УДК 621.395

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА СЕТИ NGN ПРИ СУЩЕСТВЕННОМ РОСТЕ ТРАФИКА

А.К. Леваков, заместитель технического директора по эксплуатации МРФ «Центр» ОАО «Ростелеком», к.т.н.; levak66@bk.ru

Ключевые слова: *трафик, имитационная модель, система массового обслуживания, задержка IP-пакетов, математическое ожидание, коэффициент вариации.*

Введение. В статье [1] были представлены исследования поведения узла коммутации NGN (сети следующего поколения) при резком росте обслуживаемого трафика. Предложенная модель позволила получить ряд полезных аналитических соотношений. В заключительной части той статьи было отмечено, что необходимо провести исследования для более общих предположений относительно характера поступающего трафика и дисциплин его обслуживания. С этой целью была создана имитационная модель, основные результаты разработки которой содержатся в данной статье. В качестве трех важнейших характеристик модели исследуются нормированные в рекомендации ITU-T Y.1541 [2] математическое ожидание времени задержки IP-пакетов между двумя интерфейсами (пользователь – сеть) – *IPTD*, вариация этой же случайной величины – *IPDV* и вероятность потери IP-пакетов – *IPLR*.

Имитационная модель узла NGN. Обычно предполагается, что поток IP-пакетов может быть удачно представлен распределениями с «тяжелыми хвостами» [3, 4]. При существенном возрастании трафика характер входящего потока IP-пакетов меняется. Вероятность появления длительных пауз между моментами поступления IP-пакетов становится крайне низкой. С этой точки зрения практический интерес представляют распределения на неком ограниченном интервале времени $[\alpha, \beta]$. Далее такие распределения обозначаются как $A_l(t)$. Нижний индекс l – первая буква в слове «limited» (ограниченный). Нижний индекс u (от слова «unlimited» – без ограничения) будет использован для распределений $A_u(t)$, определяемых на интервале $[\alpha, \infty)$. Важным фактором при выборе типа распределения $A_l(t)$ становится возможность существенного варьирования величин коэффициента вариации длительности интервалов между моментами поступления IP-пакетов C_a. Назначение имитационной модели заключается в выявлении основных закономерностей. Они не меняют свою природу для распределений класса $A_u(t)$ при условии, что $\alpha = 0$, а $\beta = 1$.

В [5] показано, что модель телетрафика с входящим потоком заявок, заданным распределением $A_l(t)$, позволяет получить верхние границы для характеристик *IPTD* и *IPDV* по сравнению с результатами для моделей, которые основаны на использовании распределений вида $A_u(t)$ при одинаковых значениях величины C_a. Данное утверждение имеет очевидный физический смысл: для распределения $A_l(t)$ длительность периода свободности [6] не может превышать величину β, а для распределений $A_u(t)$ ограничение такого рода, по определению, отсутствует.

Время обслуживания IP-пакетов в узле обычно полагают постоянной величиной [5] или используют закон распределения с небольшим значением коэффициента вариации. Для имитационной модели распределение времени обслуживания $B(t)$ может быть задано любым законом. Произвольный закон распределений функций $A(t)$ и $B(t)$ для моделей телетрафика принято отображать символом G.

Маршрутизатор удобно рассматривать как однолинейную систему телетрафика с ограниченным числом мест для ожидания r. Для обслуживания IP-пакетов могут быть использованы две дисциплины выбора из очереди: в порядке поступления или с учетом заранее выбранного класса приоритета. В классификации Кендалла [7] математическую модель маршрутизатора можно обозначить такими пятью символами: $G/G/1/r/f_j$. Если j=0, то обслуживание заявок происходит с дисциплиной выбора заявок из очереди FIFO: «первой пришла – первой обслужена» [6]. При использовании дисциплины обслуживания заявок с k относительными приоритетами j=1.

Для получения искомых результатов целесообразно выделить несколько типовых моделей узла NGN. Каждая из них – частный случай модели вида $G/G/1/r/f_j$, для которой конкретизируются основные характеристики трафика и дисциплины обслуживания заявок. Под заявкой понимается IP-пакет.

