
Математическая теория телетрафика и сети телекоммуникаций

УДК 621.39

Оценка времени установления соединения для услуги IPTV

Ю. В. Гайдамака, Э. Р. Зарипова

*Кафедра систем телекоммуникаций
Российский университет дружбы народов
ул. Миклухо-Маклая, д. 6, Москва, Россия, 117198*

В статье предложен метод оценки времени установления соединения по протоколу SIP при предоставлении услуги IPTV на базе платформы IMS, основанный на применении модели открытой неоднородной сети ВСМР. Авторами построена упрощённая функциональная схема сети IPTV, состоящая из семи функциональных блоков сети. Для оценки времени установления соединения построена диаграмма процедуры обмена сообщениями между оборудованием пользователя и медиа сервером услуги IPTV. После определения с помощью аппарата сетей ВСМР интенсивностей потоков сообщений, поступающих на функциональные блоки сети IPTV, применён принцип декомпозиции и агрегации, и для каждого функционального блока найдена величина времени обслуживания сообщения в этом блоке. Время установления соединения при предоставлении услуги IPTV оценивалась как сумма соответствующих интервалов времени. Для расчёта среднего времени установления соединения построена математическая модель в виде открытой экспоненциальной сети массового обслуживания. Для математической модели построен граф переходов между состояниями неоднородной сети массового обслуживания с двумя подцепями. Для иллюстрации приведён численный пример расчёта времени установления соединения при предоставлении услуги IPTV для исходных данных, близких к реальности. Показано, что в указанных условиях время установления соединения не превышает порога 2 с, определённого международными стандартами для этого показателя качества в сетях IPTV.

Ключевые слова: IPTV, IMS, время установления соединения, сеть ВСМР, математическая модель.

1. Введение

Услуга интерактивного телевидения (Internet Protocol Television, IPTV), а именно предоставление телевизионных каналов в цифровом качестве в сетях передачи данных по протоколу IP/MPLS, в современных сетях связи последующих поколений организована на базе платформы мультимедийной IP-подсистемы (IP Multimedia Subsystem, IMS) [1], разработанной Европейским институтом по стандартизации в области телекоммуникаций (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) и Партнерским Проектом 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [2]. Одним из показателей качества предоставления услуги IPTV является время установления соединения, максимальное допустимое значение которого определено в международных стандартах [3]. В статье в виде открытой неоднородной сети (сети ВСМР) [4] построена модель процедуры установления соединения по протоколу инициирования сеансов связи (Session Initiation Protocol, SIP) [5], являющемуся основным протоколом сигнализации для подсистемы IMS, и предложен метод расчёта времени установления соединения для услуги IPTV.

Статья поступила в редакцию 1 июля 2013 г.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 12-07-00108, 13-07-00953) и Министерства образования и науки Российской Федерации (проекты 8.7962.2013, 14.U02.21.1874). Авторы благодарят проф. К.Е. Самуйлова за полезные замечания, которые улучшили содержание работы.

2. Функциональная схема сети IPTV

При построении модели рассматривались следующие функциональные блоки сети IPTV, показанные на рис. 1:

- оборудование пользователя (User Equipment, UE);
- магистральная сеть IP/MPLS;
- функция управления сеансами связи CSCF (Call Session Control Function), включающая функцию прокси-сервера P-CSCF (Proxy CSCF), функцию обслуживания S-CSCF (Serving CSCF) и функцию запроса I-CSCF (Interrogating CSCF);
- сервер приложений для услуги IPTV (IPTV Application Server, IPTV AS);
- медиа-серверы услуги IPTV (IPTV Media Functions, IPTV MF).

