УДК 621.3

А. В. ХОЛОДКОВА, В. С. КРИКУН

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Введение

При анализе современных телекоммуникационных систем, в их цифровом воплощении и при пакетном характере обмена, методы принятия решений и управления в сетях допускают значительную долю детерминизма [1 – 4]. Детерминистский подход во многом себя оправдывает и в стохастических условиях как подход, ориентированный на решение задач по средним значениям параметров. Однако с увеличением нагрузки на сетях и с увеличением требований по качеству все больше становится очевидной необходимость вероятностного подхода, когда алгоритмы управления, принимаемые решения и используемые процедуры ориентированы не на конкретное решение по тем или иным ситуациям, а на класс ситуаций.

Одним из примеров детерминистского подхода является выбор показателя качества обслуживания QoS (Quality of Service), гарантирующего следующие параметры: скорость доставки информации, высокую надежность и достоверность информации.

Аналитически данный показатель может быть интерпретирован как показатель пригодности [1]:

$$K_{\text{приг}} : (\forall_i)(x_i \in D \mid D_i \to x_i^{\text{доп}}, i = 1,2,3,...n), \tag{1}$$

где x_i – частные показатели; D – радиус области адекватности.

Т.е. j-я система считается пригодной, если значения всех i-х частных показателей $\vec{x}_0 = (x_1, x_2, ..., x_n)^T$ этой системы принадлежат области адекватности, а радиус области адекватности D соответствует допустимым значениям всех частных показателей x_i.

Аналогично детерминированному подходу (1) может быть сформулирован вероятностный показатель:

$$K_{\text{приг}} : P(\vec{x}) \geq P_{\text{треб}}(\vec{x}), \tag{2}$$

где $P(\vec{x})$ – вероятность достижения уровня показателей $\vec{x}$.

Очевидно использован принцип гарантированного результата и показатель (2) также не может быть принят, поскольку тот или иной уровень вероятности не гарантирует заданных требований QoS. В данном случае целесообразно подойти к более общим подходам, позволяющим учитывать характер взаимодействия различных информационных потоков.

Рассмотрим случай использования стохастического критерия при децентрализованных стратегиях. Исходя из смысла информационного обмена, можно утверждать, что выполнение каждой заявки на связь x_i не находится в антагонистическом конфликте с выполнением x_j заявки. В данном случае имеет место непротивоположность (не анталогичность интересов при выполнении принципа гарантированного результата) [5]. При наличии внешнего мешающего фактора у стратегии, при выполнении каждой из заявок могут быть централизованными или децентрализованными, а каждая из них может реализовываться при наличии полной информации о системе в целом (в чистых стратегиях) или при ограниченной, вероятностной информации (в смешанных стратегиях).

В данном случае действия по выполнению каждой из заявок x_i можно интерпретировать в терминах теории игр и определить стратегию каждого из игроков как

$$\gamma_i = (x_i, y_1, y_2, ..., y_n), \; i = 1,2,...n, \tag{3}$$

где y_i – индикатор неопределенности по отношению i-го игрока.

Информацию i-го игрока о поведении остальных обозначим множеством $M(\bar{x}_i)$ ситуаций $\vec{x}_i = (x_1, x_2, ..., x_i)'$. С учетом множества $M(\bar{x}_i)$ принцип наилучшего гарантированного результата находится по критерию

$$\sup_{x \in X_i} \inf_{x \in M(\bar{x})} f_i(x_1, x_2, ..., x_n). \tag{4}$$

В случае централизованных стратегий система приобретает иерархическую структуру.

Допустим центр выбирает стратегию

$$\gamma_0 = (u_1; u_2; ...; u_n)', u \in U, \tag{5}$$

где u_i – управление центра воздействия на i-го игрока (выделяются ресурсы, устанавливаются приоритеты и др.).

По аналогии с выражением (4) критерием эффективности центра будет функционал

$$\Phi_0(x, u) = f_0(x_1, x_2, ..., x_n, u_i). \tag{6}$$

Очевидно в данном случае задача (6) может быть решена как задача с частными критериями:

$$\Phi_i = \sum_{i=1}^{n} w_i x_i, \tag{7}$$

где w_i – весовой коэффициент (например приоритет) i-го игрока. Если же речь идет о распределении ресурса $\omega \in \Omega$, то (7) представляется в виде

$$\Phi_i = \min_i \frac{1}{\omega_i} \sum_{i=1}^{n} x_i. \tag{8}$$

Решение поставленных игровых задач предполагает наличие априорных данных о функциях f_i, ресурсах Ω, априорных данных о параметрах и видах функций распределения вероятностей каждого из трафиков, других параметрах.

