

УДК 004.77

Е.С. Иевлев¹, С.Н. Иевлева²¹ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, iev_lev@ukr.net²ХНУРЭ, г. Харьков, Украина, svet_nik@ukr.net

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ ПРОЦЕССАМИ В КОРПОРАТИВНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

В статье изложена методика оценки параметров распределения длительности передачи пакетированных данных на основе двух задаваемых временных оценок продолжительности передачи данных по каналам связи. Основной целью исследования является совершенствование методов анализа и моделей управления в корпоративных сетях, направленных на повышение их производительности.

КОРПОРАТИВНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ, ПАКЕТИРОВАННЫЕ ДАННЫЕ, ВРЕМЕННЫЕ ОЦЕНКИ, ПАРАМЕТРЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ, МЕТОДЫ АНАЛИЗА, МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ, ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ, СЕТЕВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Введение

В настоящее время, несмотря на тенденцию к повышению пропускной способности компьютерных сетей (КС), изменение характера передаваемой информации, ее объемов и интенсивности может привести к возникновению блокировок и перегрузок, а разнообразие передаваемой информации, ее интенсивность и объем приводят ко все большему отличию существующих математических моделей источников информации, коммуникационных узлов сетей и самого трафика, разработанных для сетей первых поколений, от реально наблюдаемых результатов их функционирования на современном этапе. Таким образом, совершенствование методов анализа и моделей управления в корпоративных сетях, направленных на повышение их производительности, остается актуальной проблемой и в настоящее время.

Сложность совершенствования моделей управления в корпоративных сетях состоит в том, что сетевые процессы в современных компьютерных сетях имеют случайный характер. Анализ результатов многочисленных экспериментов по исследованию сетевых процессов показывает, что переход к технологии пакетной коммутации и создание интегрированных информационных приложений сопровождается появлением сложных явлений, исследование которых может быть проведено в рамках теоретико-вероятностных подходов [1].

Целью данной работы является построение вероятностных моделей управления сетевыми процессами в корпоративных компьютерных сетях (ККС), на основе двух задаваемых временных оценок продолжительности передачи данных по каналам связи.

1. Выбор закона распределения продолжительности передачи пакетированных данных в корпоративных компьютерных сетях

Во всех ККС с N каналами связи, в которых принимается продолжительность передачи пакетированных данных случайной величиной, можно использовать оптимистические $a_i, i = 1, N$

(нижняя грань области определения) и пессимистические $b_i, i = 1, N$ (верхняя грань области определения) оценки длительности передачи пакетов данных по каналам связи. Эти оценки, обычно, задаются на основе либо нормативных данных, либо априорных соображений, либо из статистического опыта. При работе со случайными величинами предполагается, что известно, хотя бы приблизительно, вероятностное распределение этой случайной величины. Объективно измерить распределение длительности передачи пакета чрезвычайно сложно, по этой причине, обычно используется другой подход. Выбирается какой-либо модельный класс распределений, описываемых несколькими параметрами, эти параметры определяются экспертным путем для каждой передачи.

Практически для всех систем ККС априорно можно принять, что плотность распределения временных оценок продолжительности передачи пакетов обладает тремя свойствами: непрерывностью, унимодальностью и двумя неотрицательными точками пересечения этой плотности с осью абсцисс. Простейшим распределением с подобными свойствами является бета-распределение. Общий вид бета-распределения характеризуется, помимо наличия большого количества случайных факторов, каждый из которых в отдельности оказывает незначительное, несущественное влияние, наличием нескольких, также случайных факторов, число которых невелико, а влияние существенно. В результате воздействия существенных факторов распределение вероятностей обычно делается асимметричным. Отсюда вытекает возможность выбора бета-распределения в качестве априорно типового.

Как показано в [2] в качестве априорно типового можно выбрать бета-распределение.