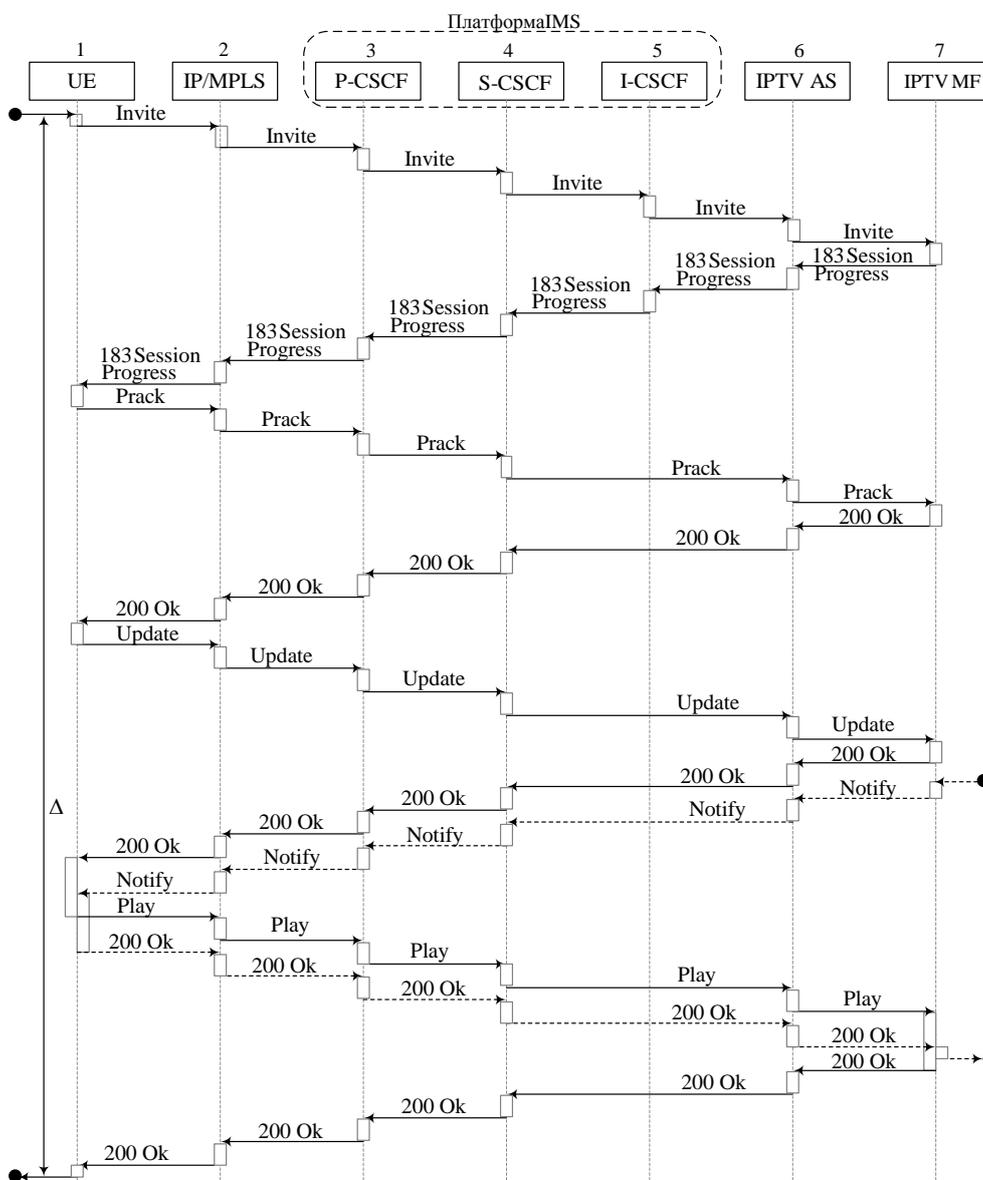


Рис. 1. Диаграмма обмена сигнальными сообщениями при предоставлении услуги IPTV

На рис. 1 показана диаграмма процедуры обмена сообщениями в процессе установления соединения между оборудованием пользователя UE и блоком IPTV MF при предоставлении услуги IPTV. Показано, что время установления соединения Δ представляет собой сумму времён обслуживания цепочки устанавливающих соединение SIP-сообщений в соответствующих блоках сети IPTV.

