

КОМП'ЮТЕРНІ Й ІНФОРМАЦІЙНІ МЕРЕЖІ І СИСТЕМИ

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

COMPUTER AND INFORMATION NETWORKS AND SYSTEMS

MANUFACTURING AUTOMATION

УДК 004.73.001.57

С.А. Нестеренко, д-р техн. наук, проф.,
Л.В. Иванова, спеціаліст,
Одес. нац. політехн. ун-т

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СКВОЗНОГО КАНАЛА БЕСПРОВОДНОГО СЕГМЕНТА СЕТИ СТАНДАРТА IEEE802.11

С.А. Нестеренко, Л.В. Иванова. Регресійна модель розрахунку пропускної здатності наскрізного каналу бездротового сегмента мережі стандарту IEEE 802.11. Проведено статистичні експериментальні дослідження пропускної здатності наскрізного каналу бездротового сегмента мережі стандарту IEEE 802.11. На основі експериментально отриманих даних побудована регресійна модель для розрахунку пропускної здатності наскрізного каналу бездротового сегмента мережі стандарту IEEE 802.11.

Ключові слова: регресійна модель, наскрізний канал, бездротовий сегмент мережі, бездротовий адаптер, пропускна здатність

С.А. Нестеренко, Л.В. Иванова. Регрессионная модель расчета пропускной способности сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11. Проведены статистические экспериментальные исследования пропускной способности сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11. На основе экспериментально полученных данных построена регрессионная модель для расчета пропускной способности сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11.

Ключевые слова: регрессионная модель, сквозной канал, беспроводной сегмент сети, беспроводной адаптер, пропускная способность.

S.A. Nesterenko, L.V. Ivanova. The regression model for calculating the capacity of an end-to-end channel of the 802.11 IEEE standard wireless network segment. The statistical experimental research of an end-to-end channel capacity of the 802.11 IEEE standard wireless network segment is carried out. On the basis of experimental data the regression model for calculating the capacity of the 802.11 IEEE standard wireless network segment end-to-end channel is constructed.

Keywords: regression model, end-to-end channel, wireless network segment, wireless card, capacity.

Для побудови безпроводних корпоративних мереж найбільш востребована технологія на базі стандарту IEEE 802.11. Ефективне проектування безпроводних мереж можливо тільки при наявності моделей, які описують пропускну здатність безпроводного каналу

связи. Построение математических моделей беспроводных сетей невозможно в силу большого количества факторов, влияющих на производительность канала. Например, топологических и конструктивных параметров зданий, где проектируется беспроводная сеть. Не менее трудно учитываемым параметром является состояние радиозфира, в среде которого предполагается функционирование сети. Конструктивным подходом к решению данной проблемы является построение регрессионных моделей на основе натуральных экспериментов с использованием реального оборудования в среде тех помещений, где предполагается развертывание беспроводной сети [1].

Предлагается регрессионная модель расчета пропускной способности сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE802.11. Модель позволяет рассчитывать пропускную способность сегмента сети на уровне “процесс – процесс” и учитывает не только параметры беспроводного канала связи, но и параметры системного интерфейса, связывающего сетевой адаптер и ПЭВМ. В качестве системных интерфейсов исследуются интерфейсы PCI и Cardbus, которые наиболее часто применяются для подключения беспроводных адаптеров связи к ПЭВМ [2].

Для проведения статистического экспериментального исследования пропускной способности сквозного канала беспроводного сегмента сети предлагается использовать программно-аппаратный измерительный комплекс, содержащий точку доступа, набор абонентских станций и программное обеспечение для генерации трафика и мониторинга пропускной способности сети.

В качестве программного обеспечения предлагается использовать пакет Chariot NetIQ, который, по сути, является программным генератором сетевой нагрузки и позволяет: измерять все необходимые параметры беспроводного сегмента; определять пропускную способность беспроводного адаптера в режиме передачи/приема; измерять скорость передачи/приема пакетов; количество операций ввода/вывода, а также степень утилизации процессора. Важно отметить, что программный пакет NetIQ Chariot позволяет также эмулировать (воспроизводить программными средствами) необходимую модель сетевого трафика. Настройке подлежат такие параметры, как размер запроса передачи/приема, процентное соотношение между случайным и последовательным распределением запросов, процентное соотношение между распределением операций приема/передачи [2].

