

УДК 004.032.6

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ РАЗДАЧИ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ПОТОКОВ

Манакова И.П., Прохоров В.В.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, email: iman, vpro}@vidicor.ru

В работе рассматривается класс систем раздачи мультимедийных потоков (мультимедийные системы) и их реализация в виде сетей распределения контента (Content Delivery Networks, CDN), которые строятся на элементах IP-сетей. В настоящее время наблюдается высокий рост потребностей в онлайн мультимедиа, это требует изучения систем раздачи мультимедийных потоков. В настоящее время нет общепринятого описания моделей мультимедийных систем, поэтому главная цель работы – разработка модели мультимедийной системы для последующей реализации в виде имитационной компьютерной модели. Архитектура мультимедийной системы рассматривается на примере «Vidicor Video System»: предлагается структурная модель для описания класса мультимедийных систем и построения имитационной модели. Описания, предложенные в работе, используются в разрабатываемом авторами комплексе программ анализа и управления раздачей мультимедийных потоков в CDN.

Ключевые слова: потоковое мультимедиа, CDN, оптимизация, математическое моделирование, системный анализ

MODEL OF MULTIMEDIA STREAMS DELIVERY SYSTEM

Manakova I.P., Prokhorov V.V.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,

Yekaterinburg, email: iman@vidicor.ru

We consider the class of multimedia stream delivery systems (multimedia systems) and the content distribution networks (Content Delivery Networks, CDN). Nowadays, the growth of interest to online multimedia is occurred, so the study of multimedia CDN as multimedia stream delivery system is relevant and timely. Note that a it is not exists a conventional models describing multimedia systems. Therefore, the main purpose of the research is development of a descriptive model of multimedia system for subsequent implementation in the form of a simulation computer model. We consider the «Vidicor Video System» as an example of a multimedia system. We identify the elements of multimedia systems, structured and mathematical models for multimedia systems are offered in this paper. Proposed verbal and mathematical descriptions are used in developed software to analyze and manage the distribution of multimedia streams in the CDN.

Keywords: streaming media, CDN, optimization, mathematical modeling, system analysis

Провайдеры различных информационных услуг (сервисов) создают специализированные сети поверх IP-сетей, чтобы оптимизировать распределение потоков в контролируемых ими сетевых сегментах. В общем случае такие сети называют «сетями распределения контента» (*Content Delivery Networks, CDN*) [8]. Одним из направлений развития CDN являются мультимедийные сети, раздающие мультимедийные потоки в реальном времени. Поскольку в настоящее время наблюдается высокий рост интереса к онлайн мультимедиа [7], изучение мультимедийных CDN в виде систем раздачи мультимедийных потоков актуально и своевременно. Здесь важное место занимает анализ способов управления движением потоков, анализ влияния сетевой инфраструктуры на распределение данных, анализ алгоритмов распределения вычислительной нагрузки между узлами и др. При изучении указанных вопросов применительно к IP-сетям широкое распространение имеет имитационное моделирование [6].

В отличие от IP-сетей, для описания моделей мультимедийных CDN нет общепринятого подхода, имитационных моделей,

учитывающих специфику систем раздачи мультимедийных потоков.

В статье описывается модель системы раздачи мультимедийных потоков, (мультимедийной CDN), разработанная на основе использования методов системного анализа и математического моделирования. Исследование проводилось на примере системы «Vidicor Video System» [9]. Разработанная модель применяется в разработке конкретного комплекса управления раздачей мультимедийных потоков в CDN. Результаты анализа мультимедийных CDN приводятся также в [1–5].

1. Разработка структурной модели системы раздачи мультимедийных потоков

В качестве системы раздачи мультимедийных потоков рассматривался отечественный продукт «Vidicor Video System» [9], который используется для организации вещания, а также многосторонней видеосвязи. Методика построения модели системы включила в себя следующие этапы:

- определение состава системы;
- определение структуры системы;
- выделение динамических и статических характеристик элементов системы;

• определение объектной модели, структуры классов.

Связь элементов системы раздачи мультимедийных потоков можно представить в виде схемы (рис. 1).

Описание элементов данной схемы приводится далее.

Источником данных для системы раздачи может быть стример (*streamer*) или репликатор (*replicator*).



Рис. 1. Элементы системы раздачи мультимедийных потоков

Стример обеспечивает преобразование данных от внешнего источника (камеры, микрофона и др.) в потоки мультимедийной системы. Внешними устройствами можно считать программные и аппаратные средства, которые производят мультимедийный IP-поток.