Метод расчёта среднего времени установления соединения при предоставлении услуги IPTV заключается в следующем. На первом этапе определяются интенсивности потоков сообщений, поступающих на функциональные блоки сети IPTV, с помощью аппарата сетей ВСМР. Далее применяется принцип декомпозиции и агрегации, при этом на втором этапе для каждого функционального блока, с учётом найденных на первом этапе интенсивностей, исследуется случайная величина времени обработки сообщения в этом блоке с помощью аппарата классических моносервисных СМО. На третьем этапе искомая величина времени установления соединения оценивается как сумма соответствующих интервалов времени. Подобный подход использовался в работах [6–8].

3. Математическая модель сети IPTV

Для расчёта среднего времени установления соединения построена математическая модель в виде открытой экспоненциальной сети массового обслуживания (СеМО). Модель учитывает последовательность сообщений в процедуре установления соединения на рис. 1 и описана с помощью аппарата сетей ВСМР [4, 9, 10]. Узлы СеМО пронумерованы в прямом направлении (от узла, соответствующего оборудованию пользователя UE, до узла, соответствующего медиа-серверам IPTV MF). Обозначим множество узлов $M = M_1 \cup M_2$, где $M_1 = \{1, 2\}$ — множество узлов типа $M|M|inf$, $M_2 = \{3, 4, 5, 6, 7\}$ — множество узлов типа $M|M|1|inf$ с дисциплиной обслуживания FCFS. В табл. 1 введены классы заявок, соответствующие SIP-сообщениям, участвующим в процедуре установления соединения. Пусть $R = \{1, \dots, 10\}$ — множество классов заявок в системе.

Таблица 1

Классы заявок

| Класс заявки r | Сообщение протокола SIP |
|------------------|-------------------------|
| 1 | Invite |
| 2 | 183 Session Progress |
| 3 | Prack |
| 4,6,9,10 | 200 Ok |
| 5 | Update |
| 7 | Notify |
| 8 | Play |

Обозначим заявку класса r , обслуживающуюся в i -узле, (i, r) -заявкой, $i \in M$, $r \in R$. Определим вероятность $\theta_{(i,r), (j,s)}$ того, что (i, r) -заявка после окончания обслуживания в i -узле становится (j, s) -заявкой, тогда $\Theta = [\theta_{(i,r), (j,s)}]_{i,j \in M; r,s \in R}$ — маршрутная матрица цепи Маркова, вложенной по моментам окончания обслуживания заявки в узле, с множеством состояний $L = \{(i, r) \mid i \in M, r \in R\}$, изображённым на рис. 2. Кроме того, определим $\theta_{0,(i,r)}$ — вероятность направления вновь поступившей из внешней среды заявки класса r на i -узел, а также $\theta_{(i,r),0}$ — вероятность ухода заявки класса r из сети сразу после завершения её обслуживания в i -узле, $(i, r) \in L$. Отметим, что состояния, соответствующие узлам $M|M|inf$, на рис. 2 обозначены прямоугольниками, состояния, соответствующие

узлам $M|M|1|inf$ — кругами, а узел 0, соответствующий внешней среде, — чёрной точкой. В нашем случае множество L распадается на два эргодических класса $L_1 = L \setminus L_2$ и

$$L_2 = \{(7, 7), (6, 7), (4, 7), (3, 7), (2, 7), (1, 7), (2, 9), (3, 9), (4, 9), (6, 9), (7, 9)\}.$$

На рис. 2 возможные переходы между состояниями подцепи 1, соответствующей множеству L_1 , показаны сплошными стрелками, между состояниями подцепи 2, соответствующей множеству L_2 — пунктирными стрелками.