Первая типовая модель – система телетрафика вида $Beta/U/1/\infty/f_0$. Обозначение Beta использовано для того, чтобы указать на вид функции $A(t)$ – бета-распределение. Длительность обработки заявок предполагается случайной величиной, распределенной равномерно (на этот факт указывает символ U – uniform) на интервале $[x-\Delta x, x+\Delta x]$. Вторая типовая модель – система телетрафика вида $Weibull/U/1/\infty/f_0$. Здесь обозначение *Weibull* введено для идентификации другого вида функции $A(t)$ – распределения Вейбулла. Заметим, что это распределение относится к классу $A_u(t)$.

Третья и четвертая типовые модели представляют собой системы телетрафика $Beta/D/1/\infty/f_0$ и $Weibull/D/1/\infty/f_0$ соответственно. Это значит, что они отличаются от первой и второй типовых моделей тем, что длительность обслуживания заявок считается постоянной величиной.

Для этих четырех моделей $IPLR \equiv 0$. Для следующих четырех типовых моделей вводится ограничение количества мест для ожидания величиной r. Они могут быть обозначены так: $Beta/U/1/r/f_0$, $Weibull/U/1/r/f_0$, $Beta/D/1/r/f_0$ и $Weibull/D/1/r/f_0$ соответственно.

В качестве следующих восьми моделей выбраны системы телетрафика, в которых используется приоритетная дисциплина выбора заявок на обслуживания из общей очереди. При этом количество мест для ожидания в очереди предполагается бесконечным или ограниченным величиной r. Эти модели можно представить так: $Beta$ *или* $Weibull/U$ *или* $D/1/\infty$ *или* r/f_1.

Семнадцатая типовая модель соответствует обозначению такого вида: $G/G/1/r/f_j$. Назначение этой модели – проверка результатов, полученных при изменении законов одного или сразу двух распределений – $A(t)$ и $B(t)$. В качестве функций $A(t)$ чаще используются распределения класса $A_u(t)$. Эту модель можно рассматривать как набор инструментов,

назначение которых – оценка устойчивости выводов, получаемых при использовании восьми предыдущих моделей. Строго говоря, для семнадцатой типовой модели следует ввести свою классификацию на несколько видов.

Общие принципы анализа типовых моделей узла NGN. Плотность вероятности бета-распределения $f(t)$, которое задано для $0<t<1$ и имеет параметры формы u и v, определяется такой формулой [8]:

$$f(t)=\frac{\Gamma(u+v)}{\Gamma(u)\Gamma(v)}t^{u-1}\left(1-t\right)^{v-1}. \quad (1)$$

Для переменных, входящих в формулу (1), справедливы следующие условия: $u>0, v>0$. Соотношения для расчета математического ожидания длительности интервалов между моментами поступления заявок $A^{(1)}$, дисперсии этой же случайной величины D_A и коэффициента вариации C_A приведены, например, в [8]:

$$A^{(1)}=\frac{u}{u+v};\quad D_A=\frac{uv}{(u+v)^2(u+v+1)};\quad C_A=\sqrt{\frac{v}{u(u+v+1)}}. \quad (2)$$

Для выбранного вида функции $B(t)$ аналогичные характеристики обслуживания заявок – $B^{(1)}$, D_B и C_B определяются следующими соотношениями [8]:

$$B^{(1)}=x;\quad D_A=\frac{\left(\Delta x\right)^2}{3};\quad C_A=\frac{\Delta x}{x\sqrt{3}}. \quad (3)$$