Репликатор обеспечивает преобразование внутренних информационных потоков системы, т.е. тех, которые уже сгенерированы стримерами и полученные от стримера или другого репликатора. Репликатор размножает потоки, при этом копии могут отличаться от оригинала. Например, репликатор может получать видеопоток в формате 3D, а отдавать в форматах 3D и 2D.

Промежуточными узлами сети помимо репликаторов могут быть ретрансляторы (*reflector*). Ретранслятор получает поток и передаёт его далее, тем самым увеличивая ресурсы системы в целом.

Мультимедийные узлы связаны между собой мультимедийными потоками (*media stream*). Набор связей, характеризующий передачу конкретного потока от источника до конечного приёмника, назовём мультимедийной трассой, маршрутом (*route*). Один и тот же поток может передаваться по разным маршрутам и задействовать разные узлы.

Набор всех внутренних маршрутов представляет собой схему репликации данных (*data replication circuit*). Схема репликации данных является основной характеристикой внутренней нагрузки на систему. При передаче мультимедийных потоков важно обеспечение целостности схемы репликации данных.

Маршруты потоков от системы к конечным потребителям представляют собой схему подключения зрителей (*viewers connection circuit*) – набор внешних маршрутов. Здесь под термином «зритель» понимается мультимедийный плеер (*media player*), с помощью которого конечные потребители получают необходимый поток. Поскольку под «зрителем» подразумевается плеер конечного потребителя, связь «мультимедийная система – зритель» подразумевает треки вида «узел – поток – плеер». Если одно и то же внешнее устройство клиента получает несколько потоков от системы, то можно говорить о нескольких треках. Схема подключения зрителей характеризует внешнюю нагрузку на систему.

Плееры, ожидающие подключения к мультимедийной системе, образуют очередь клиентов на подключение. Эта очередь порождает внешнюю нагрузку на сеть. Мультимедийные узлы, которые ожидают подключения к системе, образуют очередь узлов на подключение, которая также порождает внешнюю нагрузку. При подключении плеера из очереди меняется схема подключения клиентов. При подключении узла из очереди меняется схема репликации потоков. Под изменением понимается добавление новых связей, а также изменение старых.

Для управления нагрузкой мультимедийной системы в процессе раздачи данных вводятся специальные узлы – носители системы управления (балансировщик нагрузки). Балансировщик решает вопросы предоставления оптимального в данных условиях качества обслуживания. Он реша-

ет такие вопросы как «подключение клиентов из очереди», «распределение нагрузки между узлами», «экстренное реагирование в условиях нестабильности, выхода узлов из строя» и др. Одна мультимедийная сеть может иметь как централизованную си-

стему управления, так и несколько систем управления, которые отвечают за конкретный участок.

Представление системы с точки зрения взаимодействия с внешней средой показано на рис. 2.

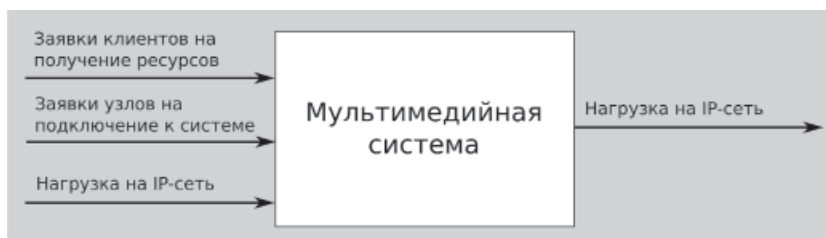


Рис. 2. Взаимодействие мультимедийной системы с внешней средой

Предлагаемая модель структуры для описания систем раздачи мультимедийных потоков представлена на рис. 3.

Мультимедийная система является динамической системой. В ней со временем изменяются количества мультимедийных

узлов, зрителей, потоков и, как следствие, схема подключения зрителей, схема подключения узлов, схема репликации данных, ресурсы узлов и системы в целом. Изменения характеризуют нагрузку сети и узлов.



Рис. 3. Модель структуры системы

Для описания динамической модели определим множество состояний, в которых система может находиться в определённые моменты времени с точки зрения нагрузки. Мультимедийная сеть может быть ненагруженной, нагруженной, перегруженной, может находиться в состоянии выхода из строя.

