

УПРАВЛЕНИЕ ПЕРЕГРУЗКОЙ СЕТЕВЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ КАЛМАНА–БЬЮСИ

Введение

Предоставление услуг гарантированного качества во многом определяется составом и результативностью решений задач сетевого управления. Особое место в современных и перспективных системах сетевого управления занимают задачи управления сетевыми ресурсами, приоритетами, трафиком, а при необходимости и самой структурой системы. Как известно, существует множество алгоритмов и протоколов распределения и управления нагрузкой в сети. В алгоритмах управления перегрузками и очередями RED и WRED реализовано управление длиной очереди пакетов в буфере с использованием оценки условного среднего длины очереди на основании ограниченного числа измерений с помощью процедуры Роббинса–Монро [1]. При передаче речевого потока изменение интенсивности трафика происходит достаточно плавно, и сглаживающий эффект процедуры Роббинса–Монро не вносит существенных ошибок. При передаче мультимедийного трафика имеют место резкие пульсирующие изменения интенсивности. В этой ситуации целесообразно оценивать не среднее значение, а текущее значение процесса. Наиболее рациональным подходом для получения оценки длины очереди пакетов в буфере маршрутизатора является использование оптимального фильтра Калмана–Бьюси.

Управление в ТКС базируется на теореме о разделении. В статье решена задача оценивания длин очередей маршрутизаторов с помощью процедуры фильтрации Калмана–Бьюси. При реализации процедуры оценивания в качестве наблюдаемого процесса использованы результаты измерений длин очередей пакетов в буферах реального оборудования. Проведен анализ функционирования процедуры ФКБ с целью определения параметров оценивания для получения решения в реальном времени.

Математическая постановка задачи

В качестве модели системы выбрана динамическая модель, в рамках которой осуществляется формализация процессов управления канальными и буферными ресурсами ТКС [2].

Для описания динамики информационного обмена в ТКС использовано матричное представление уравнения состояния в дискретном виде

$$X(k+1) = X(k) + B^{(m)}(k) \cdot U^{(m)}(k) + Y(k), \quad (1)$$

где $X(k) = [x_{1,2}(k), \dots, x_{i,j}(k), \dots, x_{N,N-1}(k)]^T$ – вектор загрузки буферных устройств на маршрутизаторах сети в момент времени t_k размерности $N \cdot (N-1)$;

$U^{(m)}(k) = [u_{1,2}^{2(m)}(k), \dots, u_{i,j}^{j(m)}(k), \dots, u_{N,N-1}^{N-1(m)}(k)]^T$ – вектор маршрутных переменных в момент времени t_k размерности $N \cdot (N-1)^2$; $B^{(m)}(k)$ – матрица пропускных способностей сети в момент времени t_k размерности $N \cdot (N-1) \times N \cdot (N-1)^2$, $Y(k) = [y_{1,2}(k), \dots, y_{i,j}(k), \dots, y_{N,N-1}(k)]^T$ – вектор абонентской нагрузки на маршрутизаторы ТКС в момент времени t_k размерности $N \cdot (N-1)$.

Выбранная динамическая модель маршрутизации адаптирована для дейтаграммных сетей и сетей, ориентированных на виртуальные соединения, для гибридных сетей и сетей с комбинированным типом маршрутизации, а также для сетей с иерархической маршрутизацией [2].

В стохастических системах, согласно теореме о разделении, оптимальное управление может быть построено с помощью двух независимых последовательных процедур: оптимального оценивания состояния $\hat{x}(k)$, детерминированного управления $U^{(u)}$.

Процедура получения оценки $\hat{x}(k)$ имеет следующий вид [3]:

$$\hat{x}(k+1) = \Phi(k+1, k)\hat{x}(k) + K(k) \left[y(k) - H(k)\hat{x}(k) \right], \quad (2)$$

где $K(k)$ – коэффициент, обеспечивающий устойчивость и оптимальную скорость сходимости алгоритма к установившемуся состоянию.

