



Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина

Методы управления процессом раздачи мультимедийного контента реального времени

05.13.11. Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Докладчик:

Манакова И. П.,
аспирант УрФУ

Руководитель:

Прохоров В. В., д. ф.-м. н.,
профессор УрФУ

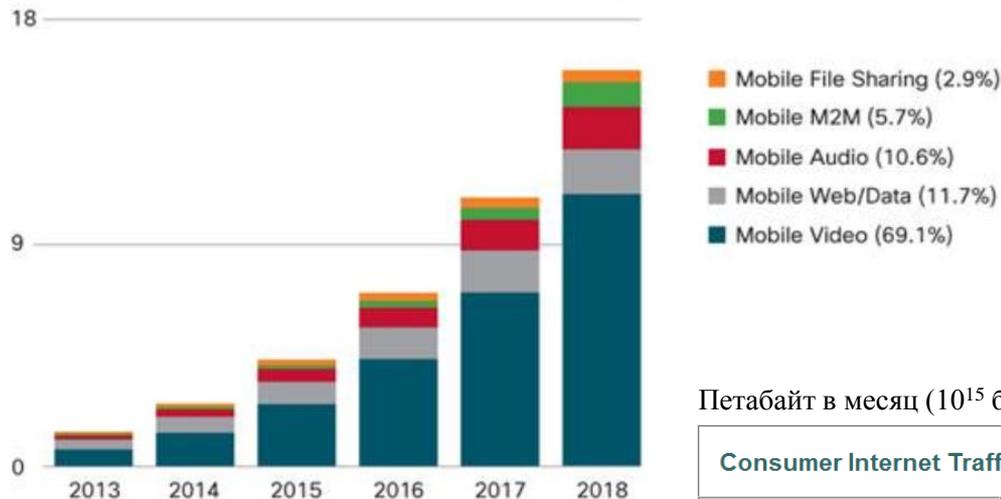
Екатеринбург, 2015 г.

Анализ предметной области



Доля мультимедийного контента в сети Интернет

Эксабайт в месяц (10^{18} байт)



Figures in parentheses refer to traffic share in 2018.
Source: Cisco VNI Mobile, 2014

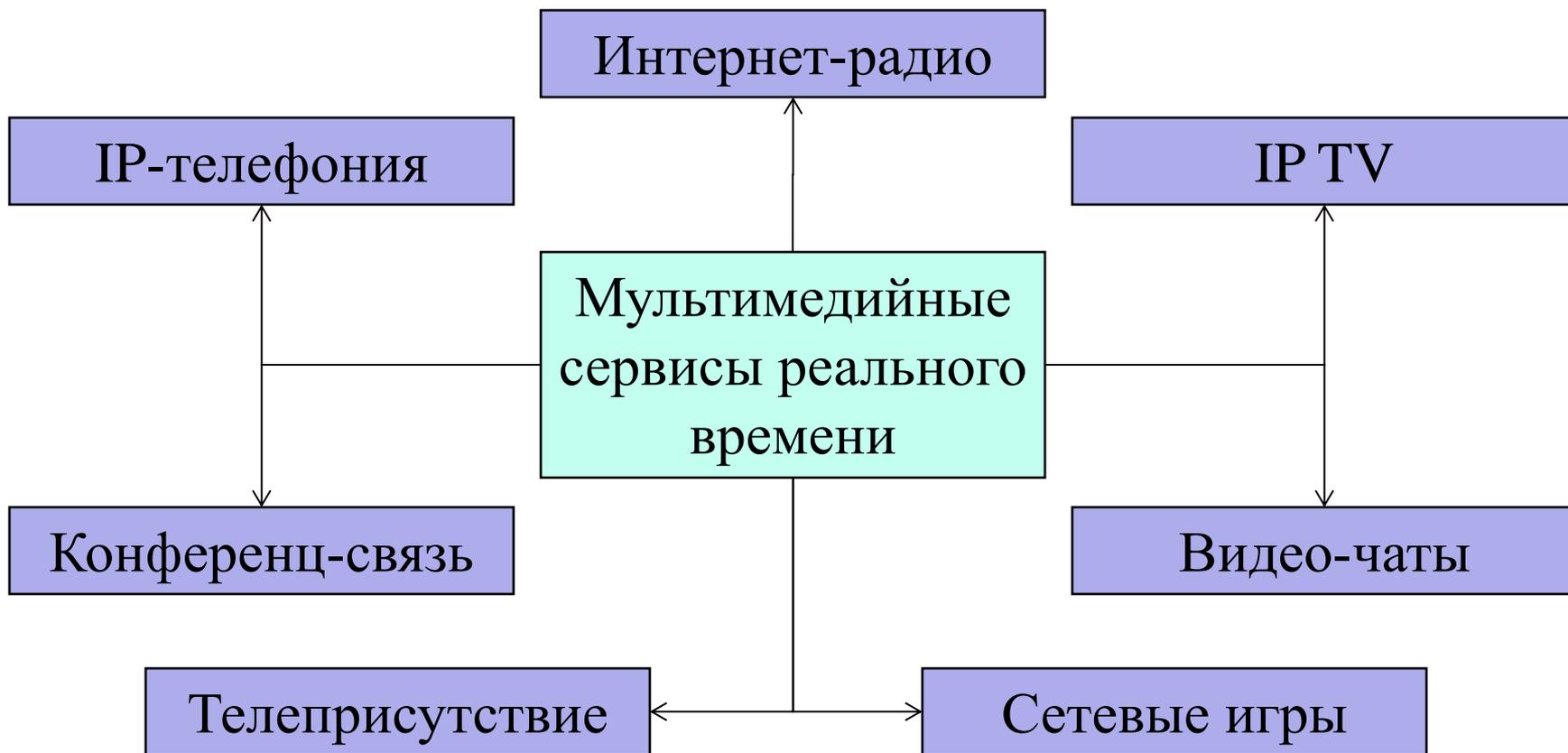
Наблюдается быстрый рост объемов мультимедийного контента в сети Интернет согласно отчетам и прогнозам Cisco

Петабайт в месяц (10^{15} байт)

Consumer Internet Traffic, 2013–2018							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	CAGR 2013–2018
By Network (PB per Month)							
Fixed	27,882	33,782	40,640	48,861	58,703	70,070	20%
Mobile	1,189	2,102	3,563	5,774	8,968	13,228	62%
By Subsegment (PB per Month)							
Internet video	17,455	22,600	29,210	37,783	48,900	62,972	29%
Web, email, and data	5,505	6,706	8,150	9,913	11,827	13,430	20%
File sharing	6,085	6,548	6,803	6,875	6,856	6,784	2%
Online gaming	26	30	41	64	88	113	34%

