

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКОСТНОЙ МОДЕЛИ ПРИ АНАЛИЗЕ ВРЕМЕНИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФАЙЛА МЕЖДУ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ В ОДНОРАНГОВОЙ СЕТИ***Аннотация**

На сегодняшней день в Интернет многие приложения используют обмен данными по P2P-сетям. Плюсами применения P2P-сетей для обмена файлами являются, например, хорошая масштабируемость, высокая пропускная способность по сравнению с технологией клиент/сервер для передачи файлов. Данная работа направлена на анализ минимального времени распространения файла, которое необходимо для того, чтобы все пользователи сети, заинтересованные в получении файла, загрузили этот файл целиком. Значения функции минимального времени тесно связано со значениями пропускной способности сети. Вариант жидкостной модели P2P-сети применяется для получения формулы минимального времени распространения файла. В выражение минимального времени входят такие параметры как размер файла, скорость раздачи сидов, скорость загрузки и скорость раздачи личеров. Эффективность применения жидкостной модели для описания процесса обмена файлами по P2P-сети подтверждается численными примерами для минимального времени. Рассматривается поведение функции минимального времени в случае, когда множество личеров в сети состоит из двух подмножеств личеров, относящихся к разным типам. Эти типы личеров различаются пропускной способностью раздачи данных.

Ключевые слова

Одноранговая сеть; жидкостная модель; личер; сид; пир; время загрузки файла.

Bobrikova E.V.¹, Gaidamaka Y.V.¹, Romashkova O.N.²

¹ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

² Moscow City Pedagogical University, Moscow, Russia

THE APPLICATION OF A FLUID-BASED MODEL FOR THE ANALYSIS OF THE DISTRIBUTION TIME OF A FILE AMONG USERS IN PEER-TO-PEER NETWORK**Abstract**

Today in the Internet many applications use file sharing via P2P-systems. The advantages of the P2P file sharing are, for example, good scalability, high bandwidth in comparison with the technology client/server for file distribution. This article aims to analyze the minimum distribution time of a file. This minimum distribution time is determined as the time required to get the whole file by all the participating users. The value of the function of the minimum distribution time is closely associated to the value of the network bandwidth. The version of the fluid-based model of P2P-network is used to obtain a formula for the minimum distribution time of a file. The expression for the minimum distribution time includes such parameters as a file size, the upload rates of seeds, the download rates of leechers and the upload rates of leechers. The efficiency of the application of a fluid-based model for describing of P2P file sharing process is confirmed by the numerical examples for the minimum time. The behavior of the minimum distribution time function in the case, when the set of leechers consists of two types of leechers, is considered. The types differ with upload rates.

Keywords

Peer-to-peer network (P2P); file distribution; minimum distribution time; leecher; seeder; peer; file sharing; fluid-flow arguments.

* Труды II Международной научной конференции «Конвергентные когнитивно-информационные технологии» (Convergent'2017), Москва, 24-26 ноября, 2017

Proceedings of the II International scientific conference "Convergent cognitive information technologies" (Convergent'2017), Moscow, Russia, November 24-26, 2017

Введение

Классические методы распространения ресурсов в сети основываются на принципе клиент/сервер. В такой сети множество серверов распространяют файл пользователям, которые запрашивают этот файл. В качестве файла может выступать программное обеспечение, видео и т. д. Сами сервера, а также их пропускная способность могут тормозить процесс распространения файла тогда, когда размер файла и число принимающих узлов становятся большими.

Обмен файлами по принципу P2P является альтернативой классическому принципу клиент/сервер и позволяет усилить мощность раздачи принимающих узлов с целью улучшения качества процесса распространения файла [1]. В P2P-сети, как только пользователь получил порцию файла, он может передать копию этой порции любому другому пользователю, заинтересованному в передаваемом файле. Можно привести множество примеров сетей, работающих по принципу P2P: Napster [2], Gnutella [3], Freenet [4], Vuse [5] и т. д. Многие P2P-сети используют протокол BitTorrent [6]. Масштабируемость, присущая P2P-сети, позволяет распространять файлы большого размера нескольким тысячам пользователей. В такой сети не требуется высокая пропускная способность для раздающих серверов. Пользователь с обычным компьютером и соединением может таким образом распространять файлы большого размера другим пользователям, количество которых значительно больше, чем это может быть при классическом подходе клиент/сервер.