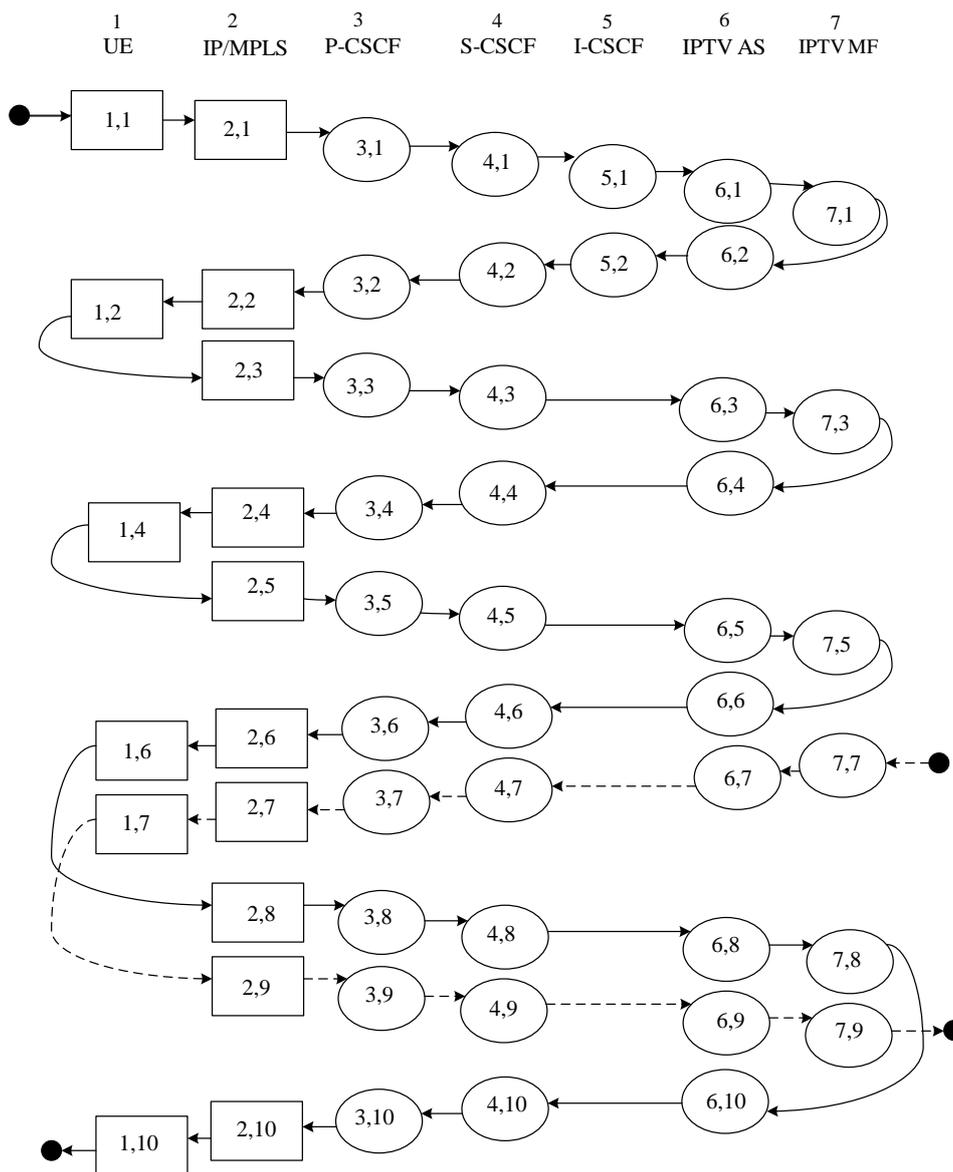


Рис. 2. Граф переходов между состояниями неоднородной СеМО с двумя подцепями

Ниже определены значения ненулевых элементов стохастической маршрутной матрицы Θ_0 , которая имеет блочный диагональный вид с двумя блоками Θ_1 и Θ_2 по числу подцепей.

