

УДК 681.324

С. А. Нестеренко, д-р техн. наук,

Л. В. Иванова

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СКВОЗНОГО КАНАЛА ГЕТЕРОГЕННОГО СЕГМЕНТА СЕТИ

Аннотация. Проведена разработка аналитической модели для расчета пропускной способности сквозного канала транспортного уровня гетерогенной сети. Выполнен расчет пропускной способности сквозного канала гетерогенной сети с помощью аналитической модели. Проведена оценка погрешности аналитической модели по результатам натурных экспериментов.

Ключевые слова: аналитическая модель, сквозной канал, гетерогенный сегмент сети, транспортный уровень, пропускная способность

THE ANALYTICAL MODEL OF AN END-TO-END CHANNEL HETEROGENEOUS NETWORK SEGMENT CAPACITY CALCULATION

S. A. Nesterenko, ScD.,

L. V. Ivanova

Abstract. The analytical model for the end-to-end of heterogeneous network is developed. The calculation of the capacity of the end-to-end channel of transport level of heterogeneous network using an analytical model is executed. The estimation error of the analytical model on the results of field experiments is conducted.

Keywords: analytical model, end-to-end channel, heterogeneous network segment, transport level, capacity

АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ НАСКРІЗНОГО КАНАЛУ ГЕТЕРОГЕННОГО СЕГМЕНТА МЕРЕЖІ

С. А. Нестеренко, д-р техн. наук,

Л. В. Иванова

Анотація Проведено розробку аналітичної моделі наскрізного каналу гетерогенного сегмента мережі. Виконано розрахунок пропускної здатності наскрізного каналу транспортного рівня гетерогенного сегмента мережі за допомогою аналітичної моделі. Проведено оцінку похибки аналітичної моделі за результатами натурних експериментів.

Ключові слова: аналітична модель, наскрізний канал, гетерогенний сегмент мережі, транспортний рівень, пропускна здатність

Введение. Современные компьютерные сети реализуются как гетерогенные структуры, содержащие в своем составе большое количество как проводных, так и беспроводных сегментов. Для их эффективного проектирования и развития необходимо наличие аналитических моделей, позволяющих рассчитывать основные характеристики их функционирования, в частности производительность гетерогенных каналов связи.

Анализ существующих моделей расчета производительности показывает, что они, во-первых, ориентированы на расчет отдельно проводных и беспроводных сегментов, что усложняет расчет сложных гетерогенных структур [1–5,7,10]. Во-вторых, они, как правило, позволяют рассчитывать характеристики сетевых структур на канальном уровне, тогда как проектировщикам сети необходимо знать пропускную способность на транспортном

уровне, т. е. на уровне процесс–процесс.

В статье приведена разработка и анализ погрешности аналитической модели транспортного уровня гетерогенной сети произвольной структуры.

Аналитическая модель сквозного канала гетерогенного сегмента сети. На практике при проектировании смешанных сетей используются аналитические модели, учитывающие параметры физического и канального уровней проводного и беспроводного сегментов сети [1,2,6–9].

Проведем разработку аналитической модели для расчета пропускной способности сквозного канала транспортного уровня гетерогенного сегмента сети.

Структурная схема передачи данных гетерогенного сегмента сети, состоящая из беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11 и проводного сегмента сети Ethernet представлена на рисунке 1.