Поэтому выражения (4), (6) и другие удается решить лишь в частных случаях: для одного участника при игре с природой – в известных или случайно заданных условиях, для двух участников – при наличии априорной информации и др.

В таких сложных условиях решение задачи ищется с привлечением другого более доступного, хотя и менее точного и общего метода. К числу таких можно отнести задачу нахождения таких параметров эквивалентного трафику случайного процесса $\xi(t)$, который обеспечит необходимое превышение заданного порога H.

Будем считать, что $\xi(t)$ – случайный процесс, характеризующий изменение качества предоставляемых услуг. В соответствии с критерием пригодности $K_{приг}$ уровень обслуживания SLA (Service Level Agreement, SLA) гарантируется и надежность при этом

$$H \geq H_{треб}. \tag{9}$$

Значение $H_{треб}$ обычно задается процентом времени, в течение которого выполняются требования по уровню обслуживания. В зависимости от систем передачи и передаваемого контента $H_{треб}$ может приобретать величины [99,9 – 99,999] и даже больше. Иными словами: для обеспечения гарантированного качества случайный процесс $\xi(t)$ должен находиться над уровнем $H_{треб}$ на протяжении соответствующего процента времени. С позиции теории выбросов [6] эта задача формируется следующим образом: найти такие параметры случайного процесса $\xi(t)$, чтобы его выбросы над уровнем $H_{треб}$ составляли нужную длительность (возможно, выражаемую в процентах).

Считая $d(t)$ – функцию плотности распределения, определяющую вероятность того, что хотя бы одна точка пересечения выброса попадет на интервал $(t, t+\Delta t)$, можно получить [7] функцию распределения длительности выброса τ над уровнем $H_{треб}$:

$$Q(\tau, H_{треб}) = \exp\{-\int_0^{\tau} d(t)dt\}. \tag{10}$$

Очевидно, что применительно к стационарным процессам $\xi(t)$, $d(t) = \mu = const$ и

$$Q(\tau, H_{треб}) = \exp\{-\mu\tau\},\ \tau >> \tau_k, \tag{11}$$

где τ_k – интервал корреляции случайного процесса $\xi(t)$.

Условие $\tau >> \tau_k$ является очевидным, ибо протяженность выброса велика при $H_{треб} = 99{,}9$ и наверняка выполняется. Соответственно с (11) плотность распределения

$$P(\tau, H_{треб}) = -\frac{d}{d\tau}Q(\tau, H_{треб}) = \mu e^{-\mu\tau}. \tag{12}$$

Значение μ может быть получено с учетом заданной величины времени наблюдения $T_{набл} = \tau \cdot H_{треб}$.

Результаты математического моделирования выбросов случайного процесса

Было проведено математическое моделирование случайного процесса, заданного уравнением состояния

$$\frac{dx(t)}{dt} = F(t)x(t) + G(t)n(t), \tag{13}$$

где $x(t)$ – случайный процесс; $F(t), G(t)$ – матрицы состояния и уровня моделирующего процесса $x(t)$; $n(t)$ – белый гауссовский шум.

В результате была получена случайная последовательность на выходе формирующего фильтра (ФФ) (см. рис. 1). Для полученной случайной последовательности был проведен анализ зависимоти интенсивности сигнала при увеличении порогового уровня. Исходные данные имели следующие значения:

– интервал временной дискретизации – $T=1$;

– интервал корреляции случайного процесса – $T_к=100$;

– дисперсия (мощность) сигнала на выходе ФФ – $D=10$.