| Θ_0 | | $\overbrace{(1, 1) \dots (1, 10)}^{L_1}$ | $\overbrace{(7, 7) \dots (7, 9)}^{L_2}$ | Σ |
|---|---|--|---|--|
| 0 | 0 | $\theta_{0,(1,1)} \dots \theta_{0,(1,10)}$ | $\theta_{0,(7,7)} \dots \theta_{0,(7,9)}$ | 1 |
| $L_1 \left\{ \begin{array}{l} (1, 1) \\ \dots \\ (1, 10) \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} \theta_{(1,1),0} \\ \dots \\ \theta_{(1,10),0} \end{array} \right.$ | Θ_1 | 0 | $\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \dots \\ 1 \end{array} \right.$ |
| $L_2 \left\{ \begin{array}{l} (7, 7) \\ \dots \\ (7, 9) \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} \theta_{(7,7),0} \\ \dots \\ \theta_{(7,9),0} \end{array} \right.$ | 0 | Θ_2 | $\left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \dots \\ 1 \end{array} \right.$ |

Поступление заявок извне определяют переходные вероятности $\theta_{0,(1,1)} = \theta_{0,(6,7)} = 1/2$. Выход заявок во внешнюю среду определяют переходные вероятности $\theta_{(1,10),0} = \theta_{(7,9),0} = 1$. Ненулевые элементы матриц Θ_1 и Θ_2 определены ниже.

$$\theta_{(i,r),(j,s)} = \left\{ \begin{array}{l} 1, \left. \begin{array}{l} (i,r), (i+1,r), i \in \{2,3,6\}, r \in \{1,3,5,8\}, \\ (i,1), (i+1,1), i \in \{1,4,5\}, \\ (i,r), (i-1,r), i \in \{2,3,4\}, r \in \{2,4,6,10\}, \\ (i,2), (i-1,2), i \in \{5,6\}, \\ (6,r), (4,r), r \in \{4,6,10\}, \\ (7,r), (6,r+1), r \in \{1,3,5\}, \\ (1,r), (2,r+1), r \in \{2,4\}, \\ (4,r), (6,r), r \in \{3,5\}, \\ (1,6), (2,8), \\ (7,8), (6,10), \end{array} \right\} \quad \text{— элементы } \Theta_1 \\ 1, \left. \begin{array}{l} (i,7), (i-1,7), i \in \{2,3,4,7\}, \\ (6,7), (4,7), \\ (1,7), (2,9), \\ (4,9), (7,9), \\ (i,9), (i+1,9), i \in \{2,3,6\}. \end{array} \right\} \quad \text{— элементы } \Theta_2 \end{array} \right.$$

Пусть λ_{ir} — интенсивность потока сообщений класса r , поступающего на i -узел, $i \in M$, $r \in R$. Известно [10], что интенсивности λ_{ir} удовлетворяют следующей системе уравнений равновесия:

$$\Lambda = \sum_{(i,r) \in L} \lambda_{ir} \theta_{(i,r),0}, \quad (1)$$

$$\lambda_{js} = \Lambda \theta_{0,(j,s)} + \sum_{(i,r) \in L} \lambda_{ir} \theta_{(i,r),(j,s)}, \quad (j,s) \in L, \quad (2)$$

где Λ — интенсивность потока, поступающего на сеть из внешней среды. Заметим, что для рассмотренного случая с двумя подцепями $\Lambda = 2\lambda_0$, где λ_0 соответствует интенсивности потока запросов пользователей на предоставление услуги IPTV. Из СУР (1)-(2) находим ненулевые значения интенсивностей поступающих на узлы СеМО потоков заявок разных классов $\lambda_{ir} = \lambda_0 \quad \forall (i,r) \in L$, что завершает первый этап метода оценки времени установления соединения.