Формула плотности бета-распределения имеет следующий вид:

$$B(p, q, x) = \begin{cases} \frac{1}{B(p, q)} x^{p-1} (1-x)^{q-1} & \text{при } 0 \leq x \leq 1, \\ 0 & \text{при } x < 0, x > 1, \end{cases}$$

где $B(p, q)$ – бета-функция, причем

$$B(p, q) = \int_0^1 x^{p-1} (1-x)^{q-1} dx = \frac{\Gamma(p)\Gamma(q)}{\Gamma(p+q)},$$

а гамма-функция $\Gamma(z)$ определяется по формуле

$$\Gamma(z) = \int_0^\infty e^{-t} t^{z-1} dt,$$

причем для целых z функция

$$\Gamma(z) = 1 \cdot 2 \cdot \dots \cdot (z-1) = (z-1)!.$$

Вид функции (1) зависит от показателей p и q , причем для $p > 2$ (и, соответственно, для $q > 2$) функция распределения обращается в 0 в левой (или правой) конечной точке вместе с ее первой производной. Для $1 < p < 2$ (и, соответственно, $1 < q < 2$) кривая имеет вертикальную касательную в левой (правой) конечной точке. Для $0 < p < 1$ (и, соответственно, $0 < q < 1$) функция уходит в бесконечность, если значения x соответствуют левой (правой) конечной точке, причем вертикальная прямая, проведенная из левой крайней точки, будет ее асимптотой. Для $p \leq 0$ (и, соответственно, $q \leq 0$) интеграл равен бесконечности, так что функция распределения перестает существовать.

2. Построение вероятностной модели управления сетевыми процессами в корпоративных компьютерных сетях

Итак, будем считать, что корпоративная компьютерная сеть состоит из N каналов связи, для каждого из которых экспертами задаются три оценки a_i, b_i, m_i , где $m_i, i = \overline{1, N}$ – мода распределения (наиболее вероятное время передачи пакета по каналам связи).

В основу исследования и построения вероятностной модели управления сетевыми процессами в ККС положены следующие допущения:

1. Продолжительность произвольной передачи пакета $t(i, j)$, между i -м и j -м узлами ККС, есть случайная величина, распределенная по закону бета-распределения на отрезке $[a, b]$ с плотностью:

$$\varphi(t) = C(t-a)^{p-1}(b-t)^{q-1}, \quad (1)$$

где C определяется из условия

$$\int_a^b \varphi(t) dt = 1.$$

Искомое оптимальное распределение мы будем искать среди класса бета-распределений, задаваемых, в общем виде, по известной формуле плотности (1), где $p-1 = \alpha$ и $q-1 = \gamma$ – неизвестные и подлежащие оценке показатели, на которые накладывается весьма существенное ограничение – они не должны меняться от передачи к передаче.

Поскольку распределение $p_i(x)$ должно, в некотором смысле, оптимально аппроксимировать заданную числовую информацию a_i, b_i, m_i ($1 \leq i \leq N$), необходимо установить критерии этой

оптимальности, на основании которых можно оценить степенные показатели α и γ . Разумеется, такого рода критерии устанавливаются априорно.

Отметим, что распределение $p_i(x)$ для каждой из передач R_i формирует соответствующую моду L_i . Оценим параметры распределения $p_i(x)$, чтобы множество значений $\{L_i\}$ оптимально аппроксимировало множество заданных значений $\{m_i\}$, полученных от экспертов. Такого рода аппроксимация может быть построена аналитическим путем, в частности, с помощью известного метода наименьших квадратов. Необходимо подобрать такие значения показателей α и γ , чтобы сумма квадратов отклонений

$$V = \sum_{i=1}^N (L_i - m_i)^2 = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\alpha b_i + \gamma a_i}{\alpha + \gamma} - m_i \right)^2 \quad (2)$$

была минимальной. Таким образом,

$$\sum_{i=1}^N \left[\left(1 - \frac{\alpha}{\alpha + \gamma} \right) \alpha_1 + \frac{\alpha}{\alpha + \gamma} b_i - m_i \right]^2 = \min. \quad (3)$$

Обозначим отношение $\frac{\alpha}{\alpha + \gamma}$ через k . Тогда

$$\sum_{i=1}^N [k b_i (1-k) a_i - m_i]^2 = \min.$$

Значение k может быть получено из соотношения $\frac{\partial V}{\partial k} = 0$.