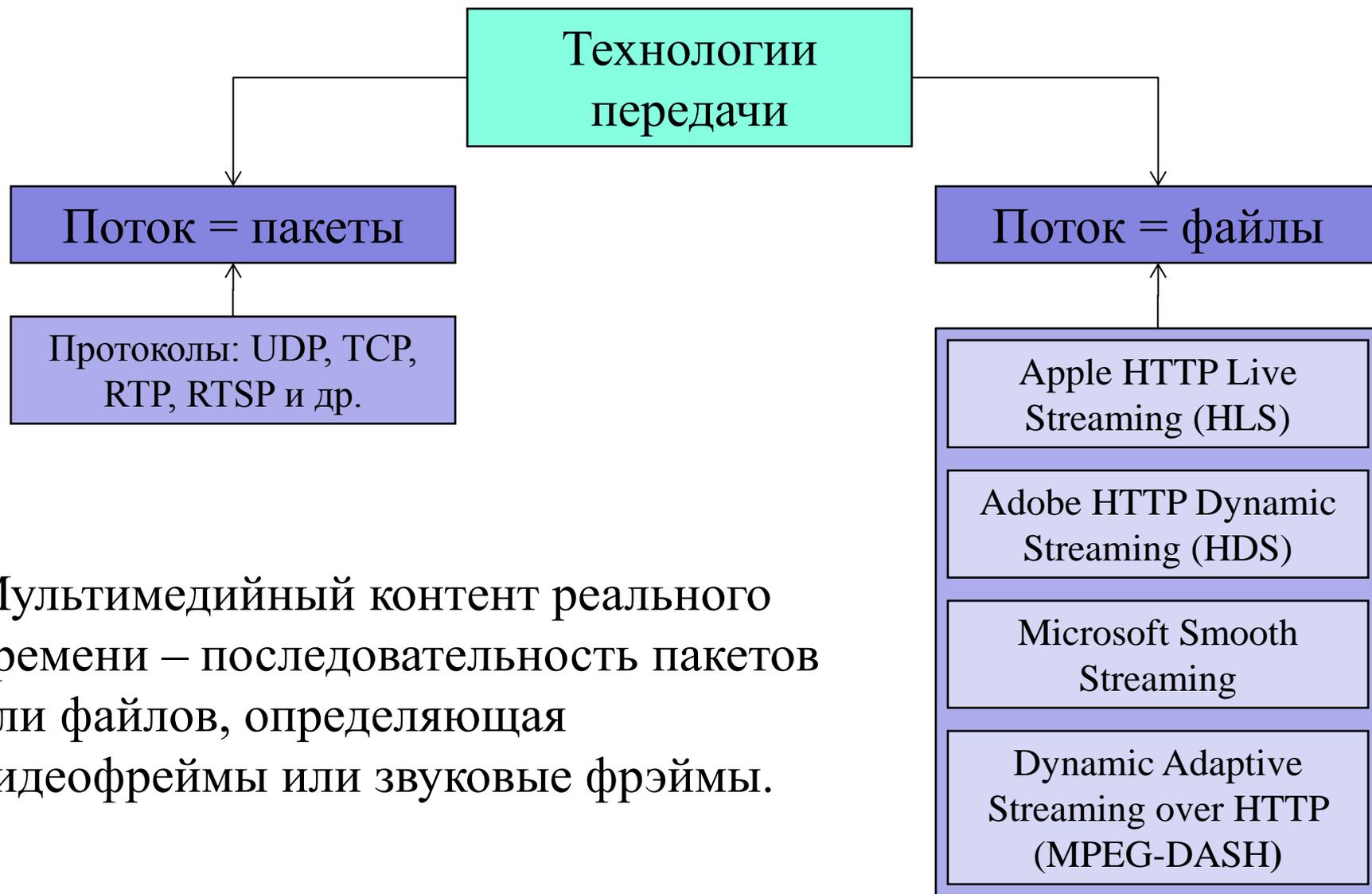


Мультимедийные сервисы в сети Интернет





Технологии передачи мультимедиа реального времени

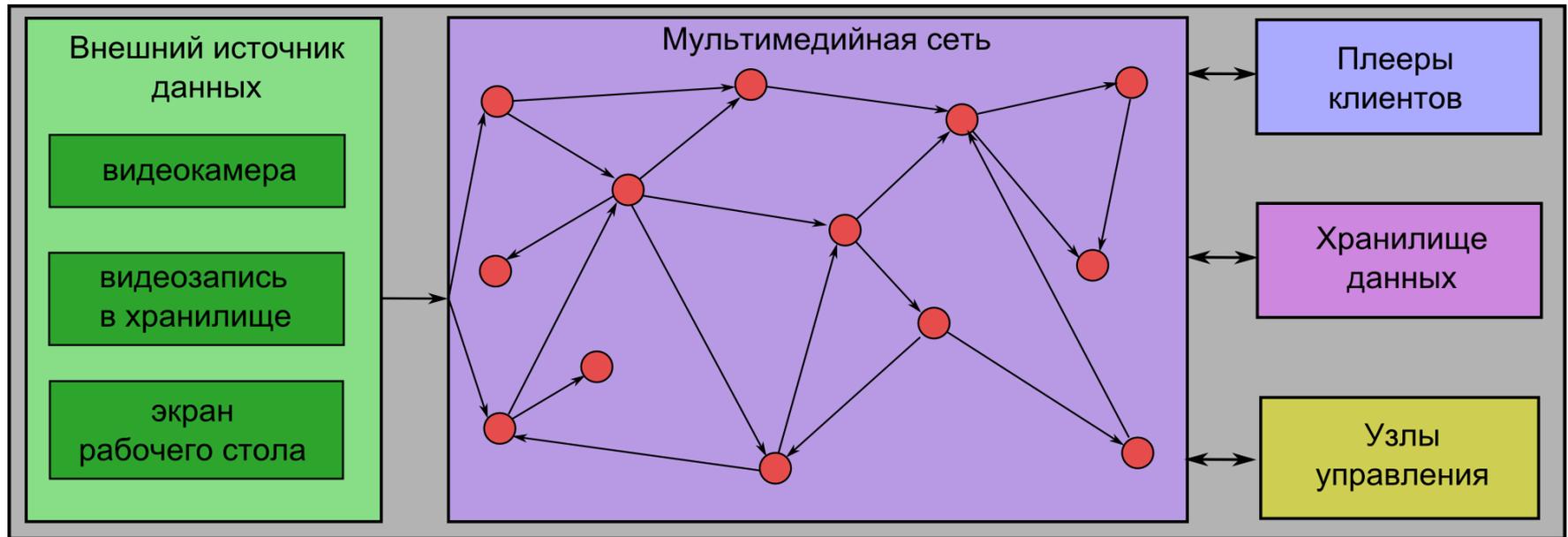


Мультимедийный контент реального времени – последовательность пакетов или файлов, определяющая видеофреймы или звуковые фреймы.



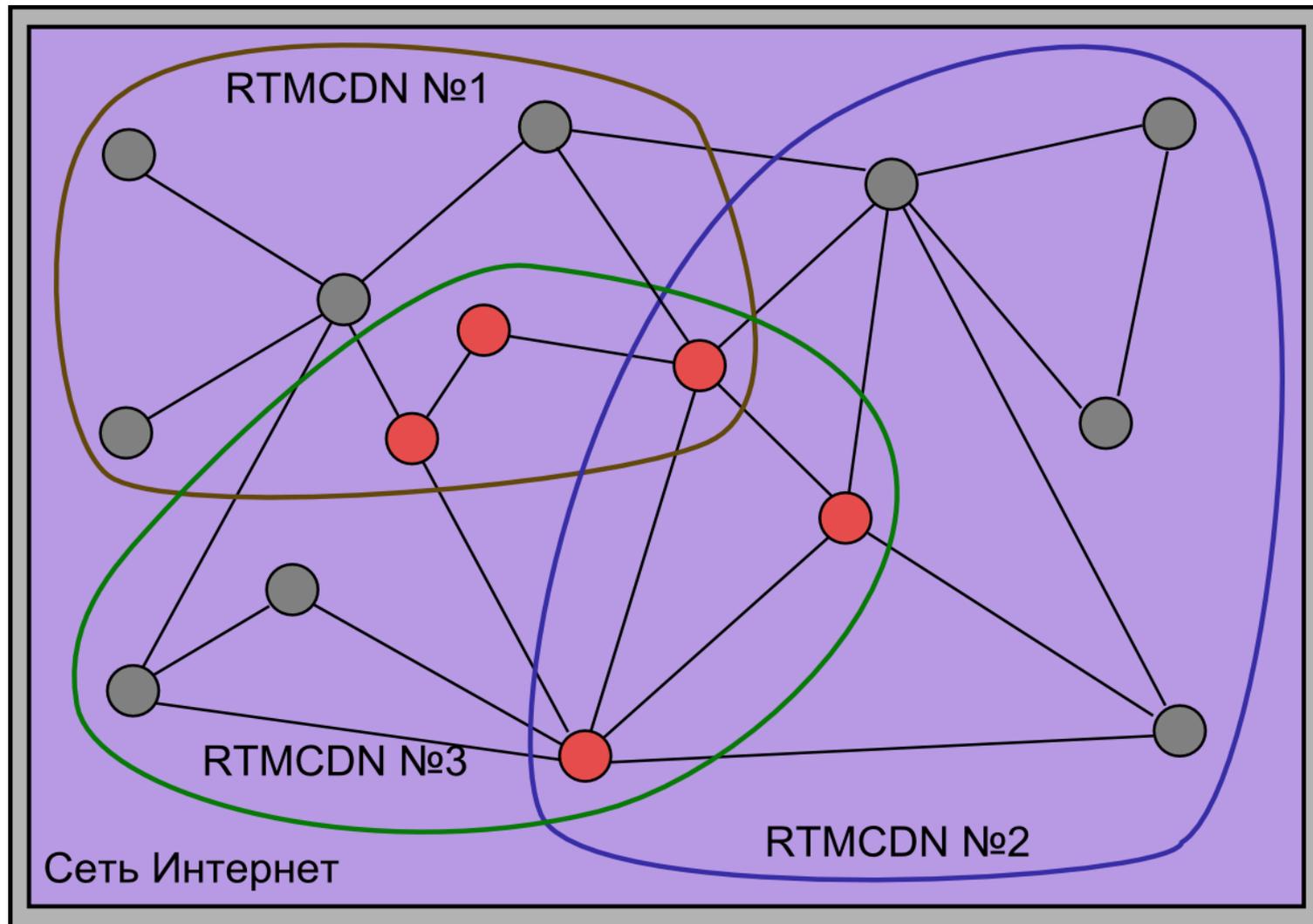
Понятие системы RTMCDS

Генераторы мультимедийного трафика реального времени – системы раздачи мультимедийного контента реального времени (Real-Time Multimedia Content Distribution System, RTMCDS), построенные по принципам сетей CDN.



