

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАФИКА НА КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМО-МОДЕЛЕЙ

Л. А. Муравьева-Витковская (Санкт-Петербург)

Интенсивное развитие экономики связано с совершенствованием технологии и организации производства на базе широкого применения вычислительной техники и средств телекоммуникаций. Одной из форм повышения эффективности производства является использование компьютерных сетей (КС) для управления многопрофильными структурами, сложными энергетическими системами, гибкими производственными системами, телефонным и телеграфным оборудованием в системах связи для автоматизации измерений и в других целях. Большую роль в деловой жизни стали играть Internet и мультимедиа. В настоящее время из-за интенсивного роста числа пользователей и различных приложений в компьютерных сетях существуют десятки разновидностей трафика [1]. Это обстоятельство необходимо учитывать администратору сети для повышения эффективности использования ресурсов КС. Одним из способов распределения сетевых ресурсов является распределение в соответствии с существующими на данный момент приоритетами.

Для успешного применения КС необходимо располагать моделями и инженерными методами, позволяющими на основе данных измерений оценивать качество функционирования КС, прогнозировать характеристики их работы при изменении технических и программных средств, способов диспетчеризации. Кроме того, важной задачей является разработка методов проектирования КС с приоритетными способами диспетчеризации, обеспечивающими реализацию заданных функций при ограничении на время реакции.

В качестве моделей КС целесообразно использовать модели массового обслуживания: системы (СМО) и сети (СеМО) массового обслуживания [2]. При этом часто предполагается, что потоки заявок, поступающие в систему, являются простейшими. В случае произвольных потоков расчет средних значений характеристик обслуживания заявок обычно проводится на основе аппроксимации закона распределения интервалов времени между заявками в потоке с учетом первых двух моментов. Такой подход особенно широко используется при разработке приближенных методов расчета неэкспоненциальных СеМО [3]. Однако, как показывают исследования, если для расчета характеристик функционирования системы на уровне средних значений, в частности, среднего времени ожидания заявок в очереди, достаточно задать только два момента длительности обслуживания, то при описании интервалов времени между заявками в потоке этого оказывается недостаточно. Другими словами, на средние значения характеристик обслуживания заявок оказывают существенное влияние моменты более высокого порядка.

В случае неэкспоненциальных потоков заявок значительно усложняется аналитический расчет характеристик СМО, что предопределило использование имитационного моделирования. Для исследования СМО различных типов были разработаны имитационные модели, реализованные на языке моделирования GPSS, являющимся наиболее доступным и апробированным.

С целью выявления свойств исследуемой системы и оценки влияния параметров потока заявок и дисциплины обслуживания на характеристики функционирования системы, в частности, на среднее время ожидания, проведена серия экспериментов на разработанных имитационных моделях.

В настоящей работе приводятся результаты исследований влияния третьего момента интервалов времени между заявками во входном потоке на среднее время ожидания в одноканальных СМО следующих классов:

- с однородным потоком заявок и экспоненциальной длительностью обслуживания в приборе;
- с однородным потоком заявок и длительностью обслуживания, распределенной по произвольному закону;
- с неоднородным потоком заявок.

Рассмотрим одноканальную СМО с однородным потоком заявок, интервалы времени между которыми распределены по произвольному закону с плотностью $a(\tau) = A'(\tau)$, где $A(\tau)$ – функция распределения интервалов. Пусть длительность обслуживания распределена по экспоненциальному закону. Тогда [4] функция распределения времени ожидания определяется как

$$W(\tau) = 1 - \sigma^{-\mu(1-\sigma)\tau} \quad (\tau \geq 0),$$

а среднее время ожидания

$$w = \int_0^{\infty} \tau dW(\tau) = \sigma / \mu / (1 - \sigma),$$

где μ – интенсивность обслуживания заявок, а σ – единственный в области $0 \leq \sigma < 1$ корень уравнения $\sigma = A^*(\mu - \mu\sigma)$.

Здесь $A^*(s)$ – преобразование Лапласа плотности распределения $a(\tau)$:

$$A^*(s) = \int_0^{\infty} e^{-s\tau} a(\tau) d\tau.$$

В качестве законов распределения $a(\tau)$ интервалов времени между заявками в потоке были выбраны:

- равномерный и Эрланга для потоков с коэффициентами вариации интервалов времени между заявками $v_a < 1$;
- различные формы представления гиперэкспоненциального закона для потоков с $v_a > 1$, различающиеся значениями третьих моментов.

Для описания третьего момента интервалов времени между заявками в потоке использовался коэффициент асимметрии $\gamma = \beta^{(3)} / [\beta^{(2)}]^{3/2}$, где $\beta^{(l)}$ – центральный момент l -го порядка ($l = 2, 3, \dots$):

$$\beta^{(l)} = \int_0^{\infty} (\tau - 1/\lambda)^l dA(\tau).$$

Здесь $1/\lambda$ – средний интервал времени между заявками.