Получаем

$$2 \sum_{i=1}^N [k b_i (1-k) a_i - m_i] (b_i - a_i) = 0.$$

Отсюда

$$k = \frac{\sum_{i=1}^N (b_i - a_i)(m_i - a_i)}{\sum_{i=1}^N (b_i - a_i)^2}. \quad (4)$$

Соотношение (4) не определяет однозначно степенные показатели α и γ . Таким образом, необходимо ввести второй критерий соответствия распределения $p_i(x)$ эмпирическим значениям.

Для всех входящих в ККС каналов связи определяется математическое ожидание времени передачи пакета и дисперсию по формуле:

$$M(x_i) = \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6}, \quad (5)$$

$$\sigma^2(x_i) = \frac{(b_i - a_i)^2}{36}, \quad (6)$$

после чего все параметры сети оцениваются исходя из средних значений. Отметим, что такого рода методика применима в случае, когда уровень неопределенности случайных величин продолжительности передачи данных близок к детерминированному. Отсюда вытекает требование, что вычисленное на основе закона $p_i(x)$ множество теоретических значений $\{M(x_i)\}$ должно оптимальным образом

(в смысле метода наименьших квадратов) совпадать с множеством средних $\{\bar{x}_i\}$, оцениваемых по формуле (5). Выполнение этого требования дает возможность однозначно оценить значения степенных показателей α и γ таким образом, чтобы заменить трехоценочную методику на двухоценочную и, одновременно, сохранить полноту объема информации, полученной с помощью трехоценочной методики.

Задаем второе условие:

$$W = \sum_{i=1}^N \left[\frac{b_i(\alpha+1) + a_i(\gamma+1)}{\alpha+\gamma+2} - \frac{a_i + b_i + 4m_i}{6} \right]^2 = \min. \quad (7)$$

Отсюда получаем

$$W = \sum_{i=1}^N \left[\frac{\alpha+1}{\alpha+\gamma+2} b_i + \left(1 - \frac{\alpha+1}{\alpha+\gamma+2} \right) a_i - \frac{a_i + b_i + 4m_i}{6} \right]^2 = \min. \quad (8)$$

Обозначим

$$\frac{\alpha+1}{\alpha+\gamma+2} = q,$$

тогда

$$W = \sum_{i=1}^N \left[qb_i + (1-q)a_i - \frac{a_i}{6} - \frac{b_i}{6} - \frac{2}{3}m_i \right]^2 = \min.$$

Из соотношения $\frac{\partial W}{\partial q} = 0$ значение q можно легко определить:

$$\frac{\partial W}{\partial q} = 2 \sum_{i=1}^N \left[qb_i + (1-q)a_i - \frac{a_i}{6} - \frac{b_i}{6} - \frac{2}{3}m_i \right] (b_i - a_i) = 0.$$

Отсюда

$$q = \frac{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^N (b_i - a_i)(b_i + 4m_i - 5a_i)}{\sum_{i=1}^N (b_i - a_i)^2}. \quad (9)$$

Полученные соотношения (6) и (9) однозначно определяют значения α и γ и, тем самым, однозначно формируют закон распределения $p_i(x)$ для любой передачи данных, осуществляемой в данной ККС.

Таким образом, в формулу $p_i(x)$ параметрами входят области определения времени выполнения передач a_i и b_i , задаваемые экспертами, и, вычисляемые на основании соотношений (4) и (9), степенные показатели α и γ . В отличие от параметров a_i и b_i , значения α и γ неизменны для всех передач, входящих в данную ККС.

Эмпирические исследования показали, что величины α и γ концентрируются около постоянных значений $\alpha \approx 1$ и $\gamma \approx 2$. Последние были приняты в качестве стандартных степенных показателей, и, тем самым, был построен закон распределения с плотностью, зависящей лишь от двух параметров:

$$p(x) = C(x-a)(b-x)^2.$$

Здесь C — константа, которая легко определяется из условия

$$\int_{ax}^b p(x) dx = 1.$$

Получаем плотность распределения в интервале от a до b :

$$p(x) = \frac{12}{(b-a)^4} (x-a)(b-x)^2 \quad (10)$$

Распределение (10) относится к классу бета-распределений и имеет следующие параметры:

1) математическое ожидание

$$Mx = \int_{ax}^b xp(x) dx = \frac{3a+2b}{5}; \quad (11)$$

2) моду

$$m = \frac{2a+b}{3}, \quad (12)$$

причем можно показать, что всегда $m < \bar{x}$;

3) дисперсию

$$Dx = \int_{ax}^b x^2 p(x) dx - \left[\frac{3a+2b}{5} \right]^2 = 0,04(b-a)^2. \quad (13)$$

Подставив в формулу плотности распределения

$$f(x) = N(x-a)^\alpha (b-x)^{\alpha\left(\frac{1}{m'}-1\right)}, \quad (14)$$

где $\gamma = \alpha\left(\frac{1}{m'}-1\right)$

определенное по формуле (9) значение

$$m' = \frac{(m-a)}{(b-a)} = \frac{1}{3}$$

и значение $\alpha=1$, получим плотность (10) как частный случай плотности (14). Следовательно, плотность распределения (10) отвечает всем требованиям: унимодальности, непрерывности и наличию двух неотрицательных точек пересечения с осью абсцисс.

Выводы

Таким образом, изложенная выше методика оценки параметров распределения на основании двух задаваемых временных оценок существенно уменьшает объем информации, необходимый от эксперта: он должен задавать только два параметра — оптимистическую и пессимистическую оценку продолжительности передачи данных по каналам связи.

К недостатку двухоценочной методики следует отнести сужение класса бета-распределений. Отказ от использования наиболее вероятной оценки (моды m) для некоторых видов передач может деформировать закон распределения в сторону большего отклонения от действительного. Однако, статистические свойства ККС в целом, как это показывают результаты статистического анализа, не претерпевают существенных изменений.

К недостатку двухоценочной методики следует отнести сужение класса бета-распределений. Отказ от использования наиболее вероятной оценки (моды m) для некоторых видов передач может деформировать закон распределения в сторону большего отклонения от действительного. Однако, статистические свойства ККС в целом, как это показывают результаты статистического анализа, не претерпевают существенных изменений.

На практике для ряда передач производилось сравнение эмпирического распределения реальных продолжительностей передач с распределением (10). Для каждой из уже завершенных передач ее фактическая продолжительность нормировалась относительно установленных для каналов связей оптимистического и пессимистического времени, после чего эмпирическое распределение нормированной продолжительности сопоставлялось по аналогичной методике с распределением (10), для которого области определения были, соответственно, равны нулю и единице.

Заметим, что такого рода сопоставление производилось на основе системы статистических критериев согласия — критериев χ^2 , А.Н. Колмогорова и ω^2 . Результаты сопоставления также оказались вполне удовлетворительными.

Список литературы: 1. Городецкий А.Я., Заборовский В.С. Фрактальные процессы в компьютерных сетях: Учебное

пособие. — СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. — 102 с. 2. Иевлев Е.С. О выборе закона распределения продолжительности передачи пакетированных данных в корпоративных компьютерных сетях: АСУ и приборы автоматики. — 2012. — № 161 — С. 113–116. 3. Голенко Д.И. Моделирование и статистический анализ псевдослучайных величин на электронных вычислительных машинах. — М.: Наука, 1965. — 228 с.

Поступила в редколлегию 9.07.2014

УДК 004.77

Ймовірнісні моделі управління мережевими процесами в корпоративних комп'ютерних мережах / Є.С. Ієвлев, С.М. Ієвлева // Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. — 2014. — № 2 (83). — С. 79–82.

У роботі розглядається побудова ймовірнісних моделей управління мережевими процесами в корпоративних комп'ютерних мережах. У статті викладено методику оцінки параметрів розподілу тривалості передачі пакетованих даних.

Бібліогр.: 3 найм.

UDK 004.77

Intelligent system of optimization of operating modes of compressor station of MG // Ye.S Ievlev, S.N. Ievleva / Bionics of Intelligence: Sci. Mag. — 2014. — № 2 (83). — P. 79–82.

In work deals with the construction of probabilistic models of network management processes in corporate computer networks. In this paper the method of estimation of distribution parameters length packet data.

Ref.: 3 items.