На сегодняшний день обмен файлами по P2P широко используется в сети Интернет. Имеется ряд вопросов, которые требуют ответа: необходимо количественно оценить качество обмена файлами по P2P; действительно ли подход P2P существенно превосходит подход клиент/сервер; насколько хорошо масштабируется P2P-сеть, когда число принимающих узлов резко возрастает и становится огромным; как влияет на общее время распространения файла взаимодействие пропускной способности раздачи серверов и пропускной способности раздачи и загрузки остальных пользователей. Вопросам математического моделирования, измерения, имитационного моделирования для P2P-сетей посвящено большое количество работ, среди них [7-12] и другие.

В данной работе рассматриваются фундаментальные вопросы P2P-сети, лежащие в основе механизма P2P-обмена. Представлено выражение для минимального времени необходимого для загрузки целой копии файла всем пользователям, заинтересованном в этом файле. В выражении используются жидкостные переменные, т.к. для описания P2P-сети используется жидкостная модель. При этом минимальное время выражается через основные параметры P2P-сети: размер файла, число серверов, число принимающих узлов, пропускную способность загрузки и раздачи всех узлов, участвующих в файлообмене. Выражение для минимального времени применимо при произвольных пропускных способностях загрузки и раздачи. Для жидкостной модели P2P-сети формула для минимального времени имеет явный вид и может быть выписана в простой компактной форме. Постановка задачи приведена в [13]. Полученный результат для минимального времени позволяет ответить на многие фундаментальные вопросы, касающиеся P2P-сети.

Статья построена следующим образом. В разделе «Постановка задачи» дается описание задачи, приводится основной результат работы и обсуждается вопрос применимости полученного результата. В разделе «Минимальное время распространения файла» представлены численные результаты в случае, когда узлы, заинтересованные в файле, имеют разную пропускную способность раздачи. В заключении приведены основные выводы.

Постановка задачи

Основной задачей обмена файлами по сети P2P является задача определения оптимального способа распространения файла пользователям или пирам (англ. peer) в этой сети. Согласно принципу P2P файл по сети распространяется частями или порциями. Все пиры делятся на сидов (англ. seed) и личеров (англ. leecher). Каждый личер заинтересован в скачивании определенного файла. Каждый сид обладает копией этого файла и присутствует в сети для того, чтобы другие пиры могли скачивать у него порции файла. Сначала у личеров нет ни одной порции файла, и им приходится скачивать порции у сидов. Но как только какой-то из личеров получает порцию, он начинает передавать эту порцию другим личерам. Таким образом, личеры загружают порции файла от сидов и от других личеров, которые имеют порции. Личер может выйти из сети после того, как он получит файл целиком. Задача заключается в минимизации времени распространения файла, т. е. времени необходимого для того, чтобы все личеры, заинтересованные в файле, получили этот файл.

Рассмотрим следующие параметры.

\mathcal{P} – множество пиров в P2P-сети; $P = |\mathcal{P}|$ – число пиров;

\mathcal{S} – множество сидов; $S = |\mathcal{S}|$ – число сидов;

\mathcal{L} – множество личеров; $L = |\mathcal{L}|$ – число личеров.

Таким образом, $\mathcal{P} = \mathcal{S} \cup \mathcal{L}$ и $P = S + L$.

F – размер файла; d_i – пропускная способность загрузки личера i ; u_i – пропускная способность раздачи пира i . Пир i раздает биты с максимальной скоростью u_i и загружает биты с максимальной скоростью d_i . Считаем для определенности, что $d_i \geq u_i$, хотя можно рассматривать и произвольные пропускные способности загрузки и раздачи.