В таблице представлены некоторые результаты проведенных исследований для потоков заявок с коэффициентами вариации интервалов времени между заявками $v_a = 0,58; 2,0; 5,0$ при загрузке $\rho = \lambda/\mu$, изменяемой в пределах от 0,1 до 0,99.

Для одного и того же коэффициента вариации v_a в широких пределах изменялся коэффициент асимметрии γ , характеризующий третий момент интервалов времени между заявками в потоке. В таблице для наглядности приведены лишь крайние значения γ , при которых проводились исследования, и соответствующие им средние времена

ожидания заявок, соотнесенные к средней длительности обслуживания при различных значениях загрузки ρ системы.

Среднее время ожидания заявок [с]

v_a	γ	ρ				
		0,1	0,3	0,5	0,7	0,99
0,58	0	0,056	0,224	0,564	1,42	66,1
	300	0,013	0,152	0,494	1,36	65,8
2,0	-1,5	1,80	2,60	4,00	7,30	249
	110	0,113	0,438	1,03	2,46	199
5,0	-0,5	13,4	17,6	25,0	42,3	1299
	50	0,131	0,535	1,38	4,22	1219

Анализ полученных результатов свидетельствует о существенном влиянии третьего момента интервалов времени между заявками в потоке, задаваемого в виде коэффициента асимметрии γ , на среднее время ожидания заявок в системе, причем с увеличением коэффициента асимметрии среднее время ожидания заявок уменьшается. Эта зависимость особенно сильно проявляется при малых нагрузках системы и уменьшается с ее увеличением. Так, при значениях загрузки $\rho = 0,1$ времена ожидания при разных γ различаются в несколько раз, а при $\rho = 0,99$ эта разница составляет несколько процентов. В области значений загрузки от 0,3 до 0,7, наиболее характерной для компьютерных сетей, эта разница достаточно значительна и составляет десятки и сотни процентов, причем растет с увеличением коэффициента вариации v_a интервалов времени между заявками в потоке.

Для СМО с произвольно распределенной длительностью обслуживания и с неоднородным неэкспоненциальным потоком заявок исследование показало, что в отличие от систем с пуассоновскими потоками, средние времена ожидания заявок разных классов в случае неоднородных нагрузок при беспriorитетном обслуживании оказываются различными. Кроме того, введение относительных или абсолютных проритетов не гарантирует меньшего среднего времени ожидания высокоприоритетных классов заявок по сравнению с низкоприоритетными классами в случае, когда суммарная нагрузка системы меньше 0,3.

Исследования на имитационных моделях проводились в широком диапазоне изменения параметров и дисциплин обслуживания, что позволило определить области значений параметров, в частности коэффициента вариации v_a , в которых приближенные методы, разрабатываемые в предположении о пуассоновском характере потоков заявок, позволяют получить приемлемые для инженерной практики результаты. Так, погрешность результатов расчета приближенным методом [5], как показало имитационное моделирование, в большинстве случаев не превышает 20–30% для среднего времени ожидания в области нагрузок от 0,4 до 0,6, где влияние характера потока еще весьма существенно. С увеличением загрузки точность расчетов повышается, и в области нагрузок выше 0,7 погрешность не превышает 10%, так как влияние потока в этой области нагрузок практически учитывается двумя моментами распределения интервалов времени между заявками.

Таким образом, выполненные исследования позволили выявить существенное влияние третьего момента интервалов времени между поступающими в систему заявками на качество ее функционирования, которое необходимо учитывать особенно в тех случаях, когда система работает в области малых нагрузок или характеризуется боль-

шими значениями коэффициента вариации интервалов времени между заявками, поступающими в систему. Полученные результаты можно использовать при администрировании компьютерной сети для повышения эффективности функционирования при увеличении объема сетевого трафика, вызванного внедрением новых информационных технологий, использованием различных приложений: Интернет, IP-телефонии (VoIP), видеоконференц-связи, планирования ресурсов предприятия (ERP), управления взаимоотношениями с заказчиками (CRM) и др.

Литература

1. **Якубович Д.** Оптимизация сетевого трафика // Сети и системы связи, 2001. № 10. С. 92–97.
2. **Алиев Т. И., Кругликов В. К., Муравьева Л. А.** Анализ сетей передачи данных с неоднородными сообщениями // Изв. вузов СССР. Приборостроение, 1989. № 1. С. 33–39.
3. **Алиев Т. И., Муравьева Л. А.** Расчет характеристик вычислительных систем на основе разомкнутых сетевых моделей с приоритетами // Архитектура и проектирование вычислительных систем. Автоматизация проектирования. Рига: Риж. политехн. ин-т, 1985. С. 97–109.
4. **Клейнрок Л.** Вычислительные системы с очередями. М.: Мир, 1979. 600 с.
5. **Алиев Т. И., Гореславко И. Э., Муравьева Л. А.** Оценка характеристик обслуживания заявок в приоритетных системах с произвольными потоками // Распределенные автоматизированные системы массового обслуживания. Тезисы докладов 5-й Всесоюзной школы-семинара. М.: ИПУ АН СССР, 1988. С. 269–270.