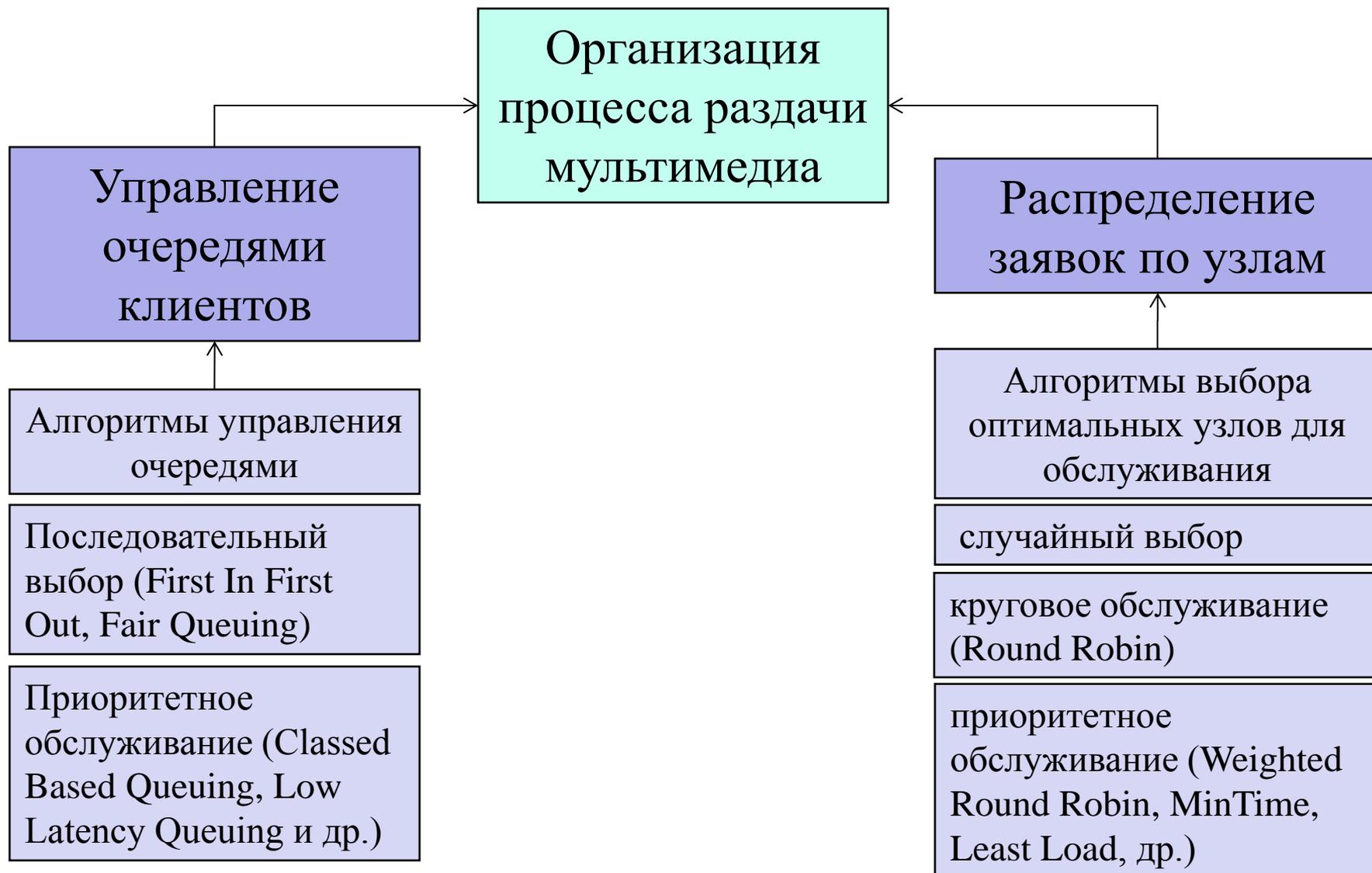


Проблема развертывания сетей CDN и RTMCDN





Управление процессом раздачи мультимедиа



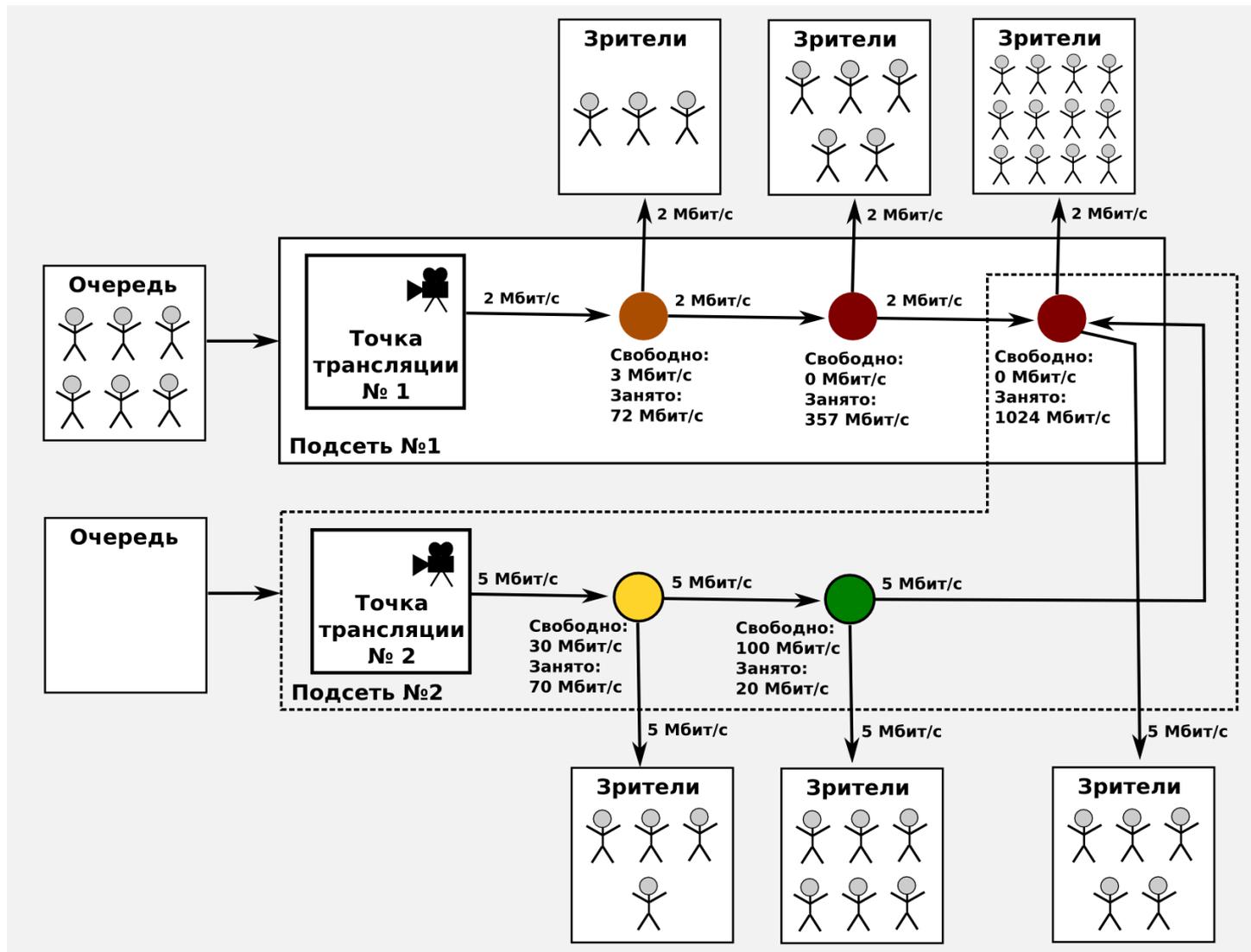


Описание проблемы



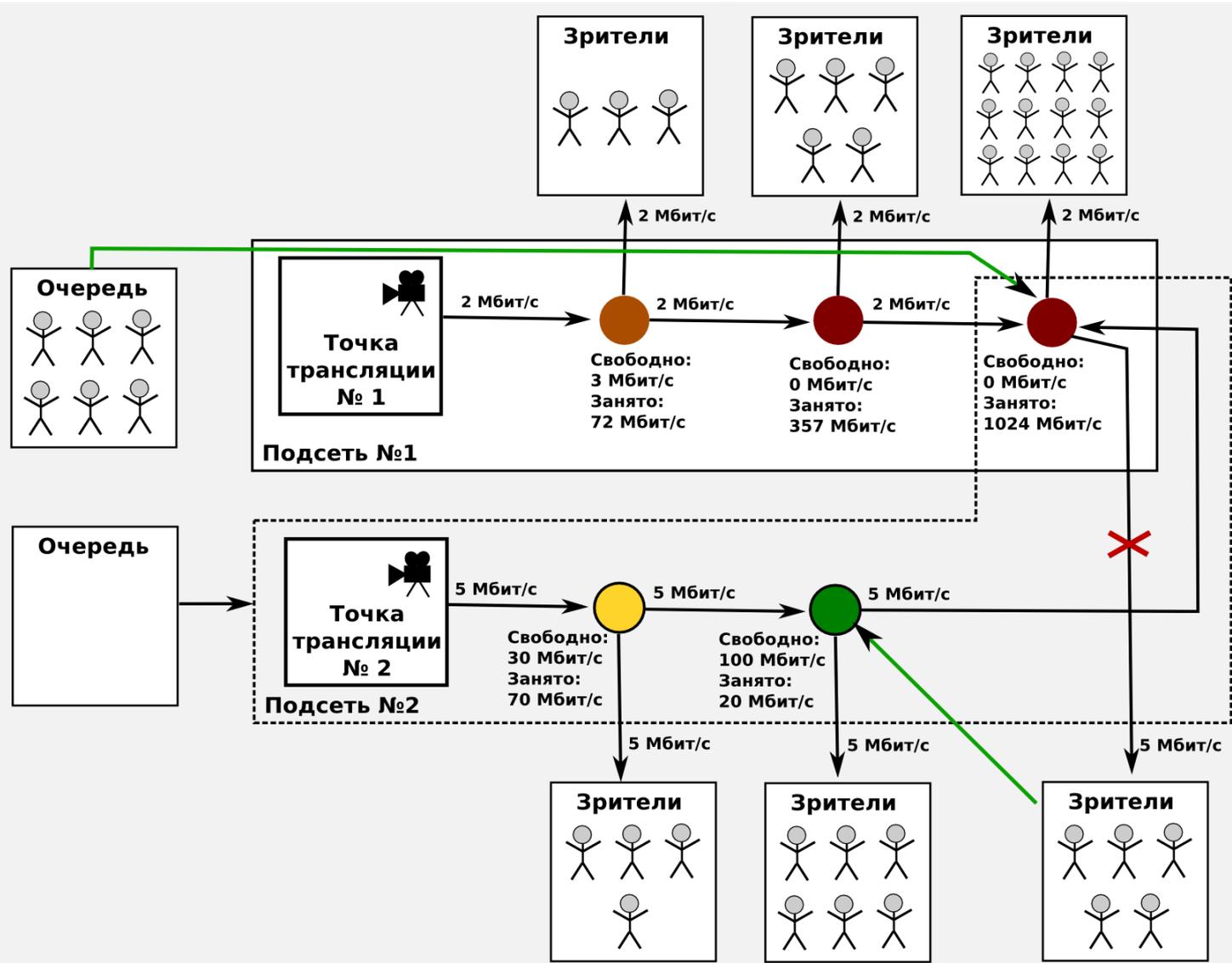


Описание проблемы





Описание проблемы





Постановка задачи исследования

ЦЕЛЬ: Изучение вопросов управления процессом раздачи мультимедийного контента реального времени системами RTMCDS и повышение эффективности работы систем RTMCDS во время раздачи мультимедиа реального времени.