$r_i(t)$ – скорость, с которой личер i загружает «свежий» контент от сидов и других личеров за время t , т. е. $R = \{r_i(t), t \geq 0, i \in \mathcal{L}\}$ – профиль скорости; T – время распространения для профиля R ; $T_{min} = \min T$ – минимальное время распространения, достижимое по всем возможным профилям скорости. При этом значения $F, u_i, i \in \mathcal{P}$ и $d_i, i \in \mathcal{L}$ произвольные. Таким образом, цель работы – определить соответствующее минимальное время распространения T_{min} .

Модель, рассматриваемая в работе, по сути дела является жидкостной моделью (англ. fluid-based model) [14]. В жидкостной модели, предполагается, что личер может скопировать и передать бит, как только он этот бит получил, т.е. передача битов от пира к пиру подобна течению жидкости. Это основное и важное предположение позволяет получить явное выражение в удобной форме для минимального времени распространения в общем случае для неоднородных систем.

Как уже говорилось, BitTorrent – это протокол, который широко используется в файлообменных P2P-сетях. В BitTorrent распространяемый файл делится на части или порции (англ. chunks) для раздачи пирам. Размер порции составляет обычно 256 КБ [8]. В реальной P2P-сети, как только пир полностью получил порцию файла, он может передать эту порцию другим пирам. Таким образом, модель P2P-сети, построенная на принципе деления и передачи файла порциями (англ. chunk-based model) больше соответствует устройству реальной P2P-сети. Для chunk-based-модели замкнутую форму выражения для минимального времени распространения возможно получить только для самых простых вариантов топологии сети, для случая неоднородной системы получение выражения в замкнутой форме для минимального времени распространения представляется сложным. Для жидкостной модели выражение для минимального времени T_{min} в явной форме представлено в данной работе и является нижней границей для более реалистичной chunk-based-модели. Проведено сравнение значения минимального времени распространения $T_{min}(f)$ для жидкостной модели со значением минимального времени распространения $T_{min}(c)$ для chunk-based-модели. Можно показать, что для однородных систем погрешность составляет

$$\frac{T_{min}(c) - T_{min}(f)}{T_{min}(f)} = \frac{\log_2 L}{N}, \quad (1)$$

где N – число порций в файле. Эта погрешность пренебрежимо мала и может быть использована на практике даже при средних размерах файла. Таким образом, хотя chunk-based-модель более реалистичная чем жидкостная модель, жидкостная модель позволяет получить более простую и удобную формулу для минимального времени распространения для случая неоднородной системы. Это выражение достаточно хорошо аппроксимирует минимальное время распространения для chunk-based-модели в однородной системе.

Таким образом, полученное выражение для $T_{min}(f)$ является лишь приближением реального времени распространения файла. Тем не менее выражение позволяет проводить полезные расчеты, которые могут послужить основой для построения протокола распространения файла для произвольных скоростей раздачи и загрузки.

Предполагается также, что каждый пир в системе участвует в процессе распространения файла до тех пор, пока не получит файл целиком. Основная задача состоит в том, чтобы понять, как различные параметры сети влияют на процесс распространения файла по сети P2P.

Введем также следующие параметры.

$$\begin{aligned} u(\mathcal{A}) &= \sum_{i \in \mathcal{A}} u_i; \\ d_{min}(\mathcal{A}) &= \min_{i \in \mathcal{A}} u_i, \text{ для любого подмножества } \mathcal{A} \subseteq \mathcal{P}, \\ d_{min} &= d_{min}(\mathcal{L}). \end{aligned}$$

Минимальное время распространения файла

В этом разделе приводится основной результат: формула для минимального времени распространения файла T_{min} [13]. Предполагается, что все личеры равноправны, но пропускные способности загрузки и раздачи могут различаться, т. е. система неоднородна.

Теорема. Минимальное время распространения файла для общей неоднородной файлообменной P2P-сети есть

$$T_{min} = \frac{F}{\min\{d_{min}, \frac{u(\mathcal{P})}{L}, u(\mathcal{S})\}}. \quad (2)$$

Выражение (2) имеет достаточно простую компактную форму. Теорема предлагает некую схему распространения для любых параметров раздачи и загрузки и может служить точкой отсчета минимального времени для любого протокола распространения по P2P.