На этапе экспериментального исследования рассматривался режим взаимодействия Infrastructure, когда все абонентские станции беспроводной сети взаимодействовали через точку доступа — мост между беспроводной сетью и проводной сетью Ethernet с сервером общего доступа (рис. 1.). Измерялась пропускная способность беспроводной сети в режиме передачи/приема данных.

В режиме Infrastructure создавались условия для достижения максимальной интенсивности трафика в беспроводном сегменте, для чего время задержки между запросами устанавливалось равным нулю. Измеряемым параметром являлся сетевой трафик, проходящий через точку доступа.

Для исследования зависимости сетевого трафика через точку доступа от количества абонентских станций в сети число взаимодействующих станций постепенно увеличивалось от двух до десяти. Кроме того, беспроводной сегмент сети из десяти узлов и точки доступа имел радиус не более 10 м, что обеспечивало оптимальные условия связи.

Для определения пропускной способности сквозного канала беспроводного сегмента сети проведены экспериментальные исследования, учитывающие режимы работы беспроводного канала стандарта 802.11 и особенности используемого оборудования. Получены экспериментальные зависимости пропускной способности сети $V_{\text{эксп}}$ от количества абонентских станций N при различных скоростных режимах работы стандарта 802.11 с использованием PCI и Cardbus адаптеров (рис. 2 и 3).

Анализ экспериментальных данных показывает, что пропускная способность сквозного беспроводного канала существенно зависит не только от базовых параметров технологии IEEE 802.11, но и от используемого в беспроводных адаптерах системного интерфейса.

На основании экспериментальных данных возможно построение регрессионной модели вида $V_{\text{эксп}} = F^R(N)$, где F^R — функция регрессии, N — число абонентских станций беспроводной сети.