Общая нагрузка на систему может быть выражена через нагрузку на узлы сети, которые также могут быть ненагруженными, нагруженными, перегруженными и могут находиться в состоянии выхода из строя.

2. Разработка объектной модели системы раздачи мультимедийных потоков

Для описания мультимедийной системы, приведённой ранее, будем использовать

объектную модель, общая схема которой приведена на рис. 4.

Каждый участок сети, представляющий собой CDN, обозначен как класс «NetworkMap» («Карта сети»). Карта сети включает в себя стандартные элементы IP-сети (маршрутизаторы, переключатели и др.) и элементы мультимедийной системы (мультимедийные узлы, мультимедийные плееры).

Класс «Node» («Мультимедийный узел») определяет узлы IP-сети и узлы мультимедийной CDN. Узлами мультимедийной сети являются стримеры, репликаторы, ретрансляторы, узлы записи и хранения мультимедиа. Все узлы связаны с некоторой картой сети. Параметры узлов: IP-адрес (ip_address), название (name), тип узла

(node_type), данные по количеству пользователей (max_users, now_users), данные о пропускной способности канала (output_bandwidth, occupied_output_bandwidth, input_bandwidth, occupied_input_bandwidth),

данные о загруженности процессора (max_cpu, now_cpu), данные об используемой памяти (max_memory, now_memory), популярность узла (popularity), загруженность (load_status).

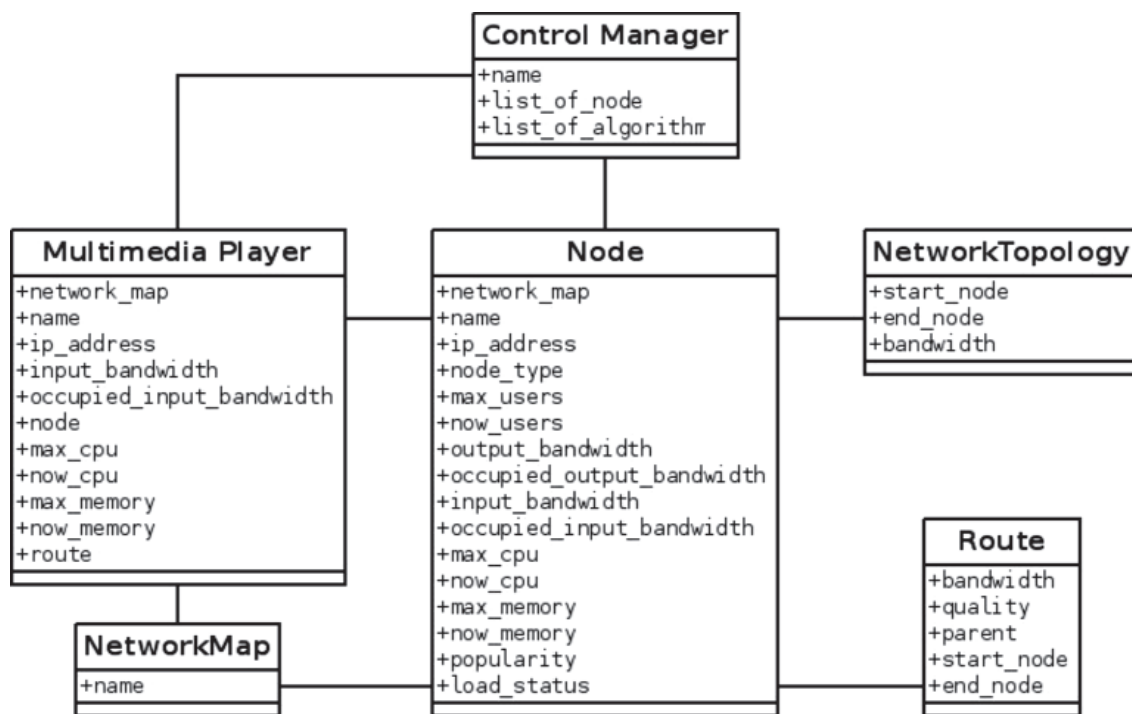


Рис. 4. Объектная модель системы раздачи мультимедийных потоков

Класс «Multimedia Player» («Мультимедийный плеер») определяет принимающее устройство клиента. Плееры связаны с мультимедийными узлами. Основные характеристики плееров: IP-адрес (ip_address), название (name), данные о пропускной способности входящего канала (input_bandwidth, occupied_input_bandwidth), данные о загруженности процессора (max_cpu, now_cpu), данные об используемой памяти (max_memory, now_memory), привязка к узлу (node), привязка к потоку/маршруту (route).