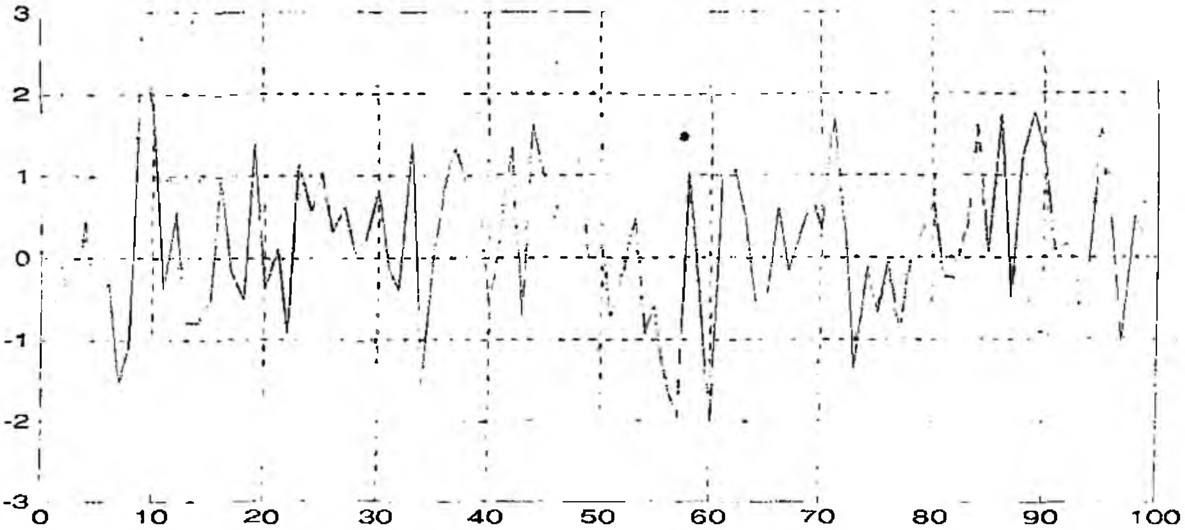

Рис. 1

Интенсивность m_{cp} определяется следующим выражением:

$$m_{cp} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} m_i, \qquad (14)$$

где m_i – среднее количество точек пересечения.

Данный поток обладает свойством стационарности, так как вероятностные характеристики таких потоков не зависят от времени. В частности, интенсивность стационарного потока постоянна и не зависит от времени. Поток требований называется стационарным, если вероятность поступления числа $s = N$ событий x_i в течение определенного отрезка времени τ, не зависит от начала отсчета времени, а зависит от длины этого отрезка. Иными словами: для стационарного потока x_i вероятность того, что за промежуток $(0;t)$ наступит ровно N событий, равна вероятности поступления N событий за промежуток $(\alpha;\alpha+t)$, где $\alpha > 0$, т. е. $P[X(t)=n] = P[X(t+\alpha) - X(\alpha) = n]$.

Данный поток обладает свойством отсутствия последействия, так как число событий, поступивших в систему после произвольного момента времени, не зависит от числа ранее поступивших требований и моментов их поступления. У таких потоков для любых двух непересекающихся участков времени τ_1 и τ_2 число событий, попадающих на один из них, не зависит от того, сколько событий попало на другой. Или, что то же самое: вероятность появления очередного случайного события не зависит от появления предыдущих.

Еще одно свойство присуще данному потоку: ординарность. Так как события в нем появляются поодиночке, а не группами. Поток сообщений в системе связи – ординарен, а поток пакетов, которыми передается это сообщение – не ординарен.

Следовательно, можно сделать вывод, что данный поток является простейшим или пуассоновским потоком, обладающий одновременно свойствами стационарности, ординарности и отсутствием последействия.

Далее с помощью машинного эксперимента провели исследование изменения интенсивности сигнала с увеличением порогового уровня. И получили такие результаты: с увеличением порогового уровня интенсивность сигнала уменьшается. Например: на уровне 0, средняя интенсивность сигнала равна 2,46. На уровне 0,5 интенсивность сигнала равна 1,91, на уровне 1 – 1,29, на уровне 1,5 – 0,76. Следовательно, с увеличением порогового уровня уменьшается также количество точек пересечения данного уровня.

Выводы

Предложена модель управления качеством телекоммуникационной системы, которая позволяет оценить вероятность гарантированного качества обслуживания. В результате проведенного анализа предложенной модели можно сделать вывод, что при увеличении порогового уровня будет увеличиваться надежность обеспечения качества обслуживания.

Список литературы: 1. *Математичні* основи теорії телекомунікаційних систем / За заг. ред. В. В. Поповського Х.: Компанія Сміт. 2006. 564 с. 2. *Дольф Р., Бишоп Р.* Современные системы управления: М.ЛБЗ, 2004. 832 с. 3. *Вишневский В. М., и др.* Широкополосные беспроводные сети передачи информации. М.: Техносфера. 2005. 592 с. 4. *Грошаков Ю. А., Гошенацкий И. А., Шевцов В. А.* Оптимальная обработка радиосигналов большими системами. М.: Экотрендз, 2004. 260с. 5. *Гермейер Ю. Б.* Игра с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. 327 с. 6. *Фомин Я. А.* Теория выбросов случайных процессов. М.: Связь. 1980. 216с.7. *Тихонов В. И.* Выбросы случайных процессов. М.: Наука. 1970. 392 с.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 07.10.2008