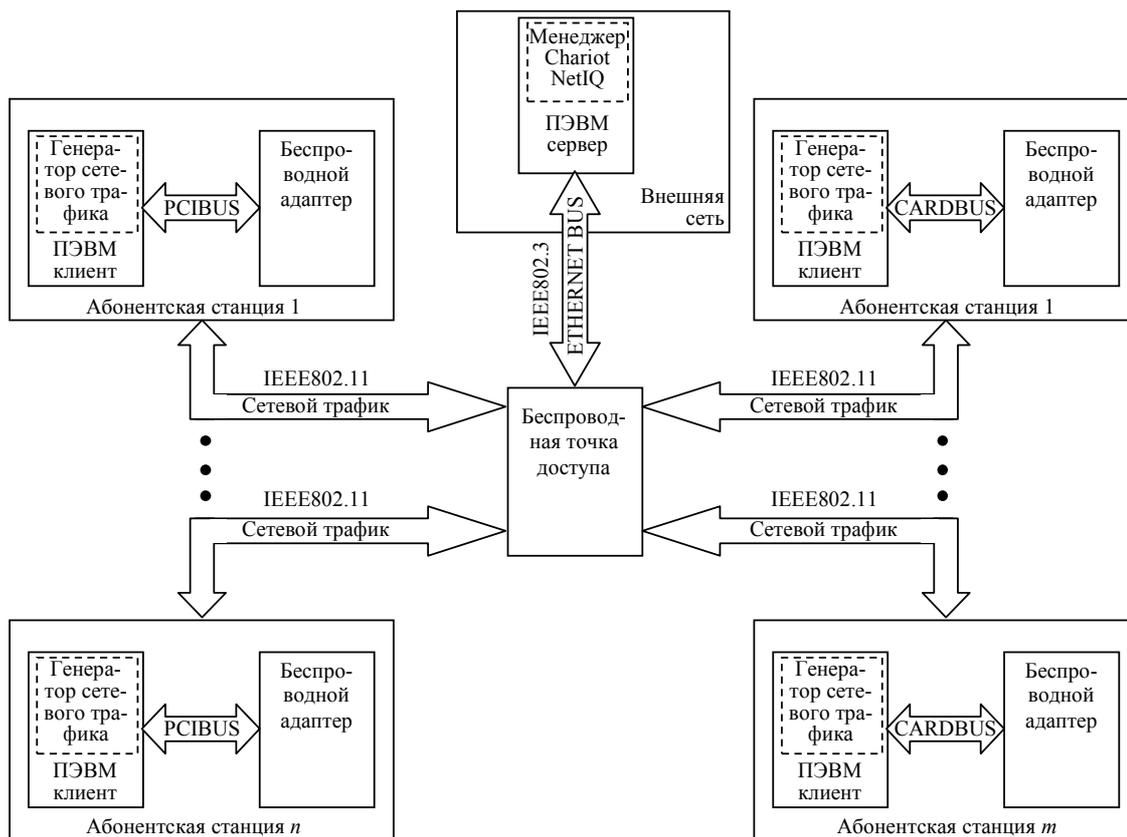


Рис. 1. Схема экспериментального исследования беспроводного сегмента сети

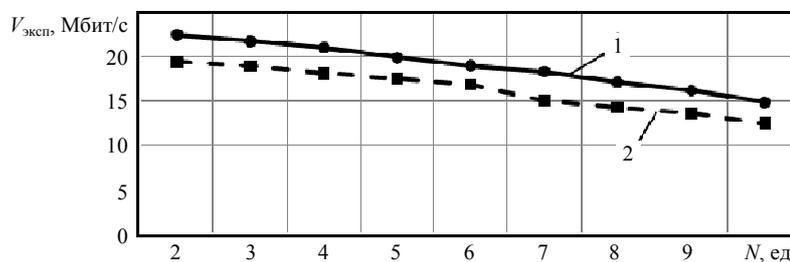


Рис. 2. Зависимость пропускной способности сети от числа абонентов в режиме взаимодействия Infrastructure при работе точки доступа в обычном режиме 802.11g (54Мбит/с) для: PCI-адаптеров (1); Cardbus-адаптеров (2)

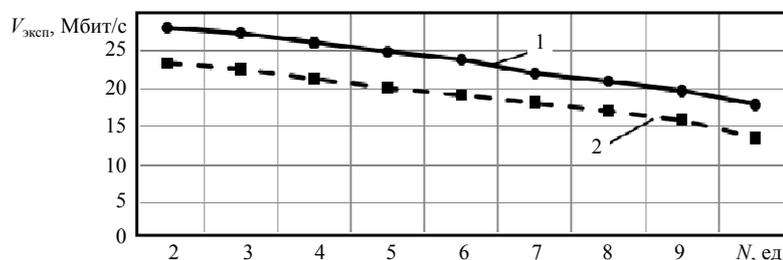


Рис. 3. Зависимость пропускной способности сети от числа абонентов в режиме взаимодействия Infrastructure при работе точки доступа в режиме 802.11 Super G (108Мбит/с) для: PCI-адаптеров (1); Cardbus-адаптеров (2)

В классической математической статистике предполагается известным вид закона распределения и производится оценка значений его параметров по результатам наблюдений. Но обычно до проведения экспериментов вид закона распределения неизвестен, а теоретические предположения или обработка экспериментальных данных также не позволяют его точно вычислить. Следует говорить только об аппроксимации (приближенном описании) реального закона некоторым другим, который не противоречит экспериментальным данным и, в каком-то смысле, похож на неизвестный истинный закон. В соответствии с этими положениями постановка задачи аппроксимации закона распределения экспериментальных данных формулируется следующим образом. Имеется выборка x_1, x_2, \dots, x_n наблюдений случайной величины X . Объем выборки n фиксирован. Необходимо подобрать вид и параметры закона распределения, который бы в статистическом смысле соответствовал имеющимся наблюдениям [3].

Решение задачи выполнено в два этапа: на первом — определяется вид аппроксимирующей зависимости; на втором — ее параметры.