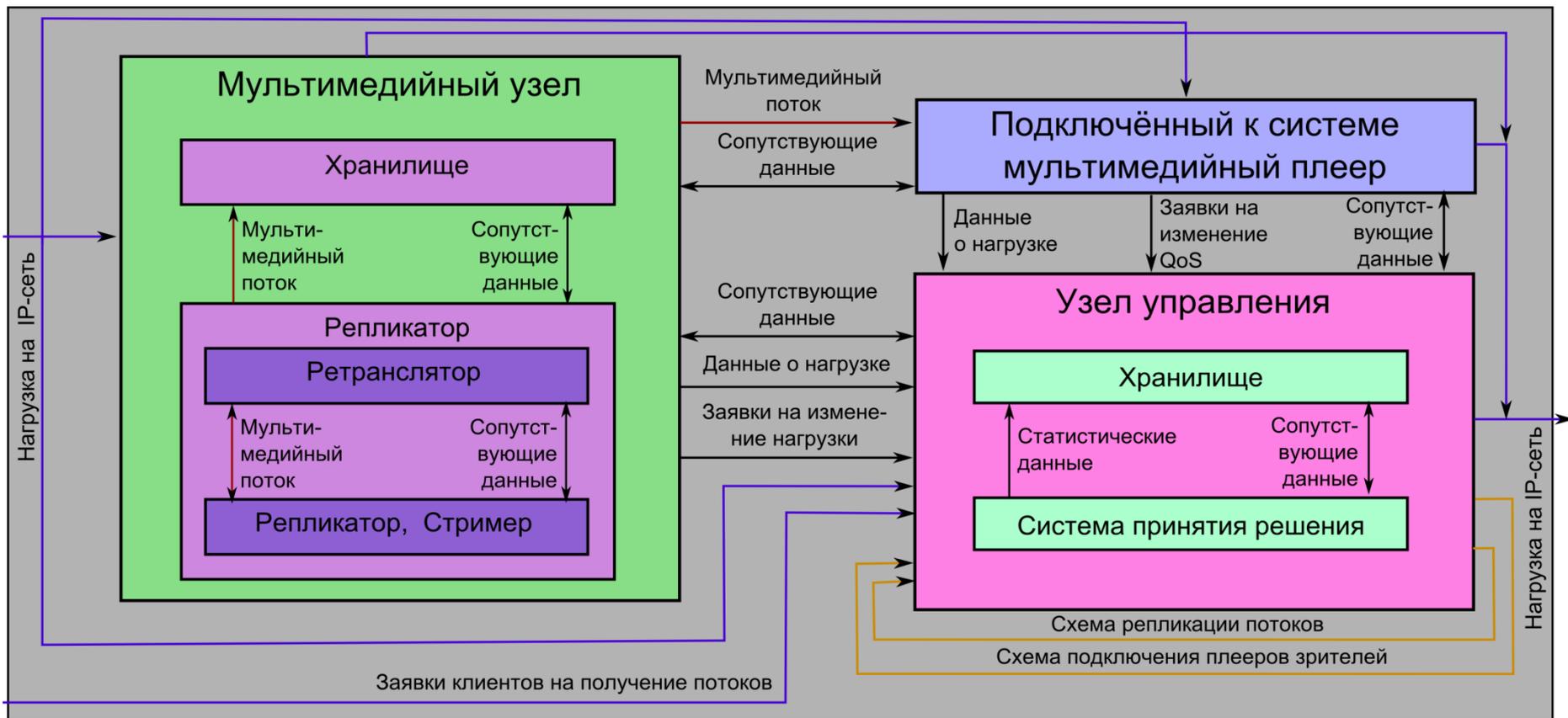
ЗАДАЧИ:

- разработка описательной, математической, имитационной модели системы RTMCDS;
- разработка методов повышения эффективности работы систем RTMCDS;
- реализация пакета прикладных программ для систем RTMCDS;
- проведение экспериментов с реальными системами RTMCDS, а также с разработанными моделями.

Разработка математической модели для систем RTMCDS



Структурная модель системы RTMCDS





Математическая модель системы RTMCDS

Общая модель системы RTMCDS: $S_E = \{N, U, S, L, W\}$

Динамическая модель узла: $n = \{CPU_{\max}, M_{\max}, U_{\max}, R_{\max}^{out}, R_{\max}^{in}, CPU, M, U, R^{out}, R^{in}, S, BL, \rho\}$

Модель нагрузки на узел:

$$\begin{cases} CPU = f_{ex}(CPU) + f_{in}(CPU), \\ M = f_{ex}(M) + f_{in}(M), \\ U = f_{ex}(U) + f_{in}(U), \\ R^{out} = f_{ex}(R^{out}) + f_{in}(R^{out}), \\ R^{in} = f_{ex}(R^{in}) + f_{in}(R^{in}), \end{cases}$$

где
 f_{ex} – функция внешней нагрузки, f_{in} – функция внутренней нагрузки.

Динамическая модель плеера зрителя: $u = \{b, B, Y, K\}$

Динамическая модель потока: $s = \{n_{parent}, n_{stream}, q, b_s\}$



Математическая модель системы RTMCDS

Функция распределения величины потока – нормальный закон распределения с левосторонним ограничением области рассеяния:

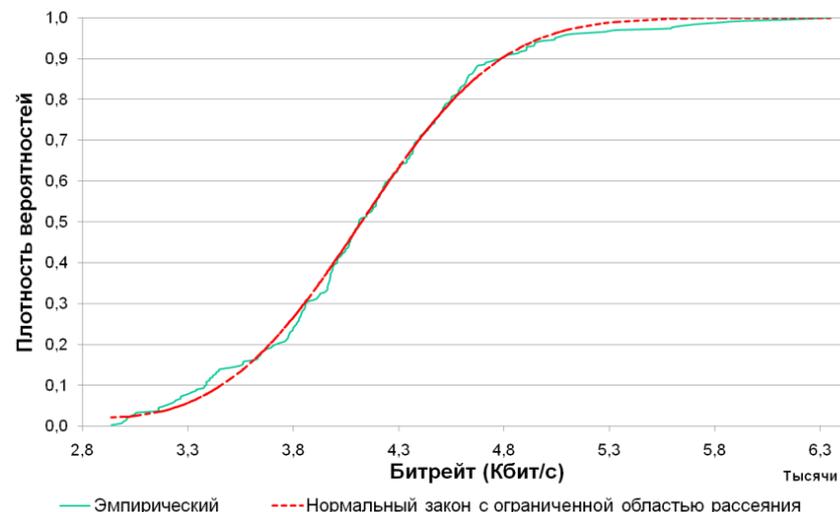
$$b = \begin{cases} f(x) = 0, \text{ при } x < x_{\min}, \\ f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \left\{ \exp\left[-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma^2}\right] + \exp\left[-\frac{(x+x_0-2x_{\min})^2}{2\sigma^2}\right] \right\}, \text{ при } x \geq x_{\min} \end{cases}$$

где

σ – стандартное отклонение случайных значений,

x_0 – математическое ожидание при отсутствии ограничения,

x_{\min} – граничное значение (минимально допустимая величина).