Наличие множителя $\Phi(k+1, k)$ – матрицы состояния с элементами $\Phi_{ij} = \exp\{-\Delta t_k / \tau_{кор}^{(ij)}\}$ определяет величину корреляционной связи между соседними отсчетными значениями наблюдаемого процесса и величину связи между компонентами i и j . Эти значения связаны между собой функцией прогноза:

$$x_i(k+1) = \exp\{-\Delta t_k / \tau_{кор}^{(ij)}\} x_i(k),$$

при этом, чем короче интервал Δt_k , тем точнее прогноз и тем выше качество получаемой оценки.

Описание эксперимента

Эксперимент проведен на базе оборудования учебно-научных лабораторий кафедры телекоммуникационных систем Харьковского национального университета радиоэлектроники. Для эксперимента было задействовано следующее оборудование:

- маршрутизаторы компании Cisco Systems серии 2801 и 1841;
- участок локальной сети кафедры, созданный на основе коммутаторов компаний Surecom и 3Com (Switch Surecom EP – 2726 DGR Layer; Baseline 2924 – PWR Plus) и беспроводной точки доступа компании Cisco Systems серии Aironet 1100.

Топология сети (рис. 1) содержит три маршрутизатора – RTA, RTB и RTC, объединяющие три локальных вычислительных сети – 192.10.1.0, 192.10.5.0 и 192.10.6.0. На каждый маршрутизатор поступал поток данных с различной интенсивностью: RTA – 20 Мбум/с, RTB – 12 Мбум/с и RTC – 14 Мбум/с.

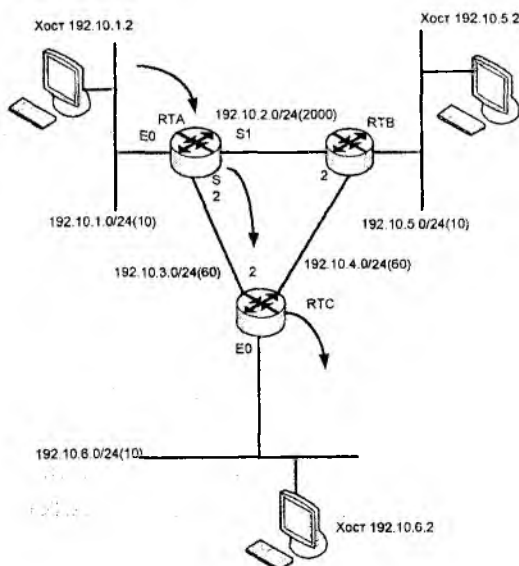


Рис. 1

Цель эксперимента – получение статистических данных о длине очереди пакетов в буферах маршрутизаторов в условиях передачи трафика с высокой интенсивностью. Изменения длины очереди проводились пять раз в секунду, длина выборки 454 элемента.

Решение задачи оценивания и анализ результатов

В качестве наблюдаемого процесса в процедуре фильтра Калмана–Бьюси использовались экспериментально полученные выборки с добавлением БГШ. Модель наблюдения представляет собой марковский процесс, в качестве параметров которого использовались параметры экспериментальных данных, а именно – дисперсия и интервал корреляции.

В ходе эксперимента получен процесс динамического изменения длины очереди на каждом из маршрутизаторов и семейство корреляционные функции этих процессов (рис. 2).