В MS Excel [4] аппроксимация экспериментальных данных осуществляется путем построения их графика с последующим подбором подходящей аппроксимирующей функции. В качестве аппроксимирующих зависимостей может использоваться одна из перечисленных:

- логарифмическая $V_{\text{экср}} = a \ln N + b$;
- полиномиальная $V_{\text{экср}} = aN^2 + bN + c$;
- степенная $V_{\text{экср}} = aN^{-b}$;
- линейная $V_{\text{экср}} = aN + b$;
- экспоненциальная $V_{\text{экср}} = ae^{-bN}$,

где N — количество абонентских станций;

a, b, c — коэффициенты, зависящие от скоростного режима беспроводного стандарта, характеристик, используемого оборудования, топологии сети и внешней среды.

Для указанных зависимостей с использованием встроенных средств пакета MS Excel построены графики пропускной способности беспроводного сегмента сети и определены относительные погрешности по сравнению с экспериментально полученными результатами (табл. 1).

Таблица 1

Результаты расчета относительной погрешности для логарифмической, полиномиальной, степенной, линейной и экспоненциальной зависимостей

Аналитическая зависимость	Относительная погрешность, %		
	min	max	avg
логарифмическая зависимость	1,9	9,3	6,05
полиномиальная зависимость	2,8	7,2	4,93
степенная зависимость	0,9	9	5,7
линейная зависимость	2,5	6	4,76
экспоненциальная зависимость	1,5	5,1	3,33

Можно сделать вывод, что наименьшую среднюю погрешность имеет регрессионная модель на основе экспоненциальной зависимости.

С использованием метода наименьших квадратов [5] получены зависимости для определения коэффициентов регрессионной модели, где V_n — номинальная пропускная способность, определяемая скоростным режимом соответствующего беспроводного стандарта (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициенты регрессионной модели

Коэффициенты	Виды адаптеров	
	Cardbus	PCI
a	$4,56 \ln(V_n)$	$5,34 \ln(V_n)$
b	$0,37V_n^{-0,5}$	$0,37V_n^{-0,5}$

Таким образом, регрессионная модель пропускной способности сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE802.11 $V_{\text{рег}}$ имеет вид:

$$V_{\text{рег}} = \begin{cases} 4,56 \ln(V_n) e^{-0,37V_n^{-0,5}}, & \text{для Cardbus-адаптеров;} \\ 5,34 \ln(V_n) e^{-0,37V_n^{-0,5}}, & \text{для PCI-адаптеров.} \end{cases}$$

Для определения, принимается модель или нет, нужно рассчитать относительную погрешность между точками заданной экспериментальной и полученной теоретической зависимостей.

Если относительная погрешность не превышает 5...10 % процентов, то предложенная модель принимается, в противном случае выбирают более сложную модель. Показаны экспериментальная и теоретическая зависимость пропускной способности беспроводной сети (рисунки 4 и 5).

Анализ результатов показывает, что максимальная погрешность аппроксимации не превышает 5 %. Это говорит о высокой точности регрессионной модели, полученной с использованием экспоненциальной аппроксимации, что позволяет использовать ее в задачах анализа и синтеза сегментов беспроводных сетей, работающих в различных режимах и использующих различные типы беспроводных адаптеров.

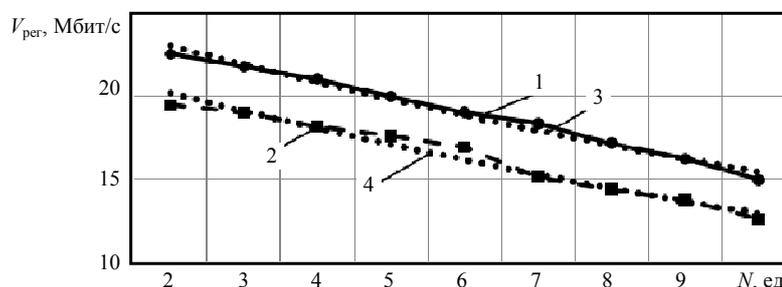


Рис. 4. Аппроксимация пропускной способности беспроводного сегмента сети для режима взаимодействия Infrastructure при работе точки доступа в обычном режиме 802.11g (54Мбит/с): PCI эксперимент (1); Cardbus эксперимент (2); PCI аппроксимация (3); 4 — Cardbus аппроксимация (4)