На втором этапе оценим времена обработки SIP-сообщений в функциональных блоках сети IPTV. Предположим, что для любого i -узла СеМО длительность обслуживания имеет экспоненциальное распределение с параметром μ_i^{-1} , независимым от класса заявки, $i \in M$. Тогда для узлов типа $M|M|\text{inf}$ из множества $M_1 = \{1, 2\}$ среднее значение времени пребывания в i -узле для заявки любого класса равно μ_i^{-1} , $i \in M_1$, а для узлов типа $M|M|1|\text{inf}$ из множества

$M_2 = \{3, 4, 5, 6, 7\}$ среднее значение времени пребывания в узле для заявки любого класса равно $(\mu_i - \lambda_i)^{-1}$, где $\lambda_i = \sum_{r \in R} \lambda_{ir}$ — интенсивность суммарного потока заявок всех классов, поступающих на i -узел, $i \in M_2$.

Поскольку СеМО содержит узлы FCFS с неограниченной очередью, то стационарный режим для рассматриваемой сети существует при выполнении следующего условия:

$$\lambda_0 < \min \left(\frac{\mu_3}{10}; \frac{\mu_4}{10}; \frac{\mu_5}{2}; \frac{\mu_6}{10}; \frac{\mu_7}{6} \right). \quad (3)$$

На третьем этапе определим среднее значение Δ времени установления соединения, суммируя соответствующие интервалы времени на диаграмме рис. 1:

$$\Delta = 5\mu_1^{-1} + 8\mu_2^{-1} + \frac{8}{\mu_3 - 10\lambda_0} + \frac{8}{\mu_4 - 10\lambda_0} + \frac{2}{\mu_5 - 2\lambda_0} + \frac{8}{\mu_6 - 10\lambda_0} + \frac{4}{\mu_7 - 6\lambda_0}. \quad (4)$$

Из рис. 1 видно, что времена обработки сообщения Notify в обратном направлении и сообщения 200 ОК в прямом направлении не влияют на время установления соединения, поэтому не учитываются в формуле (4).

4. Пример численного анализа

Расчёт времени установления соединения при предоставлении услуги IPTV с использованием предложенного в статье метода был произведён для следующих исходных данных: $\mu_1^{-1} = 2$ мс; $\mu_2^{-1} = 0,1$ мс; $\mu_i^{-1} = 0,4$ мс, $i \in \{3; 4; 5\}$; $\mu_i^{-1} = 0,5$ мс, $i \in \{6; 7\}$, близких к реальным. Зависимость среднего времени установления соединения от интенсивности запросов пользователей на предоставление услуги IPTV показана на рис. 3.

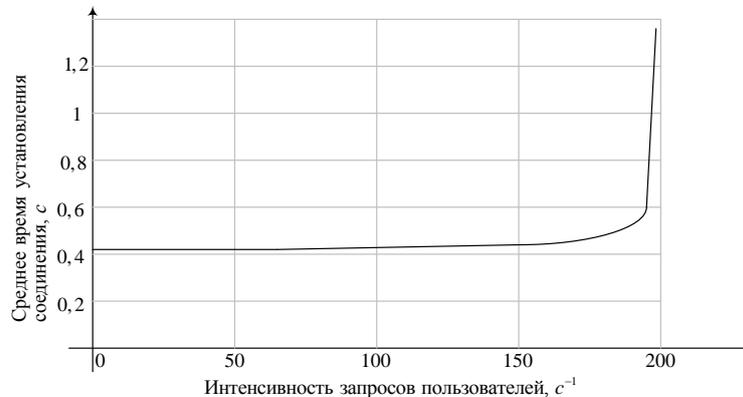


Рис. 3. Среднее время установления соединения на предоставление услуги IPTV

График показывает, что среднее время установления соединения при предоставлении услуги IPTV не превышает 0,6 с и начинает резко возрастать, начиная с значений интенсивности около 190 запросов/с, что связано с нарушением условий (3) существования стационарного режима. Таким образом, при заданных исходных данных интенсивность 199 запросов/с, что соответствует 716 400 запросов/час, определяет максимальную нагрузку, которую в ЧНН может обслужить платформа IMS, с заданными исходными данными длительностями обработки SIP-сообщений в соответствующих функциональных блоках. Заметим, что в указанных условиях время установления соединения не превысит порога 2 с, определённого международными стандартами для этого показателя качества в сетях IPTV.

