сети.

Но как только ограниченный суммарный ресурс сети и объем запросов становятся известными, задача трансформируется в задачу распределения потока по разным путям таким образом, чтобы решение было оптимальным согласно заданным критериям (например, минимум стоимости или максимум прибыли). Такая постановка известна как задача с ограничениями на пропускную способность (*capacitated*

problem) и возникает в краткосрочной перспективе проектировании сети, когда сетевой ресурс не может быть увеличен.

Большинство подобных задач могут быть сформулированы как задача передачи многопродуктного потока на базе путей (*link-path formulation*) либо на базе узлов (*node-link formulation*).

В результате применения линейного, линейно-целочисленного программирования может быть получен результирующий граф, состоящий только из тех ребер, по которым пройдет трафик, т.е. множество каналов связи $B = \{B_{ij}\}$.

Задача синтеза топологии на избыточном графе в данном случае заключается в распределении потоков в многослойном графе так, чтобы с учетом ограничений на пропускную способность ребер находился подграф минимального веса.

Заключение

Услуга VoD предъявляет высокие требования к параметрам сети, поверх которой предоставляется данная услуга. Для того чтобы удовлетворить требования QoS для сервиса VoD, минимизировать затраты на оборудование и максимизировать доходы поставщика телекоммуникационных услуг, необходимо решить задачу оптимизации.

Последовательное решение задач проектирования для каждого из уровней отдельно, когда результаты проектирования на одном из уровней являются исходными данными для остальных уровней сети, не рассматривает систему в целом, а лишь дает оптимальный результат для каждого подуровня, что может привести к локальным оптимумам, а не оптимальному решению задачи в целом.

Этот недостаток может быть устранен путем применения математической модели многослойного графа при проектировании систем предоставления услуги VoD.

Литература

1. Агеев Д.В. Методика описания структуры современных телекоммуникационных систем с использованием многослойных графов / Д.В. Агеев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2010. - № 6/4(48). - С. 56 - 59.
2. Агеев Д.В. Моделирование современных телекоммуникационных систем многослойными графами [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. -2010. - № 1(1). - Р. 23 - 34. - Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/1/1/101_ageyev_simulation.pdf.
3. Агеев Д.В. Метод проектирования телекоммуникационных систем с использованием потоковой модели для многослойного графа [Электронный ресурс] / Д.В. Агеев // Проблемы телекоммуникаций. - 2010. - № 2(2). - Р. 7 - 22. - Режим доступа: http://pt.journal.kh.ua/2010/2/2/102_ageyev_layer.pdf.
4. Pióro M. Routing, Flow, and Capacity Design in Communication and Computer Networks / M. Pióro, D. Medhi. - Elsevier, 2004. - 765 p.