© Нестеренко С.А., Иванова Л.В., 2013

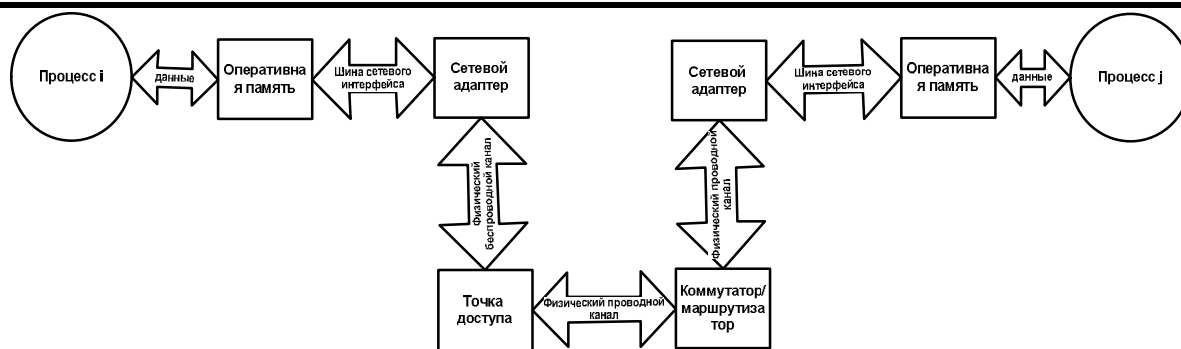


Рис. 1. Схема передачи данных по сквозному каналу гетерогенного сегмента сети

Рассмотрим построение аналитической модели для простого канала гетерогенного сегмента сети, исходя из предположения, что в канале работает один абонент, а, следовательно, исключены задержки из-за отсутствия коллизий и ожидания в портах коммуникационного оборудования.

Время передачи кадра данных по сквозному каналу гетерогенной сети

$$T_H = T_C + T_E,$$

где T_C – время передачи кадра данных по сквозному каналу беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11; T_E – время передачи кадра данных по каналу проводного сегмента сети Ethernet.

Время передачи кадра данных по сквозному каналу беспроводного сегмента сети

$$T_C = T_{SB} + T_{WLC},$$

где T_{SB} , T_{WLC} – время передачи кадра по шине интерфейса сетевого адаптера и физическому беспроводному каналу, соответственно.

Основываясь на методе расчета пропускной способности беспроводного моноканала сети, [1,2] полное время передачи кадра по физическому каналу при использовании механизма RTS/CTS вычисляется по следующей формуле:

$$T_{WLC} = T_D + T_R + 3T_S + T_C + T_I + T_A + T_W,$$

где T_D – время ожидания интервала DIFS; T_R , T_C , T_A – время передачи кадров соответственно RTS, CTS, ACK; T_I – время передачи кадра данных; T_S – время ожидания интервала SIFS; T_W – время ожидания случайного интервала back off period,

Время передачи кадра RTS определяется по следующей формуле:

$$T_M = \frac{8L}{V_S} + T_{PL},$$

где L – длина кадра RTS в байтах; V_S – скорость передачи данных, определённая беспроводным стандартом; T_{PL} – время передачи преамбулы и заголовка PLCP кадра (physical layer convergence protocol – протокол сближения физического уровня). Аналогично рассчитывают время передачи кадров CTS, ACK.

Длительность таймаута ACKTimeout при использовании режима работы RTS/CTS вычисляется по следующей формуле:

$$T_W = T_I + 2T_S + T_C.$$

Время передачи кадра данных по каналу проводного сегмента сети Ethernet

$$T_E = T_{SB} + T_{WRC},$$

где T_{SB} , T_{WRC} – время передачи кадра по шине интерфейса сетевого адаптера и физическому проводному каналу, соответственно.

Время передачи кадра по шине интерфейса сетевого адаптера

$$T_{SB} = \frac{8(L + M_I)}{kV_{SB}},$$

где L – длина информационного кадра в байтах; M_I – длина служебного (преамбула и заголовков) кадра транспортного уровня в байтах; k – коэффициент, определяющий соотношение пропускной способности шины памяти и шины интерфейса ($k=1$, если $V_{SB} = V_M$, где V_M – пропускная способность шины памяти); V_{SB} – пропускная способность шины интерфейса сетевого адаптера.

В соответствии с методом доступа к среде передачи данных в сетях Ethernet [10], называемым методом коллективного доступа с опознаванием несущей и обнаружением коллизий время передачи кадра данных по физическому каналу

$$T_{WRC} = 2T_{INT} + T_{IS} + T_{OS} + T_S,$$

где T_{INT} – время межкадрового интервала;
 T_{IS} , T_{OS} – время передачи кадра данных через передающую среду (кабель) во входной порт коммутатора и соответственно от его выходного порта; коммутатора; T_S – время передачи по внутренней шине коммутатора/маршрутизатора.