Заметим, что T_{min} выбирается среди трех величин. Каждая величина имеет свой смысл. Во-первых, $T_{min} > \frac{F}{d_{min}}$, т.к. личер самой низкой скоростью загрузки не может получать файл быстрее чем за время $\frac{F}{d_{min}}$. Во-вторых, $T_{min} > \frac{F}{u(S)}$, т.к. сиды не могут распространять свежие биты со скоростью быстрее чем $u(S)$, личер не может получать файл со скоростью быстрее чем $u(S)$. В-третьих, $T_{min} > \frac{LF}{u(P)}$, т.к. общая пропускная способность раздачи системы $u(P)$, и т.к. личерам необходимо получить суммарно LF бит. Таким образом, мы имеем нижнюю границу для минимального времени распространения файлов по P2P-сети: $T_{min} \geq \max\{\frac{F}{d_{min}}, \frac{LF}{u(P)}, \frac{F}{u(S)}\}$. Теорема показывает, что правая часть неравенства – это не только нижняя граница, но и точное значение минимального времени распространения T_{min} .

Здесь возможны четыре случая (доказательство теоремы основывается на этих случаях):

$$d_{min} \leq \min\left\{\frac{u(P)}{L}, u(S)\right\} \text{ и } d_{min} \leq u(L)/(L-1);$$

$$d_{min} \leq \min\left\{\frac{u(P)}{L}, u(S)\right\} \text{ и } d_{min} \geq u(L)/(L-1);$$

$$\frac{u(P)}{L} \leq \min\{d_{min}, u(S)\};$$

$$u(S) \leq \min\left\{d_{min}, \frac{u(P)}{L}\right\}.$$

Пусть $s_i(t)$ – это скорость, с которой сиды передают биты личеру i в момент времени t . В каждом случае профиль скорости имеет одинаковую общую структуру, основанную на следующих предположениях. Как только личер i начинает получать свои биты от сидов, он пересылает полученные биты другим $L-1$ личерам со скоростью меньшей или равной $s_i(t)$, как показано на рисунке 1. Таким образом, в каждом случае схема распространения состоит из L деревьев. Каждое дерево имеет корень во множестве сидов, вторым уровнем имеет одного из личеров и заканчивается на третьем уровне остальными личерами.

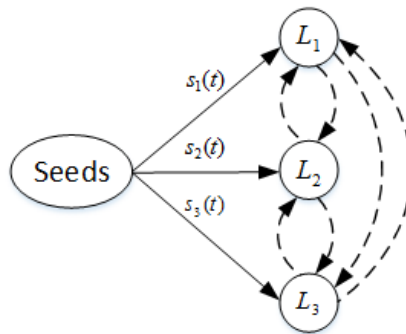


Рисунок 1. Схема распространения файла по P2P-сети

Рассмотрим три численных примера, раскрывающих значение представленной теоремы. В каждом из примеров необходимо распространить файл размера $F = 1,25$ ГБ и вычислить величину T_{min} по формуле (2). Пусть в P2P-сети присутствуют один сид ($S = 1$) и десять личеров ($L = 10$). Обычно считается, что пропускная способность раздачи сида u_s значительно выше чем пропускная способность раздачи личера. Все личеры делятся на два типа: обычные личеры и суперличеры. Обозначим через L_{ord} число обычных личеров и L_{sup} – число суперличеров. Суперличеры имеют высокую пропускную способность раздачи, равную пропускной способности раздачи сидов u_s , обычные личеры имеют стандартную пропускную способность раздачи.