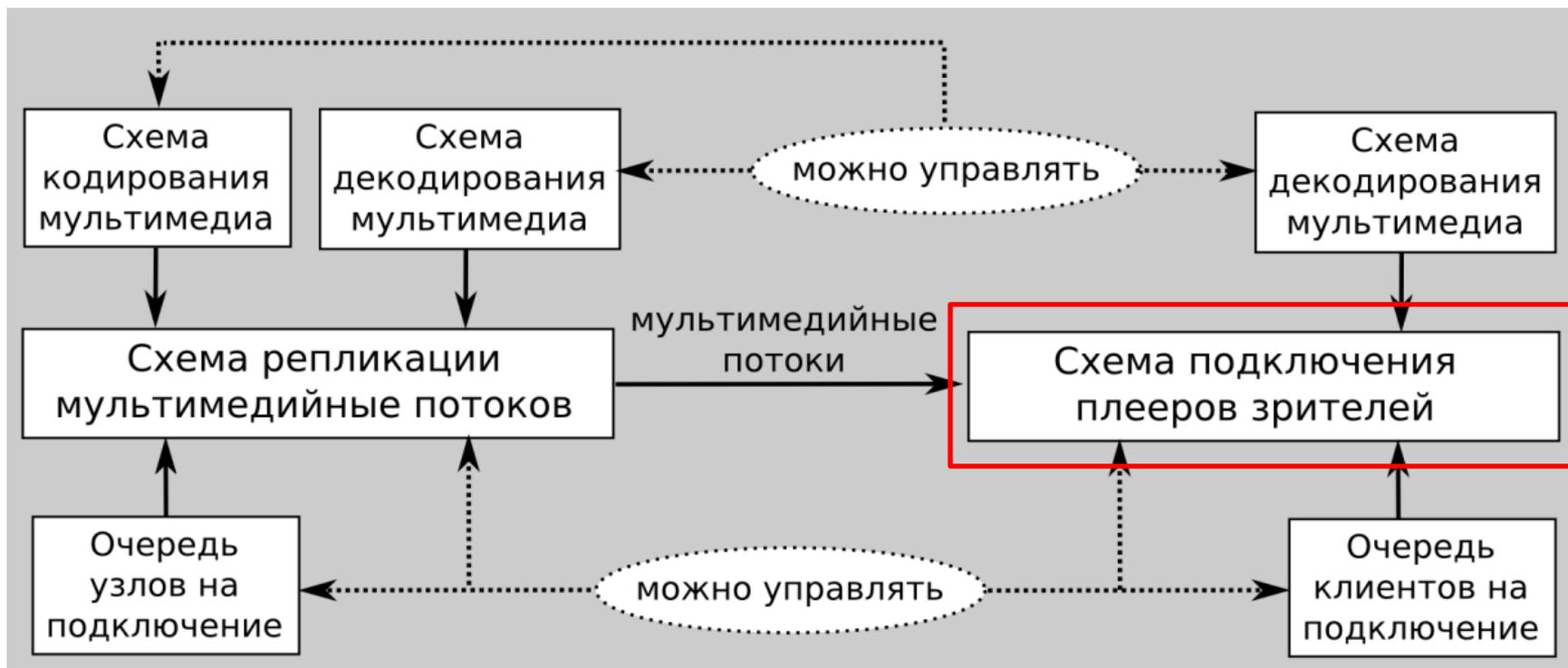


Решение задачи управление системами RTMCDS во время перегрузок



Управление системой RTMCDS во время перегрузок

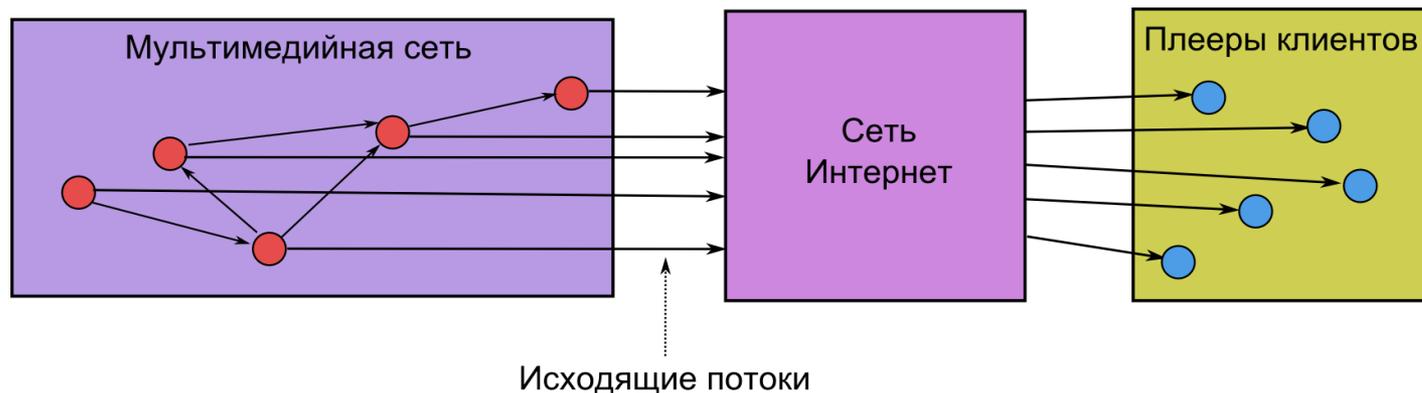
Задача: повышение эффективности функционирования системы, максимизация количества подключенных плееров.





Методы управления схемой подключения зрителей

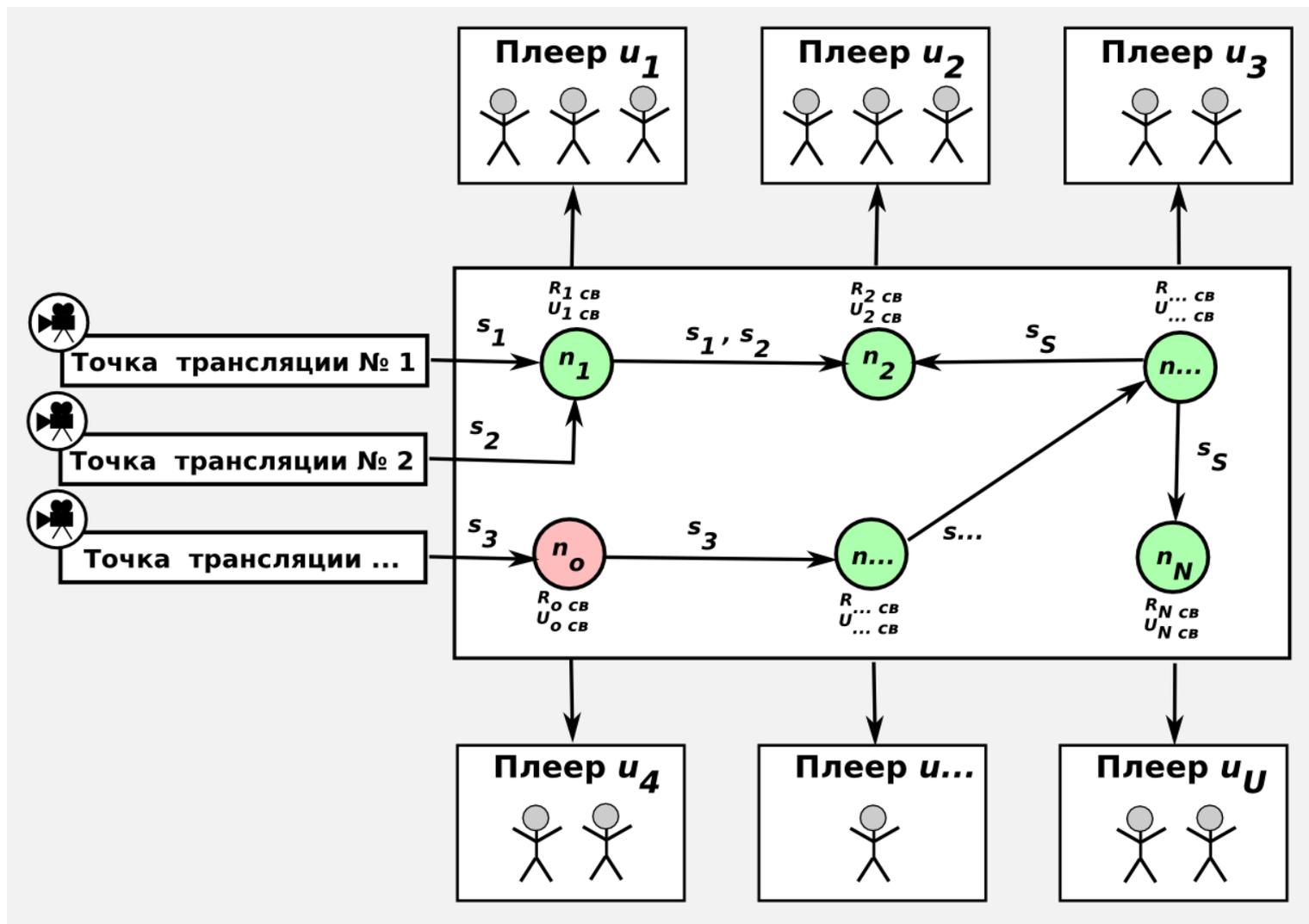
Схема подключения плееров к узлам сети – это совокупность связей типа «узел-поток-плеер», которая характеризует загрузку исходящих каналов сети.



Предлагаемые методы:

- метод смены источника потока (переподключение);
- метод смены качества потока для плееров зрителей (переподключение с понижением качества).

Общая постановка задачи о перераспределении нагрузки системы RTMCDS между ее узлами





Математическая модель текущей схемы подключения

1. Модель текущей нагрузки узла: $n_i = \{R_{max,i}, R_i, U_{max,i}, U_i, S_i | i = \overline{1, N}\}$
2. Модель плеера зрителя: $u_j = \{b_j, B_j, Y_j, K_j | j = \overline{1, U}\}$
3. Текущая схема подключения плееров зрителей - бинарная матрица Y , размерностью $N \times U$: $Y = \{y_{i,j} | i = \overline{1, N}, j = \overline{1, U}\}$
4. Матрица возможных подключений KB , размерностью $N \times U$:
 $KB_{i,j} = \{K_{i,j} \cdot B_{i,j} | i = \overline{1, N}, j = \overline{1, U}\}$
5. Матрица качества для текущей схемы подключения:
 $Q_{i,j} = \{Y_{i,j} \cdot b_{i,j} | i = \overline{1, N}, j = \overline{1, U}\}$
6. Система ограничений:
$$\begin{cases} R_{max,i} - \sum_{j=1}^U Y_{i,j} \cdot b_{i,j} \geq 0, \\ U_{max,i} - \sum_{j=1}^U Y_{i,j} \geq 0, \\ Y_{i,j} = \overline{0, 1}, i = \overline{1, N}, j = \overline{1, U}. \end{cases}$$
7. Величина перегрузки узла n_o :
$$ov = R_{max,i} - \sum_{j=1}^U Y_{i,j} \cdot b_{i,j} | i = n_o$$

Решение задачи о перераспределении нагрузки системы RTMCDS между ее узлами

Метод «смена источника потока»

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^U |Y_{i,j} - Y'_{i,j}| \rightarrow \min \\ R_{\max,i} - \sum_{j=1}^U Y_{i,j} \cdot b_{i,j} \geq 0, \\ U_{\max,i} - \sum_{j=1}^U Y_{i,j} \geq 0, \\ \sum_{i=1}^N Y'_{i,j} = 1, \\ Y'_{i,j} = \overline{0,1}, Y_{i,j} = \overline{0,1}, i = \overline{1,N}, j = \overline{1,U}. \end{array} \right.$$

Метод «смена качества потока»

$$\left\{ \begin{array}{l} |q_j - q'_j| \rightarrow \min, \\ R_{\max,i} - \sum_{j=1}^U Y_{i,j} \cdot b_{i,j} \geq 0, \\ U_{\max,i} - \sum_{j=1}^U Y_{i,j} \geq 0, \\ \sum_{i=1}^N Y'_{i,j} = 1, \\ Y'_{i,j} = \overline{0,1}, Y_{i,j} = \overline{0,1}, i = \overline{1,N}, j = \overline{1,U}. \end{array} \right.$$

Гипотеза: существует хотя бы одно решение Y' более удачное, чем Y .