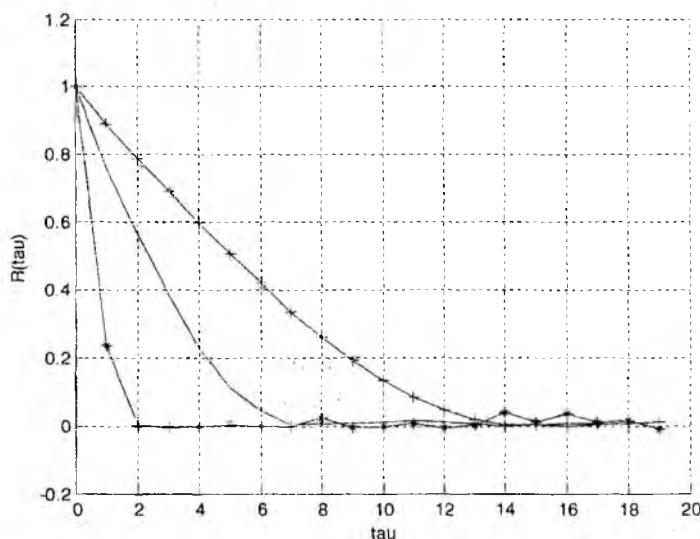


Рис. 2

Определены интервалы корреляции (рис. 3): $\tau_{кор}(RTA) = 7$; $\tau_{кор}(RTB) = 1.2$; $\tau_{кор}(RTC) = 3$; числовые характеристики – математическое ожидание $m_1 = 39.57$; $m_2 = 38.79$; $m_3 = 39.29$, дисперсии – $D_1 = 4.22$; $D_2 = 7.12$; $D_3 = 8.31$.

Как известно из теоремы Дубба, гауссовский марковский процесс с заданными корреляционными свойствами может быть получен из следующего уравнения состояния [3]:

$$\frac{dx(t)}{dt} = F(t)x(t) + G(t)\xi(t), \quad (3)$$

где $\xi(t)$ – виртуальный белый гауссов шум с нулевым средним, являющийся порождающим для процесса $x(t)$, $F(t)$, $G(t)$ – коэффициенты (для векторного случая: матрицы) соответственно состояния и порождения.

Уравнение состояния (3) отображает марковские свойства процесса $x(t)$, а его коэффициенты $F(t)$, $G(t)$ связаны с коэффициентами сноса и диффузии, входящие в уравнение Фоккера–Планка–Колмогорова. Коэффициенты $F(t) = \{\alpha_{ij}\}$ имеют физический смысл величин, обратных интервалам корреляции $\alpha = \tau_{кор}^{-1}$ компонент векторного процесса $x(t)$. Коэффициенты $G(t)$ определяют уровень порождающего процесса и соответственно – случайных изменений процесса $x(t)$,

$$G = \sqrt{2\alpha\sigma_x^2}, \quad (4)$$

где σ_x^2 – спектральная плотность мощности порождающего процесса $\xi(t)$. Таким образом, для стационарного процесса $x(t)$ уравнение (3) может быть более конкретизировано:

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\alpha x(t) + \sqrt{2\alpha\sigma_x^2} \cdot \xi(t). \quad (5)$$

Очевидно, если процесс $\xi(t)$ имеет нулевое среднее, то и процесс $x(t)$ также имеет среднее $m_x = 0$.

Дискретное представление процесса $x(k)$, выражаемого соответствующим (3) разностным уравнением состояния, имеет вид

$$x(k+1) = \Phi(k+1, k)x(k) + G(k+1, k)\xi(k), \quad (6)$$

где $\Phi(k+1, k) = \exp\{-\alpha\Delta t_k\}$ – коэффициент (для многомерного случая – матрица) состояния, $\alpha = 1/\tau_{кор}$, $\Delta t_k = k - (k-1)$ – шаг квантования, $G(k+1, k) = \sqrt{\sigma_x^2(1 - \exp\{-\alpha\Delta t_k\})}$ – коэффициент (матрица) порождения.

Выбранная модель является всего лишь упрощенным представлением реальной системы. При этом выборе имеют место ошибки, связанные с тем, что параметры модели и реальной системы могут несколько отличаться. В задаче оценивания используется модель состояния, в которую входят параметры α и σ_x^2 . Эти параметры модели могут не совпадать с реальными параметрами оцениваемых процессов, а их отклонение приводит к погрешностям, что влияет на точность оценки. Необходимо исследовать влияние отклонений параметров выбранной модели на точность оценки.

Анализ значений чувствительности фильтра проведем методом имитационного моделирования в пакете Matlab.