Имитационная модель предназначена для исследования системы телетрафика при большой загрузке ρ, которая определяется отношением $B^{(1)}$ к $A^{(1)}$ В теории телетрафика вводятся две величины интенсивности: для входящего потока $\lambda=\left[A^{(1)}\right]^{-1}$ и обслуживания $\mu=\left[B^{(1)}\right]^{-1}$. Тогда формула для оценки загрузки записывается в такой редакции:

$$\rho=\frac{\lambda}{\mu}=\frac{x(u+v)}{u}. \quad (4)$$

Очевидно, что $A^{(1)}<1$. Можно зафиксировать величину $A^{(1)}$ и менять параметры распределения $A(t)$ так, чтобы получать необходимые значения для коэффициента вариации C_A. Тогда для получения параметров u и v необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} A^{(1)}=\dfrac{u}{u+v}; \\ C_A=\sqrt{\dfrac{v}{u(u+v+1)}}. \end{cases} \quad (5)$$

После несложных преобразований получаем:

$$v=\frac{\left[1-A^{(1)}\right]\left[1-A^{(1)}\left(1+C_A^2\right)\right]}{A^{(1)}C_A^2};\quad u=\frac{1-A^{(1)}\left[1+C_A^2\right]}{C_A^2}. \quad (6)$$

Величину x следует подбирать так, чтобы в результате получалось то значение загрузки ρ, которое необходимо исследовать. Таким образом, для проведения моделирования следует задать диапазон изменения загрузки ρ, коэффициентов вариации C_A и C_B, а также числа мест для ожидания r.

При использовании распределений класса $A_u(t)$ необходимо, чтобы величины $A^{(1)}$ и C_A оставались такими же, какие ранее были выбраны для распределений класса $A_l(t)$. В частности, из возможных распределений класса $A_u(t)$ выбрано распределение Вейбулла с параметром масштаба a и параметром формы c:

$$A_u(t)=1-\exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^c\right]. \quad (7)$$

Для данного распределения величины $A^{(1)}$ и C_A рассчитываются по таким формулам:

$$A^{(1)}=a\Gamma\left(\frac{1}{c}+1\right);\quad C_A=\sqrt{\frac{\Gamma\left(\frac{2}{c}+1\right)}{\Gamma^2\left(\frac{1}{c}+1\right)}-1}. \quad (8)$$

Используя выражения (5) и (6), получаем соотношения, из которых можно найти параметры масштаба a и формы c через величины u и v:

$$\frac{u}{u+v}=a\Gamma\left(\frac{1}{c}+1\right);\quad \frac{v}{u(u+v+1)}=\frac{\Gamma\left(\frac{2}{c}+1\right)}{\Gamma^2\left(\frac{1}{c}+1\right)}-1. \quad (9)$$

Искомые параметры a и c из соотношений (9) приходится определять численно. Решить систему уравнений в явном виде невозможно из-за того, что в обе формулы входит гамма-функция.

В качестве альтернативного распределения $B(t)$ был выбран случай, когда $\Delta x=0$. Иными словами, длительность обработки IP-пакетов полагается постоянной величиной.

Промежуточные выводы. Предлагаемый методологический подход к выбору имитационной модели узла коммутации позволяет выявить ряд важных закономерностей поведения сети NGN при существенном росте обслуживаемого трафика. Получены соотношения, позволяющие выбрать все параметры распределений, необходимые для проведения имитационного моделирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Леваков А.К.** Приближенный анализ характеристик сети NGN при существенном росте трафика / Электросвязь. – 2011. – №12.
2. ITU-T Recommendation Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. – 2006.
3. **Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В.** Фрактальные процессы в телекоммуникациях. – М.: Радиотехника, 2003.
4. **Крылов В.В., Самохвалова С.С.** Теория телетрафика и ее приложения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
5. **Соколов А.Н.** Методы анализа задержек IP-пакетов в сети следующего поколения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – СПб: СПбГУТ, 2011.
6. **Клейнрок Л.** Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.
7. **Сифоров В.И., Башарин Г.П., Лившиц Б.С. и др.** Развитие теории телетрафика в Советском Союзе / В кн. «Модели информационных сетей и коммутационных схем». – М.: Наука, 1982.
8. **Вадзинский Р.Н.** Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: Наука, 2001.

Получено 19.03.12