Общий алгоритм поиска решения

Этап №1. Проверка существования у системы ресурсов для перераспределения нагрузки: $\sum_{i=1}^N U_{cb,i} > 0, \sum_{i=1}^N R_{cb,i} > 0.$

Этап №2. Формирование упорядоченного вектора возможных вариантов освобождения на перегруженном узле n_o нужного объёма пропускной способности канала. Каждый варианта y_a находится как:

$$\begin{cases} y_a = \sum_{h=1}^H u_{s_h} \cdot b_{s_h} \rightarrow ov, \\ u_{s_h} \leq U_{s_h}, \\ \sum_{h=1}^H u_{s_h} \leq U_{общ.} \end{cases}$$

где

$s_o = \{s_1, s_2, \dots, s_H\}$ – вектор потоков, передаваемых узлом n_o ,

u_{s_h} – число отобранных плееров, подключенных к потоку s_h из вектора s_o ,

b_{s_h} – величина потока s_h из вектора s_o .

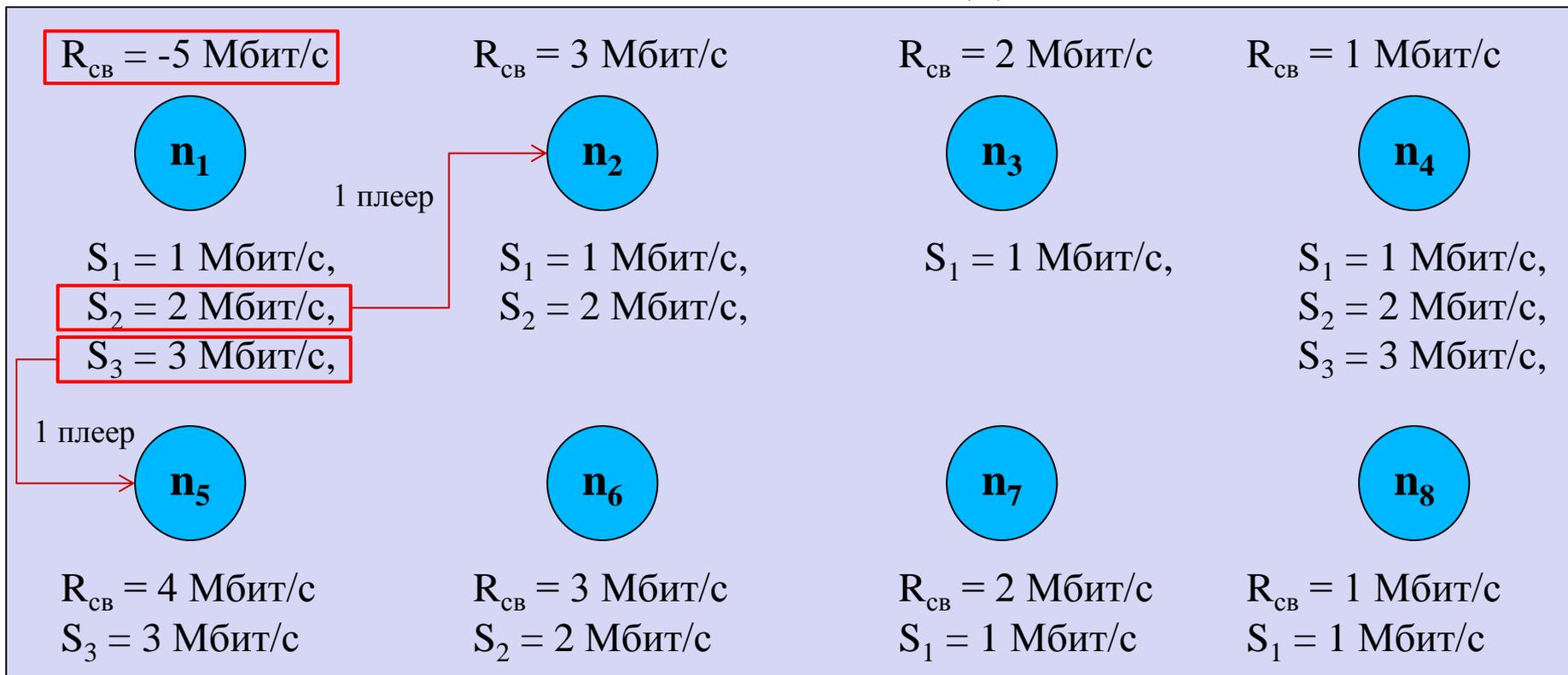


Общий алгоритм поиска решения

Этап №3. Формирование вектора возможных решений и вектор решений с перегрузкой.

Этап №4. Проверка вектора решений с перегрузкой.

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ



Разработаны структурная и математическая модели для описания процесса раздачи мультимедийного контента реального времени.

Разработаны алгоритмы управления загрузкой каналов систем RTMCDS во время перегрузок.

Разработанные решения можно использовать для создания имитационной модели систем RTMCDS и для программной реализации алгоритмов управления.

Разработка пакета прикладных программ



Особенности разработанного пакета прикладных программ

1. Программный продукт имеет модульную структуру;
2. Программный продукт рассчитан как на использование имитационной модели, так и реальной системы RTMCDS;
3. Модульная структура позволяет интегрировать решения, разрабатываемые независимо в схожих средах;
4. Модульная структура обеспечивает легкость внедрения алгоритмов управления системами RTMCDS, а также алгоритмов генерации динамических параметров системы.



Состав пакета прикладных программ

1. Среда моделирования систем RTMCDS;
2. Менеджер управления подключением клиентов к системам RTMCDS;
3. Визуализатор данных;
4. Библиотеки алгоритмов управления процессом раздачи мультимедийного контента реального времени;
5. Программный класс для решения задач управления раздачей мультимедийного контента реального времени во время перегрузок.



Решаемые задачи

- моделирование работы системы RTMCDS в конкретных условиях функционирования;
- выбор оптимальной стратегии управления нагрузкой конкретной системы для повышения количества удачных подключений клиентов;
- определение оптимальных параметров системы (топологии, ресурсов узлов) для обеспечения мультимедийными потоками X клиентов с учетом конкретной стратегией управления нагрузкой;
- управление процессом раздачи мультимедийного контента реального времени.