Попарную связь узлов с указанием объема пропускной способности канала (bandwidth) представляет собой класс «NetworkTopology» («Топология сети»). Набор таких связей характеризует сетевую топологию.

Мультимедийные маршруты представляют собой класс «Route» («Маршрут»). Каждый маршрут характеризует не только попарную связь узлов, но и принадлежность к некоторому источнику: {start_node, end_node, parent, quality, bandwidth}, где start_node – узел начала потока, end_node – узел завершения потока, parent – источник трансляции, quality – качество мультимедийных данных, bandwidth – необходимая

величина пропускной способности канала для данного потока.

Для описания систем управления определен класс «Control Manager» («Система управления»). «Система управления» включает в себя набор алгоритмов по управлению нагрузкой системы и набор узлов, связанных с данной системой управления. Для выбора того или иного алгоритма управления необходимо знать, в каком состоянии находится система и её узлы. Поэтому были введены «Состояния» («Load status»), в которых может находиться узел:

- INL (Is Not Loaded) – система не нагружена; числовое значение, описывающее данное состояние, равно 0;

- IL (Is Loaded) – система нагружена; числовое значение, описывающее данное состояние, находится в диапазоне $0 < IL \leq BL$ и представляет собой число с плавающей точкой;

- IOL (Is OverLoaded) – система перегружена; числовое значение, описывающее данное состояние, находится в диапазоне $BL < IOL < 1$ и представляет собой число с плавающей точкой;

• IB (Is Broken) – система вышла из строя и нуждается в устранении неполадок, числовое значение, описывающее данное состояние, равно 1.

BL (boundary load) – граница между состоянием «система нагружена» и состоянием «система перегружена». Её значение определяется для каждой мультимедийной системы в отдельности.

На основании статических и динамических параметров узлов можно найти числовое значение нагрузки на мультимедийный узел, затем – состояние: $\{C_{CPU}, C_{BI}, C_{BO}, C_U, C_M\}$. Здесь C_{CPU} – уровень загрузки процессора (1); C_{BI} – уровень использования входящего канала (2); C_{BO} – уровень использования исходящего канала

(3); C_U – уровень нагрузки по количеству зрителей (4); C_M – уровень загруженности памяти (5).

На основании статических и динамических параметров плееров можно найти числовое значение нагрузки на плееры: $\{C_{CPU}, C_{BI}, C_M\}$, где C_{CPU} – уровень загруженности процессора (1), C_{BI} – уровень использования входящего канала (2), C_M – уровень загруженности памяти (5).

$$C_{CPU} = \frac{now_cpu}{max_cpu}, \quad 0 \leq C_{CPU} \leq 1, \quad (1)$$

где max_cpu – максимальное количество ресурсов процессора, now_cpu – уровень загруженности процессора в конкретный момент времени.

$$C_{BI} = \frac{occupied_input_bandwidth}{input_bandwidth}, \quad 0 \leq C_{BI} \leq 1, \quad (2)$$

где $input_bandwidth$ – входящая пропускная способность, установленная провайдером, $occupied_input_bandwidth$ –

занятая пропускная способность исходящего канала в конкретный момент времени.

$$C_{BO} = \frac{occupied_output_bandwidth}{output_bandwidth}, \quad 0 \leq C_{BO} \leq 1, \quad (3)$$

где $output_bandwidth$ – исходящая пропускная способность, установленная провайдером, $occupied_output_bandwidth$ – занятая пропускная способность входящего канала в конкретный момент времени.

$$C_U = \frac{now_users}{max_users}, \quad 0 \leq C_U \leq 1, \quad (4)$$

где max_users – максимальное количество подключённых зрителей, now_users – количество пользователей, подключённых к узлу в конкретный момент времени.

$$C_M = \frac{now_memory}{max_memory}, \quad 0 \leq C_M \leq 1, \quad (5)$$

где max_memory – максимальное количество памяти, now_memory – уровень использования памяти в конкретный момент времени.

Представленные описания используются нами в составе разрабатываемой имитационной модели мультимедийной CDN.