Получены зависимости коэффициента усиления фильтра Калмана–Бьюси от номера шага дискретизации (рис. 3) и оценки длин очередей пакетов в буфере маршрутизаторов при разной интенсивности трафика (рис. 4).

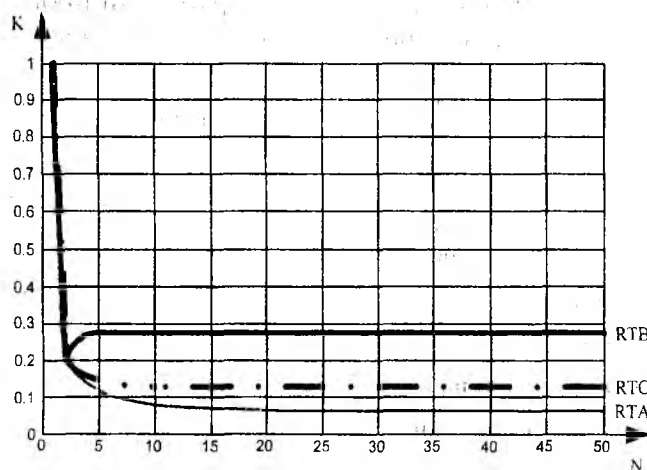


Рис. 3

При оценивании длины очереди пакетов в буфере маршрутизатора RTB при шаге дискретизации $T = 0.1$, интервале корреляции $\tau_{кор} = 1.5$, дисперсии $D = 7$ и отношении сиг-

нал/шум = 10 получено устойчивое решение на 4-м шаге (рис. 3, 4, б). Апостериорная дисперсия ошибки составляет 0.12.

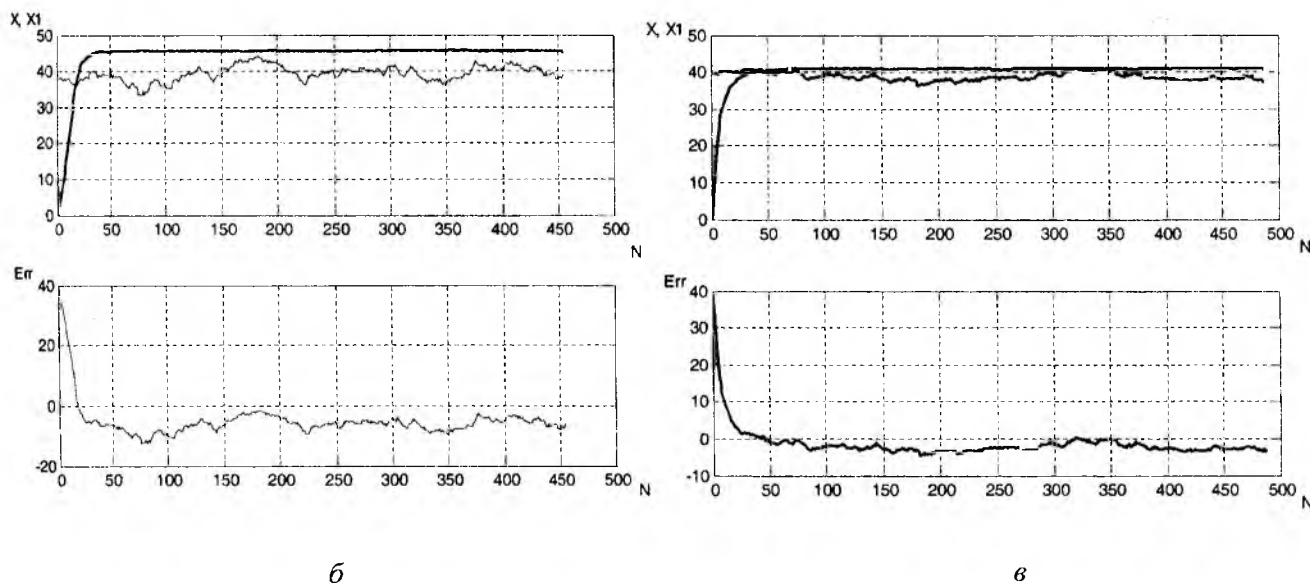
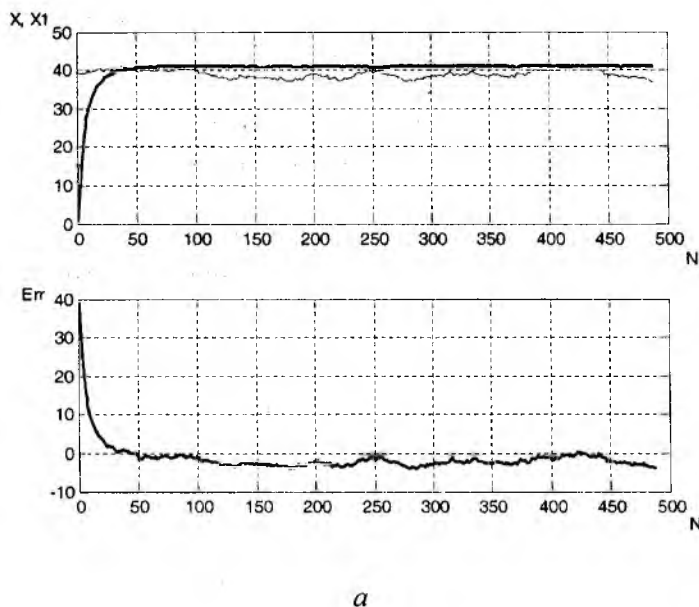