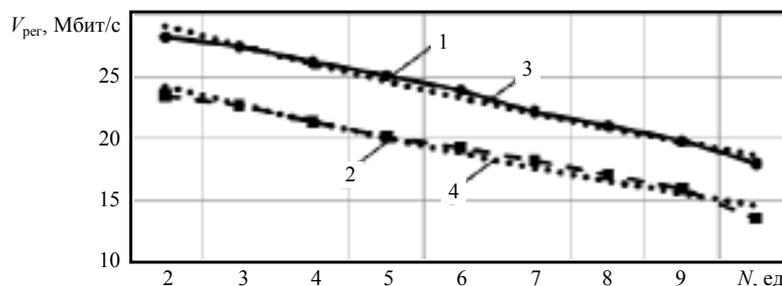


Рис. 5. Аппроксимация пропускной способности беспроводного сегмента сети для режима взаимодействия Infrastructure при работе точек доступа в режиме 802.11 Super G (108Мбит/с): PCI эксперимент (1); Cardbus эксперимент (2); PCI аппроксимация (3); Cardbus аппроксимация (4)

Предложенная регрессионная модель расчета пропускной способности сквозного канала беспроводного сегмента сети стандарта IEEE 802.11 и программно-аппаратный комплекс для проведения натурных экспериментов позволяют строить регрессионные модели беспроводных сегментов компьютерных сетей на уровне сквозного канала передачи данных для отдельных сегментов с небольшим количеством абонентских станций и комбинировать их в единую сеть. Модели обладают высокой точностью, что позволяет использовать их в задачах анализа и синтеза беспроводных сетей, построенных на базе различного коммуникационного оборудования с учетом используемого режима работы и реального топологического окружения.

Литература

1. Пахомов, С.Д. Технологии беспроводных сетей семейства 802.11 / С.Д. Пахомов // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. — 2004. — № 3. — С. 10 — 15.
2. Баканов, А.С. Метод оценки показателей производительности беспроводных сетей с централизованным управлением / А.С. Баканов, В.М. Вишнеvский, А.И. Ляхов // Автоматика и телемеханика. — 2000. — № 4. — С. 97 — 105.
3. Браверман, Э.М. Структурные методы обработки эмпирических данных / Э.М. Браверман, И.Б. Мучник. — М.: Наука, 1983. — 358 с.
4. Васильев, А.Н. Научные вычисления в Microsoft Excel / А.Н. Васильев. — К.: Диалектика, 2004 — 486 с.
5. Замков, О.О. Взвешенный метод наименьших квадратов. Математические методы в экономике / О.О. Замков, А.В. Толстопятенко, Р.Н. Черемных. — М.: Дис, 1997. — С. 45 — 208.

References

1. Pakhomov, S.D. Tekhnologii besprovodnykh setey semeystva 802.11 [Technology of wireless networks family 802.11] / S.D. Pakhomov // Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia [Information technologies and computer engineering] — 2004. — # 3. — PP. 10 — 15.
2. Bakanov, A.S. Metod otsenki pokazateley proizvoditel'nosti besprovodnykh setey s tsentralizovannym upravleniem [Performance indicators evaluation method for centralized control wireless networks] / A.S. Bakanov, V.M. Vishnevskiy, A.I. Lyakhov // Avtomatika i telemekhanika [Automatics and telemechanics] — 2000. — # 4. — PP. 97 — 105.
3. Braverman, E.M. Strukturnye metody obrabotki empiricheskikh dannykh [Structural methods of empirical data processing] / E.M. Braverman, I.B. Muchnik. — Moscow, 1983. — 358 p.
4. Vasil'ev, A.N. Nauchnye vychisleniya v Microsoft Excel [Scientific calculations in Microsoft Excel] / A.N. Vasil'ev. — Kyiv, 2004 — 486 p.
5. Zamkov, Vzveshennyy metod naimen'shikh kvadratov. Matematicheskie metody v ekonomike [Weighted least square method . Mathematical methods in economics] / O.O. Zamkov, A.V. Tolstop'yatenko, R.N. Cheremnykh. — Moscow, 1997. — PP. 45 — 208.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Антошук С.Г.

Поступила в редакцию 12 сентября 2011 г.