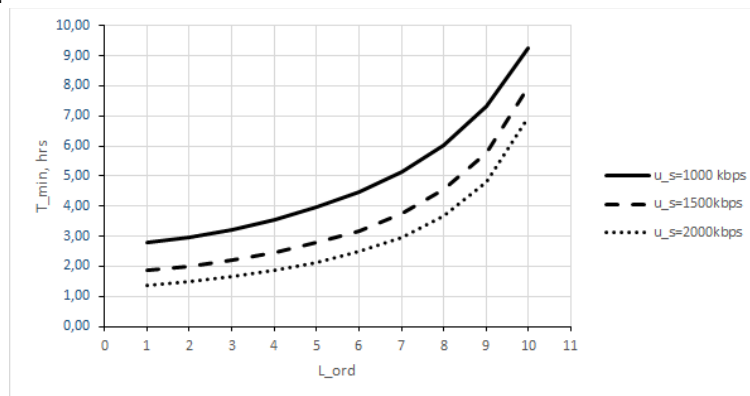


Рисунок 2. $T_{min} = T_{min}(L_{ord}), u_s = const$

Пример 1. Пропускная способность загрузки каждого личера есть $d = 2000$ КБит/с. Пропускная способность раздачи обычного личера есть $u_{L_{ord}} = 200$ КБит/с. С ростом числа обычных личеров L_{ord} от 1 до 10, значение минимального времени распространения T_{min} возрастает. На рисунке 2 представлено изменение T_{min} при трёх различных фиксированных значениях пропускной способности раздачи сидов: $u_s = 1000$ КБит/с, $u_s = 1500$ КБит/с, $u_s = 2000$ КБит/с. По графикам видно, что чем выше u_s , тем меньше времени необходимо для распространения файла.

Пример 2. В данном примере пропускная способность загрузки личера снова равна $d = 2000$ КБит/с. Пропускная способность раздачи сида теперь постоянна и равна $u_s = 1500$ КБит/с. На рисунке 3 представлена та же функция, но теперь меняется пропускная способность раздачи личера, а именно $u_{L_{ord}} = 200$ КБит/с, $u_{L_{ord}} = 600$ КБит/с, $u_{L_{ord}} = 1000$ КБит/с. Здесь наблюдается аналогичный эффект: чем выше величина $u_{L_{ord}}$, тем меньше времени необходимо для распространения файла.

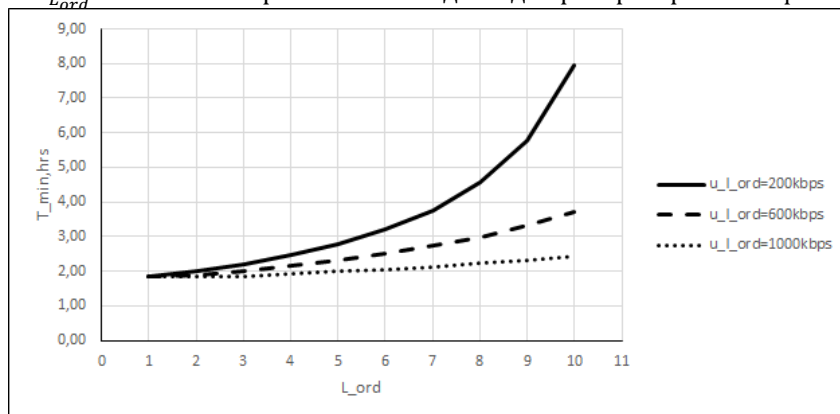


Рисунок 3. $T_{min} = T_{min}(L_{ord}), u_{L_{ord}} = const.$

Пример 3. В данном примере каждый обычный личер имеет постоянную пропускную способность раздачи равную $u_{L_{ord}} = 600$ КБит/с, сид имеет постоянную пропускную способность раздачи $u_s = 2000$ КБит/с. Здесь вновь строится график для функции T_{min} , зависящей от числа обычных личеров L_{ord} . Пропускная способность загрузки личера меняется, а именно $d = 600$ КБит/с, $d = 1600$ КБит/с, $d = 2600$ КБит/с. График представлен на рисунке 4. Здесь T_{min} является константой равной 4,63 часа при самой низкой пропускной способности загрузки $d = 600$ КБит/с. При других значениях d значение T_{min} сначала различаются, затем, когда число обычных личеров становится равным пяти значения T_{min} совпадают и начинают расти.