Время передачи кадра данных через передающую среду (кабель)

$$T_I = \frac{8(L + M_1 + M_2)}{V_C},$$

где L – длина информационного кадра в байтах; M_1 и M_2 – длины служебных (преамбулы и заголовки) кадров соответственно уровней транспортного и канального в байтах; V_C – скорость передачи данных, определенная проводным стандартом.

Пропускная способность простого сквозного канала транспортного уровня гетерогенного сегмента сети для заданного размера кадра L

$$V_p = \frac{8(L + M)}{T_{WLC} + T_{WRC} + \sum_{i=1}^2 T_{SBI}}, \quad (1)$$

где M – длина служебного кадра (преамбулы, заголовки и концовки) сетевого, транспортного и канального уровней.

Для гетерогенного сегмента произвольной структуры, содержащего n проводных и m беспроводных сегментов выражение (1) представим в виде:

$$V_p = \frac{8(L + M)}{\sum_{i=1}^m T_{WLCi} + \sum_{i=1}^n T_{WRCi} + \sum_{i=1}^2 T_{SBI}}.$$

Погрешность аналитической модели сквозного канала гетерогенного сегмента сети. Результаты расчета граничной максимальной пропускной способности сквозного канала транспортного уровня гетерогенной сети для разных типов беспроводных сетевых адаптеров с использованием различных скоростных режимов передачи для стандарта IEEE802.11 представлены на рис. 2.

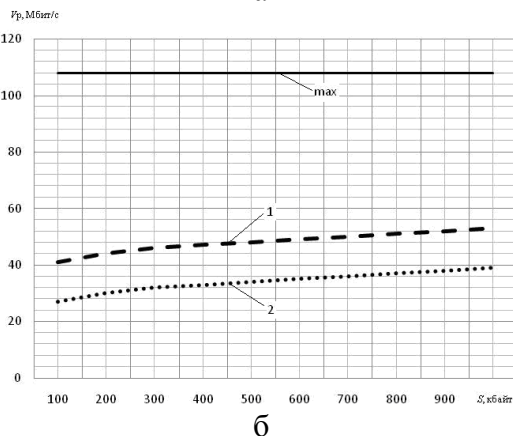
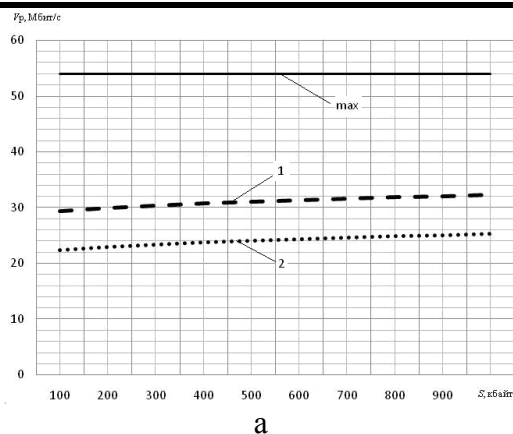


Рис. 2. Пропускная способность V_p , полученная с помощью аналитической модели для скоростного режима 54Мбит/с (а) и 108Мбит/с (б): 1 и 2 – пропускные способности гетерогенного канала на базе соответственно PCI-и Cardbus -адаптеров

Анализ полученных зависимостей показывает, что пропускная способность сквозного канала транспортного уровня гетерогенной сети в 2 – 4 раза ниже заявленной в сетевом стандарте во всем диапазоне изменения размеров передаваемых кадров данных. Она зависит также от размера L передаваемого кадра, характеристик сетевого стандарта и параметров сетевого оборудования.

Для определения точности полученных результатов проведены экспериментальные исследования сквозного канала транспортного уровня гетерогенной сети. Результаты тестирования пропускной способности при передаче мультимедийного трафика по сквозному каналу транспортного уровня гетерогенной сети для разных типов сетевых адаптеров с использованием различных скоростных режимов передачи для стандарта IEEE802.11 представлены на рис. 3.