Заключение

В результате произведённого анализа системы раздачи мультимедийных потоков предложена общая модель для данного класса систем, описывающая основные особен-

ности мультимедийных CDN. Разработаны структурная и математическая модели. Результаты построения используются в разрабатываемом авторами комплексе программ по анализу и управлению раздачей мультимедийных потоков в CDN.

Список литературы

1. Манакова И.П., Прохоров В.В. К вопросу об оптимизации построения мультимедиа-сетей // III Информационная школа молодого учёного: сб. научных трудов / ЦНБ УрО РАН; отв. ред. П.П. Трескова; сост. О.А. Оганова. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2013. – С. 306–315.
2. Манакова И.П., Петров К.Б. К вопросу о подключении пользователей к мультимедиа-сети. «Инновации науке» / И.П. Манакова, К.Б. Петров // Материалы XVI международной заочной научно-практической конференции, 28 января 2013 г. – Новосибирск: Изд. «СибАК», 2013. – Ч. I. – С. 94–108.
3. Манакова И.П. Менеджер управления мультимедиа-сетью. Список-2013 // Список-2013: материалы всероссийской научной конференции по проблемам информатики, 23–26 апреля 2013 г., Санкт-Петербург. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2013. – С. 441–447.
4. Манакова И.П. Построение интернет-видеосистем с позиции микроконтекстного подхода. Теоретические и практические аспекты развития современной науки; Науч.-инф. издат. центр «Институт стратегических исследований» // Материалы VI международной научно-практической конференции, Москва, 26 декабря 2012 г. – М.: Изд-во «Спецкнига», 2012. – С. 97–100.
5. Манакова И.П., Петров К.Б. Распределение пользователей по видеосерверам онлайн трансляции с условием минимального перемещения зрителей. Технические

науки – от теории к практике // Материалы X международной заочной научно-практической конференции, 28 мая 2012 г. / под ред. Я.А. Полонского. – Новосибирск: Изд. «Сибирская ассоциация консультантов», 2012. – С. 27–35.

6. Наместников А.М., Тронин В.Г. Примеры реализаций систем имитационного моделирования вычислительных сетей // Инфокоммуникационные технологии. – Т. 6. – 2008. – № 1. – С. 84–88.

7. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2012–2017. – 2013. URL: http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360.pdf, свободный (дата обращения: 02.02.2014).

8. Pathan M., Buyya R. A taxonomy and survey of content delivery networks // Technical Report, GRIDS-TR-2007-4, The University of Melbourne, Australia, Feb 2007.

9. Vidicor Video System. URL: <http://www.vidicor.ru> (дата обращения: 02.02.2014).

References

1. Manakova I.P., Prokhorov V.V. To the question of optimizing the construction of multimedia networks // Proceedings of III Information Schools of the young scientist. Scientific conference, Ekaterinburg, 26–30.08.2013, pp. 306–315.

2. Manakova I.P., Petrov K.B. About the connection of the users to the multimedia network // Innovations in science. Proceedings of XVI International scientific and practical conference, Novosibirsk, 28.01.2013, pp. 94–108.

3. Manakova I.P. Manager for management of multimedia network // SPISOK-2013. Proceedings of Scientific conference, Saint Petersburg, 23–26.04.2013, P. 441–447.

4. Manakova I.P. Construction internet video system with position of microcontext approach // Theoretical and practical aspects of modern science. Proceedings of VI International scientific and practical conference, Moscow, 26.12.2012, P. 97–100.

5. Manakova I.P., Petrov K.B. The distribution of users on video servers of online translation with the minimum displacement viewers // Engineering science: from theory to practice. Proceedings of X International scientific and practical conference, Novosibirsk, 28.05.2012, pp. 27–35.

6. Namestnikov A.M., Tronin V.G. Examples of Two Simulation Systems for Computing Network // Information and Communication Technologies. 2008. Vol. 6, no. 1. pp. 84–88.

7. Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2012–2017. 2013. URL: http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360.pdf.

8. Pathan M., Buyya R. A taxonomy and survey of content delivery networks // Technical Report, GRIDS-TR-2007-4, The University of Melbourne, Australia, Feb 2007.

9. Vidicor Video System. URL: <http://www.vidicor.ru>.

Рецензенты:

Воротников В.И., д.ф.-м.н., профессор, ФГАОУ ВПО «Нижнетагильский технологический институт» (филиал) УрФУ, г. Нижний Тагил;

Красовский А.Н., д.ф.-м.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 21.05.2014.