Литература

1. IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2: Techrep / 3GPP TS 23.228 V7.7.0, tech. spec. — 2007.
2. Telecommunications and Internet Converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); IP Multimedia Subsystem (IMS); Stage 2 description: Techrep / 3GPP TS 23.228 Release 7, modified. — 2008.
3. Triple-Play Services Quality of Experience (QoE) Requirements: Techrep. — 2006.
4. Open, Closed, and Mixed Networks of Queues with Different Classes of Customers / F. Baskett, K. M. Chandy, R. R. Muntz, F. G. Palacios // Journal of the ACM. — 1975. — Vol. 22, No 2. — Pp. 248–260.
5. Rosenberg J., Schulzrinne H., Camarillo G. SIP: Session Initiation Protocol: Techrep. — IETF. RFC 3261, 2002.
6. Самуйлов К. Е., Лузгачев М. В., Плаксина О. Н. Разработка вероятностной модели для анализа показателей качества протокола инициирования сеансов связи // Вестник РУДН. Серия «Математика. Информатика. Физика». — 2007. — № 3–4. — С. 16–26. [Samouylov K. E., Luzgachev M. V., Plaksina O. N. Modeling SIP Connections with Open Multiclass Queueing Networks // Bulletin of PFUR. Series “Mathematics. Information Sciences. Physics”. — 2007. — No 3–4. — P. 16–26. — (in russian).]
7. Buzyukova I., Gaidamaka Y., Yanovsky G. Estimation of GoS Parameters in Intelligent Network // Proc. of 9-th Int. Conf. NEW2AN 2009. — Saint-Petersburg, Russia: 2009. — Pp. 143–153.
8. Самуйлов К. Е., Сопин Э. С., Чукарин А. В. Оценка характеристик сигнального трафика в сети связи на базе подсистемы IMS // T-Comm — Телекоммуникации и транспорт. — 2010. — № 7. — С. 8–13. [Samouylov K. E., Sopin E. S., Chukarin A. V. Signalling Traffic Characteristics Measurement in IMS-based Network // T-Comm. — 2010. — No 7. — P. 8–13. — (in russian).]
9. Вишневецкий В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей. — М.: Техносфера, 2003. — 512 с. [Vishnevskiy V. M. Theory of Network Design. — Moscow: Tekhnosfera, 2003. — (in russian).]
10. Башарин Г. П. Лекции по математической теории телетрафика: Учеб. пособие. — М.: РУДН, 2009. — 342 с. [Basharin G. P. Mathematical Teletraffic Theory Tutorial. — Moscow: RUDN, 2009. — 342 p. — (in russian).]

UDC 621.39

Evaluation of IPTV Service Session Setup Time

Y. V. Gaidamaka, E. R. Zaripova

*Telecommunication Systems Department
Peoples' Friendship University of Russia
6, Miklukho-Maklaya str., Moscow, Russia, 117198*

This paper describes an algorithm for evaluation of SIP session set up time for IPTV services based on IMS as open mixed BCMP network. We suggest a model of IPTV network composed of seven functions. To evaluate session set up time we design a call flow diagram between STB and MS. First of all we determine call flow rate for a BCMP network and after that use decomposition and aggregation methods to estimate the service time for each function. We calculate session set up time as sum of all service intervals. A mathematical model of the open exponential queueing network is designed to estimate mean session set up time. We also suggest a numerical experiment for the algorithm with the initial data close to the real one. According to the initial data expected session set up time amounts by 2 seconds which is corresponded to the international standards.

Key words and phrases: IPTV, BCMP network, IMS, session set up time, mathematical model.