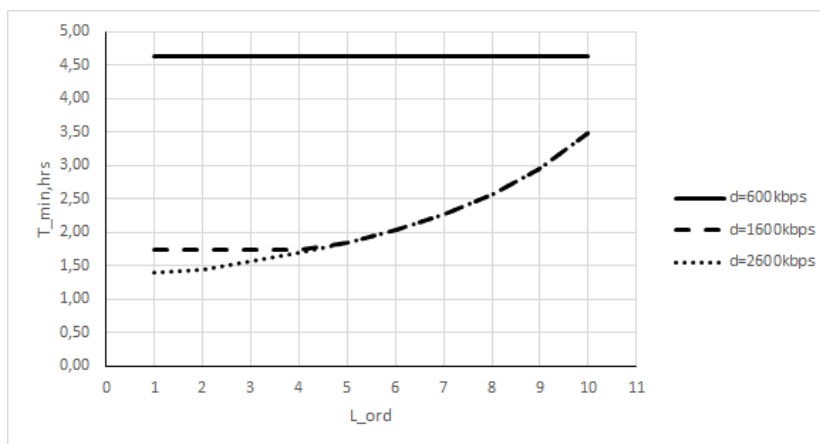


Рисунок 4. $T_{min} = T_{min}(L_{ord}), d = const$

Приведенные примеры позволяют сделать вывод, что результаты, полученные для жидкостной модели, адекватно описывают реальный процесс распространения файла по P2P-сети в Интернет. Выводы представленной теоремы подробно описаны в [13].

В (1) показана погрешность между chunk-based-моделью и жидкостной моделью. Эта погрешность получена для минимального времени распространения T_{min} в однородной системе, в которой пир имеет бесконечную пропускную способность загрузки. Для файла размера 350 МБ или больше погрешность $T_{min}(f)$ и $T_{min}(c)$ составляет меньше 1% даже в случае, когда в чети присутствуют 10 тыс. личеров. Из (1) следует, что для однородных систем погрешность пренебрежимо мала, если $N \gg \log_2 L$. Это условие также выполняется и для файла размера порядка нескольких гигабайт. Для неоднородных систем могут быть применены описанные рассуждения.

Жидкостная модель адекватно описывает реальную P2P-сеть, несмотря на то что chunk-based-модель ближе к реальной P2P-сети. В общем случае неоднородной системы жидкостная модель позволяет получить простое и удобное выражение для минимального времени распространения файла.

Заключение

На сегодняшний день принцип обмена файлами по P2P-сети используют многие приложения в Интернет. Определение минимального времени распространения файла всем личерам является фундаментальной задачей. Распространение файлов всем личерам означает, что все личеры получают все маленькие порции запрашиваемого файла. Представленная задача становится комплексной задачей оптимального планирования, если мы рассматриваем модель, в которой отдельные части файлов хранятся у пиров и перенаправляются другим пирам.

В данной работе рассматривается вариант жидкостной модели для решения задачи определения минимального времени распространения файла T_{min} . Получено явное выражение для T_{min} . На основе этого выражения построены три численных примера, демонстрирующих поведение функции T_{min} в зависимости от числа суперличеров с высокой пропускной способностью раздачи и от числа обычных личеров со стандартной пропускной способностью раздачи.

Как и ожидалось, с ростом числа L_{ord} обычных личеров суммарная скорость доступная в сети для раздачи снижается, что приводит к росту значения T_{min} . Как видно из графика на рисунке 2 это время зависит от пропускной способности раздачи u_s и для суперличеров с $u_s = 2$ МБит/с минимальное время распространения T_{min} принимает наименьшее значение. На графике рисунка 3 видно, что T_{min} также зависит от пропускной способности раздачи $u_{L_{ord}}$ и для обычных личеров с $u_{L_{ord}} = 1$ МБит/с T_{min} минимально. Наконец, на Рисунке 4 видно, что T_{min} зависит от пропускной способности загрузки d и для личеров с $d = 2,6$ Мбит/с T_{min} минимально. Заметим, что, начиная со значения $L_{ord} = 5$, значения функции T_{min} совпадают для пропускных способностей загрузки $d = 1,6$ МБит/с и $d = 2,6$ МБит/с.