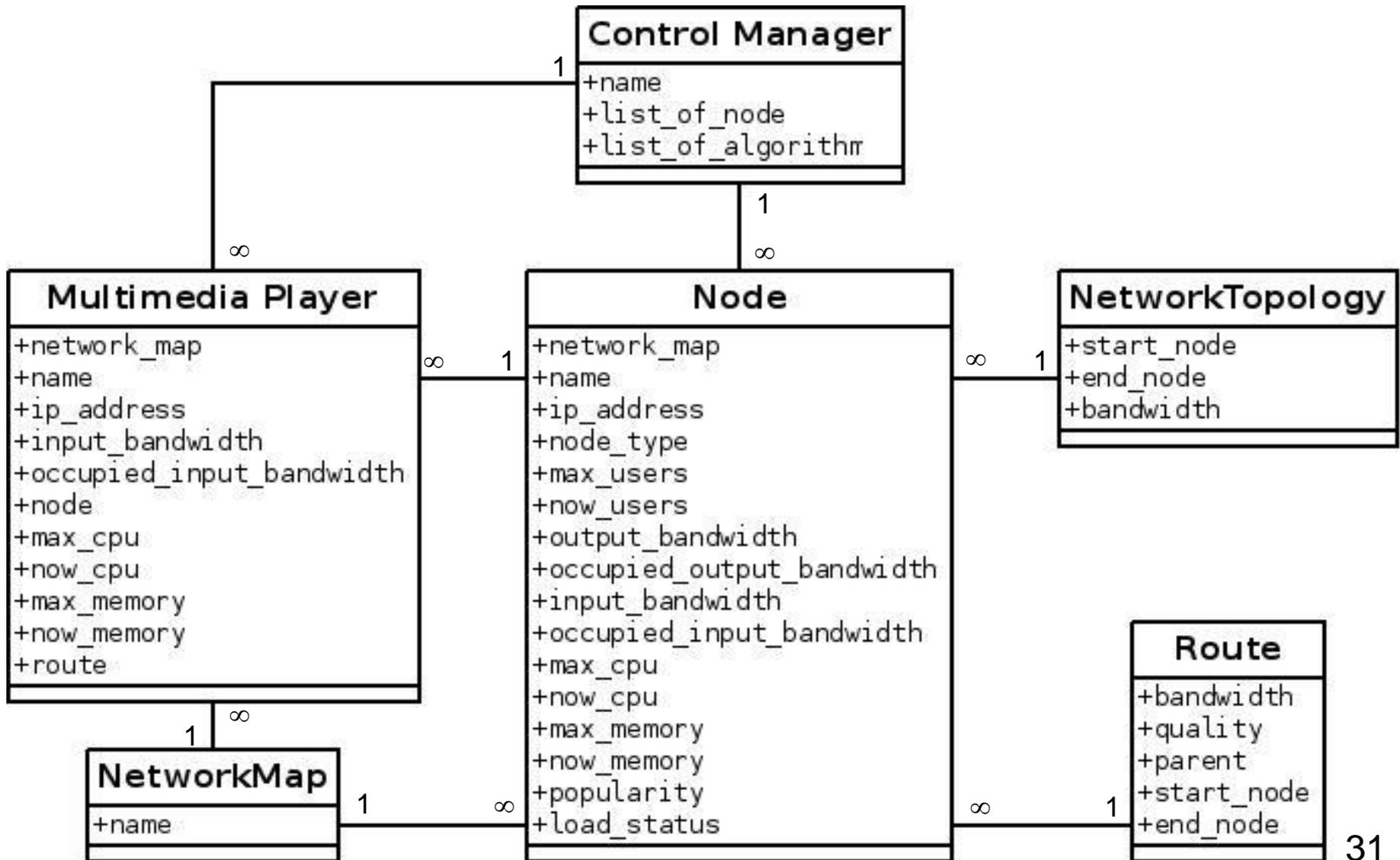


Среда разработки



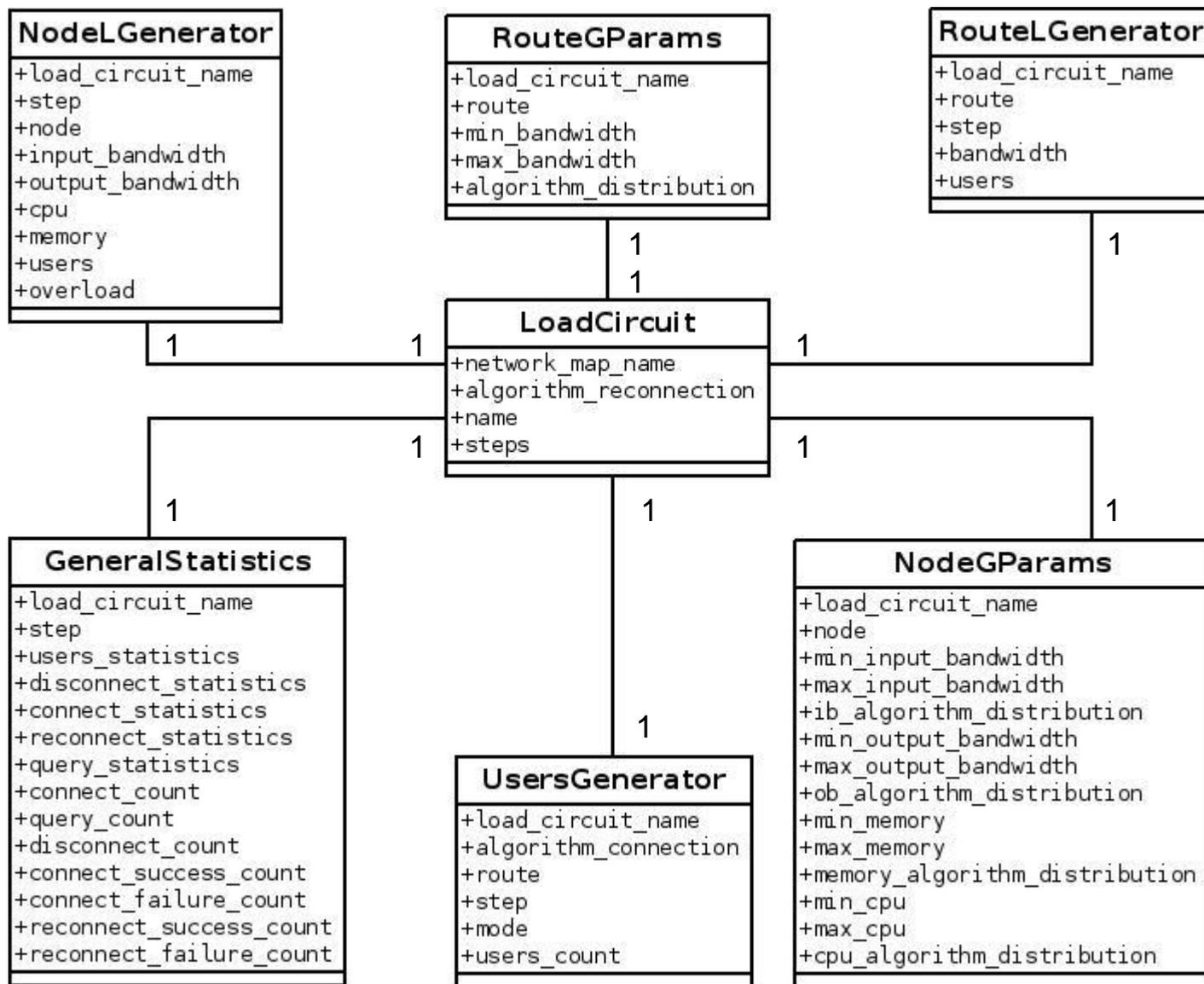


Объектная модель системы RTMCDS





Объектная модель системы RTMCDS





Реализация интерфейса среды моделирования

Mozilla Firefox

http://localhost:8000/ x +

http://localhost:8000

Models Of Multimedia Systems

среда для моделирования интернет-видеосистем

[Модели](#) [Нагрузка](#) [Статистика](#) [Документация](#)

Добро пожаловать в среду MOMS для моделирования интернет-видеосистем
(систем раздачи мультимедийного контента реального времени)

```
graph TD; S1[1 Ш А Г  
Создать статическую модель системы.] --> S2[2 Ш А Г  
Добавить к статической модели нагрузку.]; S2 --> S3[3 Ш А Г  
Провести имитационное моделирование.]; S3 --> S4[4 Ш А Г  
Посмотреть и сравнить полученные результаты.]; S4 --> S1;
```

1 Ш А Г
Создать статическую модель системы.

2 Ш А Г
Добавить к статической модели нагрузку.

3 Ш А Г
Провести имитационное моделирование.

4 Ш А Г
Посмотреть и сравнить полученные результаты.