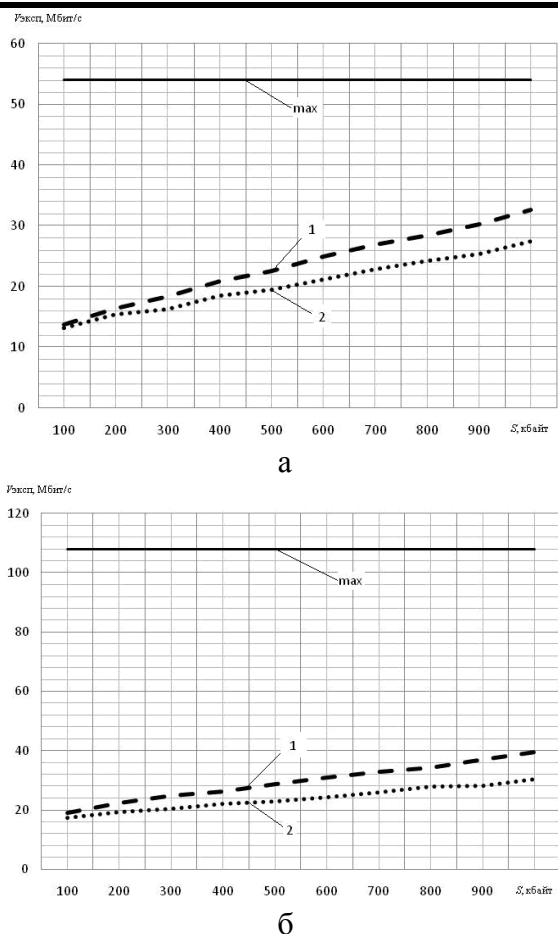


Рис. 3. Пропускная способность $V_{\text{ЭКСП}}$, полученная экспериментальным путем для скоростного режима 54Мбит/с (а) и 108Мбит/с (б): 1 и 2 – пропускные способности гетерогенного каналов на базе соответственно PCI-и Cardbus -адаптеров

В результате сравнительного анализа результатов расчета и экспериментального тестирования пропускной способности сквозного канала транспортного уровня гетерогенной сети определена относительная погрешность расчетной пропускной способности по сравнению с экспериментально полученной пропускной способностью

$$\delta = \frac{\sum_{j=1}^k \frac{V_{Pj} - V_{\text{ЭН}j}}{V_{Pj}}}{n} \cdot 100\%,$$

где V_P , $V_{\text{ЭКСП}}$ – пропускные способности, полученные соответственно с помощью аналитической модели и по результатам натуральных экспериментов; k – количество измерений; n – количество экспериментов.

Относительная погрешность составляет для аналитической модели транспортного уровня 9,48 %, что позволяет говорить о достаточно высокой точности предложенной модели.

Заключение. Благодаря введенным допущениям предложенная модель позволяет рассчитать минимальное время транзакции кадра данных по беспроводному и проводному сегменту сети с учетом режимов работы и способов организации интерфейса сетевого оборудования и, следовательно, определить максимально возможную пропускную способность гетерогенного сегмента проектируемой сети. Аналитическая модель может быть использована в процессе проектирования гетерогенных сетей произвольной структуры.

Список использованной литературы

1. Нестеренко, С. А. Анализ пропускной способности стека протоколов / С. А. Нестеренко // Труды Одесского политехнического ун-та. – 2002. – Одесса : – Вып. 2. – С. 87 – 90.
2. Нестеренко, С. А. Модель беспроводного сегмента стандарта IEEE 801.11 / С. А. Нестеренко, А. Ю. Биньковский, С. С. Нестеренко // Труды Одесского политехнического ун-та. – 2009. – Одесса : – Вып. 1. – С. 67 – 71.
3. Kleinrock, L. Creating a Mathematical Theory of Computer Networks / Leonard Kleinrock // INFORMS Operations Research. – 2002. – P. 125 – 131.
4. IEEE Computer Society, L. M. S. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification, 1997.
5. Gupta, P. "Capacity of wireless networks." / P. Gupta and P.R. Kumar // IEEE Transactions on Information Theory. – 2000. – Vol. 46. – Issue 2.
6. Jinyang, Li "Capacity of Ad Hoc Wireless Networks" / Li Jinyang, Charles Blake, Douglas S. J. De Couto, Hu Imm Lee, Robert Morris // Proceedings of the 7th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. – Rome, 2001.
7. Broch, J. "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols" / J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva // ACM/IEEE MOBICOM. – 1998. – P. 85 – 97.