Для однородной системы полученное выражение для T_{min} близко к выражению для T_{min} в случае chunk-based-модели. Представленная погрешность демонстрирует этот факт. Исследование показывает, что обсуждаемая жидкостная модель является хорошим приближением к реальной P2P сети. Результаты, полученные в работе, могут быть развиты в различных направлениях. Можно сравнить минимальное время распространения для жидкостной модели с минимальным временем распространения для chunk-based-модели для неоднородной системы. Другим направлением исследования является определение минимального времени распространения для сетей, в которых число одновременных соединений между пирами, участвующими в процессе файлообмена, ограничено.

Благодарности

Авторы выражают благодарность зав. кафедрой прикладной информатики и теории вероятностей РУДН проф. К.Е.Самуйлову за полезные советы при подготовке работы.

Публикация подготовлена при поддержке «Программы РУДН 5-100» и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 15-07-03608, № 17-07-00845.

Литература

1. Гайдамака Ю.В., Самуйлов А.К. Анализ стратегий заполнения буфера оборудования пользователя при предоставлении услуги потокового видео в одноранговой сети // Т-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2013. – №11. – С. 77-81
2. Napster company info [электронный ресурс] // URL: <http://us.napster.com/availability/> (дата обращения 15.06.2017).
3. The Gnutella Protocol Specification v0.4 [электронный ресурс] // URL: <https://gnunet.org/node/147/> (дата обращения 15.06.2017).
4. What is Freenet? Freenet company info [электронный ресурс] // URL: <https://freenetproject.org/> (дата обращения 15.06.2017).
5. The BitTorrent Protocol Specification [электронный ресурс] // URL: http://www.bittorrent.org/beps/bep_0003, (дата обращения 15.06.2017).
6. Vuse BitTorrent Client [электронный ресурс] //URL: <http://www.vuze.com>, free (дата обращения 15.06.2017).
7. X. Yang, G. de Veciana. Service Capacity of Peer-to-Peer Networks // In Proceedings of IEEE INFOCOM. – 2004. – Vol. 04. – P. 2242-2252.
8. D. Qiu, R. Srikant Modeling and Performance Analysis of BitTorrent-Like Peer-to-Peer Networks // In Proceedings of ACM SIGCOMM, Portland, OR. – August 2004. – Vol.34, № 4. – P. 367-378.
9. Z. Mordji, M. Amad, D. Aissani A Derived Queueing Network Model for Structured P2P Architectures // VECoS 2014 (Bejaia, Algeria). – 2014. – P. 76-84.
10. Ferragut, F. Paganini Fluid models of population and download progress in P2P networks // IEEE Trans. on Control of Network Systems. – May 2016. – Vol. 3(1). – P. 34-45.
11. Васильев И., Гайдамака Ю.В., Самуйлов А.К. Анализ вероятности непрерывного воспроизведения потокового видео в P2P-сети с помощью имитационного моделирования // Современные информационные технологии и ИТ-образование. Сборник избранных трудов IX Международной научно-практической конференции: учебно-методическое пособие. Под ред. проф. В.А.Сухомлина. – М.: ИНТУИТ.РУ. – 2014. – С. 367-375.
12. Медведева Е.Г., Гайдамака Ю.В. К анализу параметров качества передачи мультимедийного потокового трафика в одноранговой сети // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2015. – Т. 2, № 11. – С. 192-198.
13. R. Kumar, K.W. Ross Optimal Peer-Assisted File Distribution: Single and Multi-Class Problems // In Proceedings of IEEE Workshop

- on Hot Topics in Web Systems and Technologies (HOTWEB). – Boston. – 2006.
14. Самуйлов К.Е., Бобрикова Е.В. Простейшая жидкостная модель файлообменной P2P-сети // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2012. – №7. – С. 180-184.