©2014



Реализация интерфейса среды моделирования

Mozilla Firefox

http://local...000/soms/4/ x

localhost:8000/soms/4/ Google

Редактор Путей

Добавить Изменить Удалить Переместить x

Добавить связь

Название: Класс №1. Копия №6

Поток-родитель: Класс №1. Копия №6 (Репликато

Качество: 3

Занимаемая пропускная способность (Мбит): 3

Добавить

Стример СОШ №1 Стример СОШ №2

Репликатор №1 Репликатор №2

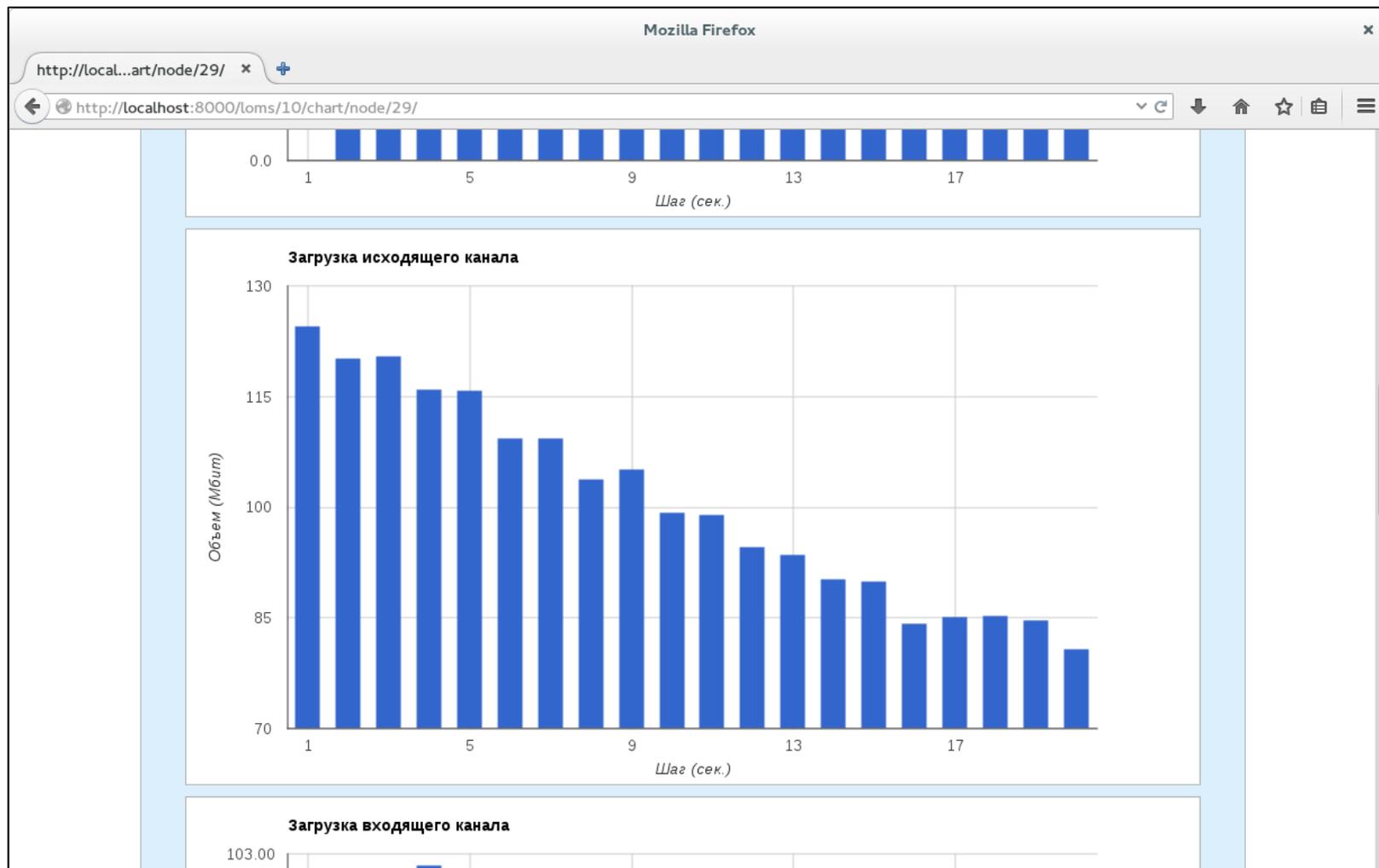
Репликатор №3

Репликатор №4

T P



Вывод статистической информации





Решение задач изменения схемы подключения плееров

```
ReconnectionAlgorithms x
manager = Manager(size=0)

point = Point(id=1, overload=-1, user_maximum=150)
point.add_stream(Stream(id=1, bandwidth=5))
point.add_stream(Stream(id=2, bandwidth=4, parent=1))
point.add_stream(Stream(id=3, bandwidth=3, parent=1))
point.add_stream(Stream(id=4, bandwidth=2, parent=1))
point.add_users(id=1, count=35)
point.add_users(id=2, count=42)
point.add_users(id=3, count=30)
point.add_users(id=4, count=3)
manager.add_point(point);

point = Point(id=3, overload=1, user_maximum=150)
point.add_stream(Stream(id=5, bandwidth=4, parent=1))
point.add_stream(Stream(id=6, bandwidth=3, parent=1))
point.add_users(id=5, count=35)
point.add_users(id=6, count=42)
manager.add_point(point);

manager.clear_with_decrease(manager.points, 1)
```

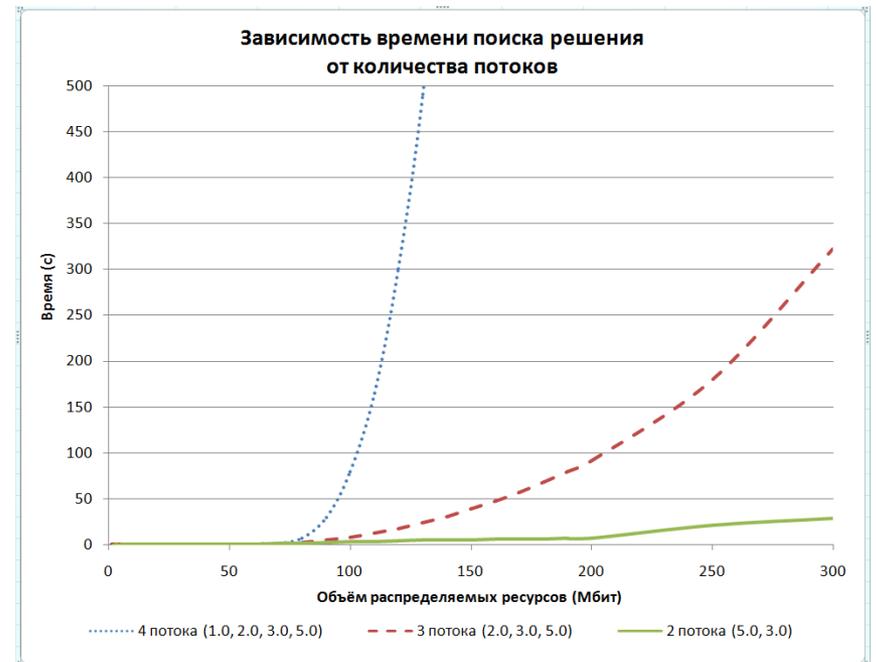
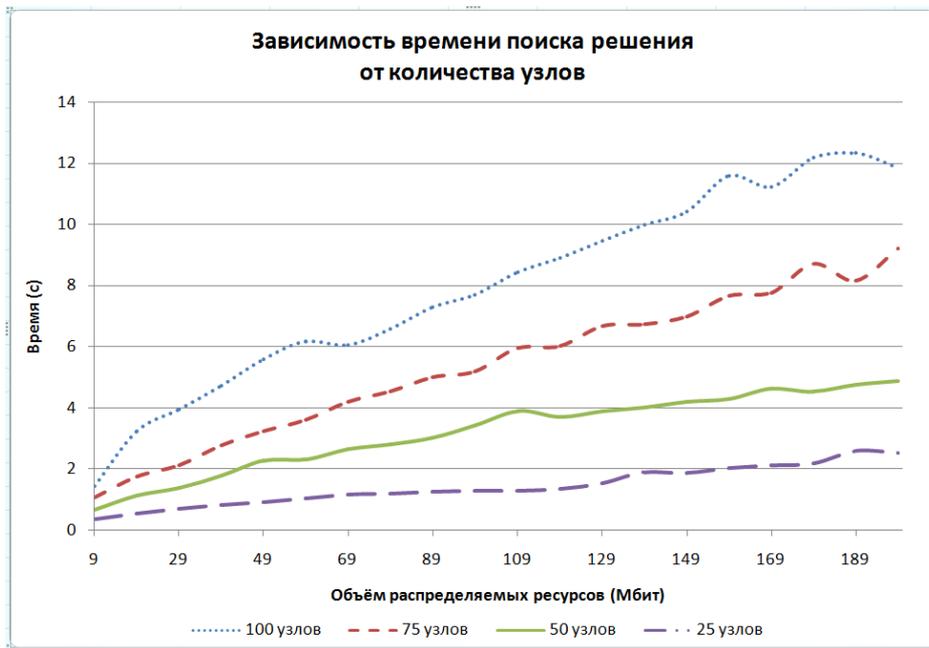
```
irina@laptop:~
File Edit View Search Terminal Help
[irina@laptop ~]$ python ReconnectionAlgorithms
['from:1 to:1 value:5 decreased:4']
decreased
elapsed 0.000669002532959
id:1, overload:0, count:110, maximum:150
    id:1, bandwidth:5, count:34
    id:2, bandwidth:4, count:43
    id:3, bandwidth:3, count:30
    id:4, bandwidth:2, count:3
id:3, overload:1, count:77, maximum:150
    id:5, bandwidth:4, count:35
    id:6, bandwidth:3, count:42
[irina@laptop ~]$ █
```



Алгоритмы изменения схемы подключения плееров

Зависимость времени вычислений:

- от количества потоков;
- от объема свободных ресурсов;
- от количества мультимедийных узлов;
- от сложности задачи поиска;
- от выбранного алгоритма.





Алгоритмы изменения схемы подключения плееров

Время решения задачи

Количество узлов	Распределяемые ресурсы, Мбит				
	1-50	51-100	101-150	151-200	более 200
2-25	менее 1 с.	менее 1с.	1-2 с.	2-3 с.	более 3 с.
26-50	менее 1 с.	1-2 с.	2-3 с.	3-4 с.	более 4 с.
51-75	1-2 с.	2-3 с.	3-4 с.	4-5 с.	более 5 с.
76-100	1-6 с.	6-8 с.	8-12 с.	12-15 с.	более 15 с.

Параметры компьютера, на котором проводился эксперимент:

- 2-х ядерный процессор Radeon 6290,
- 2 Гб оперативной памяти,
- OS Fedora.

Апробация работы



Апробация работы

1. Всероссийские научные конференции по проблемам информатики СПИСОК-2013 и СПИСОК-2014 (г. Санкт-Петербург)
2. Всероссийская междисциплинарная молодежная научная конференция с международным участием «III Информационная школа молодого ученого» (2013, г. Екатеринбург)
3. Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области технических наук (2012, г. Санкт-Петербург)
4. Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов и аспирантов в области математических наук (2012, г. Ульяновск)
5. Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы использования инновационных технологий в образовательном процессе» (2012, г. Нижний Тагил)



Апробация работы

6. Региональные научно-практические конференции «Молодежь и наука» (2012, 2014, г. Нижний Тагил)
7. Международные научно-практические конференции с дистанционным участием «Технические науки – от теории к практике» (2012, 2014, г. Новосибирск)
8. Международные научно-практические конференции с дистанционным участием «Инновации в науке» (2013, г. Новосибирск)
9. Международные научно-практические конференции с дистанционным участием «Теоретические и практические аспекты развития современной науки» (2012, г. Москва)
10. Международные научно-практические конференции с дистанционным участием «61-ая международная молодежная научно-техническая конференция «Молодежь. Наука. Инновации» (2013, г. Владивосток)



Публикации по тематике исследования

Всего опубликовано 14 печатных работ. В том числе:

- статьи в журналах из перечня ВАК: 2.
- статьи в изданиях, индексируемых в РИНЦ: 7.

Выводы и дальнейшие направления исследований



Научная новизна работы

1. Разработаны описательная, математическая, а также имитационная модели систем RTMCDS.
2. Разработаны алгоритмы управления нагрузкой систем RTMCDS во время раздачи мультимедийного контента реального времени.
3. Реализован пакет прикладных программ, который включает в себя:
 - среду имитационного моделирования процесса раздачи мультимедийного контента реального времени;
 - программный класс, который реализует предложенные методики управления нагрузкой;
 - менеджер управления системами RTMCDS;
 - визуализатор данных.



Дальнейшие направления исследования

1. Проведение дополнительных натурных экспериментов по анализу существующих систем RTMCDS.
2. Проведение имитационного моделирования в разработанной среде для формирования базы моделей.
3. Увеличение алгоритмической базы разработанной среды.
4. Дальнейшее исследование возможных путей управления раздачей мультимедийного контента реального времени.