8. Bianchi, Giuseppe "Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function" / Giuseppe Bianchi // *Selected Areas in Communications*, IEEE Journal on. – 2000. – Vol. 18. – Issue 3. – P. 535 – 547.

9. Нестеренко, С. А. Аналитическая модель сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11 / С. А. Нестеренко, Л. В. Иванова // *Труды Одесского политехнического ун-та.* – 2011. – Одесса : – Вып. 1. – С. 146 – 150.

10. Нестеренко, С. А. Пропускная способность сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11 / С. А. Нестеренко, Л. В. Иванова // *Электротехнические и компьютерные системы* – Одесса : – 2012. – № 05(81). – С. 194 – 200.

11. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы технологии, протоколы / В. Г., Олифер Н. А Олифер – СПб.: Питер, 1999. – 672 с.

Получено 20.11.2012

References

1. Nesterenko, S. A. Analysis capacity protocol stack / S. A. Nesterenko // *Sci-Tech magazine Proceedings of Odessa polytechnic university* – Odessa : – 2002. – № 2: – С.87 – 90 [in Russian].

2. Nesterenko, S. A. Model of the wireless segment standard IEEE 801.11./ S. A. Nesterenko, A. U. Binkovskyy, S. S. Nesterenko // *Sci-Tech magazine Proceedings of Odessa Polytechnic University* – 2009. – № 1 – С. 67 – 71 [in Russian].

3. Kleinrock, L. *Creating a Mathematical Theory of Computer Networks* / Leonard Kleinrock // *INFORMS Operations Research.* – 2002. – P.125 – 131.

4. IEEE Computer Society, L. M. S. *Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification*, 1997.

5. Gupta, P. "Capacity of wireless networks." / P. Gupta and P. R. Kumar // *IEEE Transactions on Information Theory.* – 2000. – Vol. 46. – Issue 2.

6. Jinyang, Li "Capacity of Ad Hoc Wireless Networks" / Li Jinyang, Charles Blake, Douglas S. J. De Couto, Hu Imm Lee, Robert

Morris // *Proceedings of the 7th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking.* – Rome, 2001.

7. Broch, J. "A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols" / J. Broch, D.A. Maltz, D.B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva // *ACM/IEEE MOBICOM.* – 1998. – P. 85 – 97.

8. Bianchi, Giuseppe Performance analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function / Giuseppe Bianchi // *Selected Areas in Communications*, IEEE Journal on. – 2000. – Vol. 18. – Issue 3. – P. 535. – 547.

9. Nesterenko, S. A. The analytical model of an end-to-end channel of the 802.11 IEEE standard wireless network segment / S. A., Nesterenko, L. V. Ivanova // *Sci-Tech/ magazine "Proceedings of Odessa Polytechnic University"* №1 – Odessa : National Polytechnic University – 2012. – С. 146 – 150 [in Russian].

10. Nesterenko, S. A. An end-to-end channel capacity of the 802.11 IEEE standard wireless network segment / S. A Nesterenko, L. V. Ivanova // *Sci-Tech/ magazine "Electrical and Computer Systems* – Odessa : – 2012 National Polytechnic University. – № 5. – С.194 – 200 [in Russian].

11. Олифер, В. Г. *Computer networks. Principles of technology, protocols/* V. G. Oliner, N. A. Oliner // *Textbook of high school* – Moscow : Science, 1999. – 672 [in Russian].



Нестеренко Сергей Анатольевич, д-р техн. наук, проф., проректор по учебной и научно-педагогической работе Одесского нац. политехнического ун-та



Иванова Лилия Викторовна, преподаватель Одесского технического колледжа, т. 720-32-41, e_mail: ivanova_l_v@ukr.net