References

1. Gaidamaka Yu.V., Samuilov A.K. Analysis of playback continuity for video streaming in Peer-to-Peer networks with data transfer delays // T-Comm – Telecommunications and Transport. – 2013, – №11. – P. 77-81.
2. Napster company info [electronic resource] // URL: <http://us.napster.com/availability/> (date of access 15.06.2017).
3. The Gnutella Protocol Specification v0.4 [electronic resource] // URL: <https://gnunet.org/node/147> (date of access 15.06.2017).
4. What is Freenet? Freenet company info [electronic resource] // URL: <https://freenetproject.org/> (date of access 15.06.2017).
5. The BitTorrent Protocol Specification [electronic resource] // URL: http://www.bittorrent.org/beps/bep_0003/ (date of access 15.06.2017).
6. Vuze BitTorrent Client [electronic resource] // URL: <http://http://www.vuze.com/> (date of access 15.06.2017).
7. X. Yang, G. de Veciana. Service Capacity of Peer-to-Peer Networks // In Proceedings of IEEE INFOCOM. – 2004. – Vol. 04. – P. 2242-2252.
8. D. Qiu, R. Srikant Modeling and Performance Analysis of BitTorrent-Like Peer-to-Peer Networks // In Proceedings of ACM SIGCOMM, Portland, OR. – August 2004. – Vol.34, № 4. – P. 367-378.
9. Z. Mordji, M. Amad, D. Aissani A Derived Queueing Network Model for Structured P2P Architectures // VECoS 2014 (Bejaia, Algeria). – 2014. – P. 76-84.
10. Ferragut, F. Paganini Fluid models of population and download progress in P2P networks // IEEE Trans. on Control of Network Systems. – May 2016. – Vol. 3(1). – P. 34-45.
11. Vasilyev I., Gaidamaka Yu.V., Samuilov A.K. Анализ of the probability of continuous playback of video streaming in P2P networks using simulation // Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie. Selected proceedings of the IX International Scientific-Practical Conference. Under the editorship of Prof. Sukhomlin V.A. – M.: INTUIT.RU. – 2014. – С. 367-375.
12. Medvedeva E.G., Gaidamaka Yu.V. On Analysis of Performance Characteristics of P2P Video Streaming Network // Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie. – 2015. – Т. 2, № 11. – P. 192-198.
13. R. Kumar, K.W. Ross Optimal Peer-Assisted File Distribution: Single and Multi-Class Problems // In Proceedings of IEEE Workshop on Hot Topics in Web Systems and Technologies (HOTWEB). – Boston. – 2006.
14. Samouylov K. E., Bobrikova E. V. A simple fluid model of P2P file sharing network // T-Comm: Telecommunications and Transport. – 2012. – №7. – P. 180-184.

Об авторах:

Бобрикова Екатерина Васильевна, кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук, Российский университет дружбы народов, bobrikova_ev@rudn.university

Гайдамака Юлия Васильевна, кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной информатики и теории вероятностей факультета физико-математических и естественных наук, Российский университет дружбы народов, gaydamaka_yuv@rudn.university

Ромашкова Оксана Николаевна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой прикладной информатики института математики, информатики и естественных наук, Московский городской педагогический университет, RomashkovaON@mgpu.ru

Note on the authors:

Bobrikova Ekaterina V., Candidate in Physics and Mathematics, Senior Lecturer of Department of Applied Probability and Informatics, Faculty of Science, Peoples' Friendship University of Russia, bobrikova_ev@rudn.university

Gaidamaka Yuliya V., Doctor in Physics and Mathematics, Associate Professor of Department of Applied Probability and Informatics, Faculty of Science, Peoples' Friendship University of Russia, gaydamaka_yuv@rudn.university

Romashkova Oksana N., Doctor in Engineering, professor, Head to the Department of Applied Informatics of the Institute of Mathematics, Informatics and Science, Moscow City Pedagogical University, RomashkovaON@mgpu.ru