Рис. 4

При шаге дискретизации $T = 0.1$, интервале корреляции $\tau_{кор} = 3$, дисперсии $D = 8.31$ и отношении сигнал/шум = 10 для маршрутизатора RTC получено устойчивое решение на 7-м шаге (рис. 3, 4, в). Апостериорная дисперсия ошибки составляет 0.34.

При шаге дискретизации $T = 0.1$, с интервалом корреляции $\tau_{кор} = 7$ и дисперсией $D = 4.27$ при отношении сигнал/шум = 10 для маршрутизатора RTA получено устойчивое решение на 10-м шаге (рис. 3, 4, а). Апостериорная дисперсия ошибки составляет -0.54.

Таким образом, с увеличением интенсивности трафика для достижения устойчивого состояния требуется больше времени.

Из анализа следует, что выбранное марковское приближение длины очереди пакетов в буфере маршрутизатора обеспечивает сходимость процедуры фильтра Калмана–Бьюси в реальном времени с достаточной для решаемой задачи точностью.

Выводы

1. Проведена статистическая обработка результатов эксперимента с целью определения характеристик оцениваемого процесса, интервала корреляции и дисперсии, на основании чего выбрана марковская модель оцениваемого процесса.

2. Решена скалярная задача оценивания длины очереди пакетов в буфере маршрутизатора, и с помощью имитационного моделирования доказана адекватность выбранной математической модели.

3. Получены оценки длин очередей пакетов в буфере маршрутизатора, которые могут быть в дальнейшем использованы для анализа устойчивости и точности механизмов предотвращения перегрузки в сетях.

Список литературы: 1. *Поповский В.В., Горяева С.Н.* Методы оценки тренда нестационарности в динамике изменения интенсивности трафика // Зв'язок. 2008. № 5–6. С. 29–32. 2. *Лемешко А.В.* Алгоритм иерархическо-координационного управления информационным обменом в сети передачи данных // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: Сб. науч. Тр. ХАИ. Харьков. 1998. Вып. 1. С. 323–328. 3. *Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / В.В. Поповський, С.О. Сабурова, В.Ф. Олійник, Ю.І. Лосєв, Д.В. Агеєв та ін.; За заг. ред. В.В. Поповського.* Харків: ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. 564 с. 4. *Сейдж Э., Мелс Дж.* Теория оценивания и ее применение в связи и управлении: Пер. с англ. под ред. проф. Б. Р. Левина. М.: Связь, 1976. 496 с.

*Харьковский национальный
университет радиоэлектроники*

Поступила в редколлегию 02.09.2009