УДК 621.396

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКОВ ТРЕБОВАНИЙ В МНОГОСПУТНИКОВЫХ СЕТЕВЫХ СИСТЕМАХ

д.т.н. С.В. Козелков, В.Ф. Столбов

Предлагается методика оценивания параметров потоков требований для адаптивного управления информационным обменом в многоспутниковых сетевых системах (МСС).

Управление МСС в реальном масштабе времени и аппроксимация процессов сетевого уровня диффузионной моделью требуют разработки рекуррентных процедур оценивания параметров потоков требований, как для стационарных процессов, так и для процессов с изменяющимися во времени параметрами.

Сформулируем задачу идентификации параметров модели следующим образом. Пусть $\mathbf{Z_n = (Z_{1n}, \ldots, Z_{kn})}$ – вектор наблюдаемых параметров; $\mathbf{y_n = (y_{1n}, \ldots, y_{kn})}$ – вектор оцениваемых параметров; $\mathbf{p_o\ (y_n)}$ – априорная плотность вероятности $\mathbf{y}$; $\boldsymbol{\omega}\ \mathbf{(Z_n / y_n)}$ – условная плотность вероятности $\mathbf{Z_n}$;

$$\mathbf{P_n\left(y / Z_n \right) = \omega\left(Z_n / y_n \right) p_0(y_n) \Big/ \int\limits_{Y_n} \omega\left(Z_n / y_n \right) p_0(y_n) dy_n};\quad \mathbf{q_n\ (C_n,\ \hat{\Theta}_n)}\ -$$

функция потерь от стоимости $\mathbf{n}$ наблюдений и некоторой оценки. Далее, пусть $\boldsymbol{\omega}\mathbf{(Z_n / y_n)} = \prod\limits_{k=1}^{n} \boldsymbol{\omega}\mathbf{(Z_k / y_k)},\ n \geq 1$ и существует статистика $\mathbf{T_n\ (Z_n, T_{n-1})}$ такая, что $\mathbf{P_n\ (y / Z_n) = P_n\ (y / T_n)}$ и $\mathbf{M\ [\ q_n\ (y - y_n)\ ]} < \infty$, т.е. $\mathbf{T_n}$ – достаточная статистика.

Оптимальное правило получения оценки параметра дискретного распределения и окончания наблюдения определяется методом минимизации среднего риска. Известно [1], что минимизация среднего риска для последовательных процедур оценивания связана с определением текущего наименьшего апостериорного риска. При этом для каждого наблюдения находится наименьший апостериорный риск и сравнивается с риском на предыдущем шаге. Если риск на последующем шаге больше, чем на предыдущем, то наблюдение процесса заканчивается и оценка поступает в обработку для определения параметров диффузионной модели. Функция наименьшего риска при $\boldsymbol{\nu \geq 2}$ имеет вид

$$R_n^N(T_n) = \int\limits_Y \left\{ \sum_{\nu=1}^{N-n} \left[r_{y_n}^{(\nu)}(T_n, N) + C_{(n+\nu)} \right] P_{y_n}^{(n)}(T_n, N) \right\} P_n(y/T_n)\, dy,$$

где $$r_{y_n}^{\nu}(T_n, N) = \int\limits_{Z_{n+1}} r_{y_{n+1}}^{(\nu-1)}(T_{n+1}, N)\, \omega(Z_{n+1}/y_{n+1})\, dZ_{n+1};$$

$$P_{y_n}^{\nu}(T_n, N) = \int\limits_{Z_{n+1}} P_{y_{n+1}}^{(\nu-1)}(T_{n+1}, N)\, \omega(Z_{n+1}/y_{n+1})\, dZ_{n+1};$$

$$r_{y_n}^{(1)}(T_n, N) = \int\limits_{Z_{n+1}} q_{n+1}(y - y_{n+1}(T_{n+1}, N))\, \omega(Z_{n+1}/y_{n+1})\, dZ_{n+1};$$

$$P_{y_n}^{(1)}(T_n, N) = \int\limits_{Z_{n+1}} \omega(Z_{n+1}/y_{n+1})\, dZ_{n+1};$$

$$R_n^0(T_n) = \inf_{(y-y_n)\epsilon R} {}_0\, R_n^n(y, Z_n) = \inf_{(y-y_n)\epsilon R} {}_0 \int\limits_Y q_{n+1}(y - y_n(T_n)) P_n(y/T_n) dy + C(n);$$

$$y_n^0 = M(y_n / Z_n) = \int y_n P_n(y/T_n) dy.$$

При этом требуется рассмотреть особенности оценивания параметров потоков требований в наиболее граничных условиях [2]: при переполнении буфера, межконцевом управлении потоками, межузловом оконном управлении для виртуальных каналов.

Переполнение буфера приводит к перегрузкам в сети, что проявляется в возникновении тупиковых ситуаций, когда пакеты из некоторого узла не могут дальше продвигаться по сети из-за отсутствия свободного места в буферах соседних узлов. Однако, ввиду снижения стоимости буферов, их объем должен обеспечивать отсутствие переполнения. Поэтому основным фактором, определяющим управление потоками, является задержка пакета в сети.

Для управления потоками между абонентами сети наиболее часто используют оконные методы, которые заключаются в установлении верхнего предела числа единиц данных, которые могут быть переданы до получения подтверждения об их доставке.

Верхний предел (целое положительное число) называется размером окна или просто окном. Предполагаем, что получатель уведомляет источник информации о получении единицы данных путем отправления специального сообщения, называемого подтверждением или квитанцией. После получения подтверждения источник может передать следующую единицу данных. Единицами данных в окне могут быть, например, сообщения, пакеты или байты.

Основная идея оконной стратегии состоит в том, чтобы уменьшить интенсивность входного трафика при замедлении возвращения подтверждений. Последнее может быть связано как с возникновением перегрузок в сети, так и с искусственной задержкой отправления подтверждения получателем, например, с целью устранения переполнения буферов.

Наиболее распространёнными методами оконного управления потоками являются межконцевое оконное управление (или оконное управление от конца до конца) и оконное управление между каждой парой последовательных узлов вдоль виртуальной цепи.

В простейшем случае межконцевого управления потоками размер окна выбирается равным числу **W** пакетов информации, которое может быть передано без получения подтверждения.

Достоинством оконных методов управления потоками является быстрая реакция на перезагрузки – не более чем за время передачи **W** пакетов в сочетании с малыми дополнительными нагрузками.

Для достижения хорошего соотношения между задержкой и пропускной способностью сети при межконцевом оконном управлении потоками необходимо реализовать динамический выбор размеров окна. При этом в условиях малой нагрузки окна должны быть большими и позволять вести беспрепятственную передачу, а в условиях большой загрузки окна должны быть уменьшены для соблюдения справедливости и минимизации задержки.

В случае межузлового оконного управления имеется отдельное окно для каждой пары смежных узлов в виртуальном канале. При этом каждый узел может избежать накопления большого числа пакетов в своей памяти путем уменьшения скорости, с которой он возвращает подтверждения передающему узлу, т.е. узел-приемник, имеющий буфер объемом **V**, возвращает узлу-передатчику подтверждение только тогда, когда в его **W**-пакетном буфере появится свободное место для записи хотя бы еще одного пакета.

Межузловое оконное управление обладает одной положительной чертой по сравнению с межконцевым управлением. Объем буферной памяти, который необходим в каждом узле, при узловом оконном управлении может быть намного меньше, чем в случае межконцевого оконного управления.

Разновидностью оконного управления потоками является изаритмический метод, в котором имеется только одно всеобщее окно для всей сети. Идея состоит в том, что для ограничения суммарного числа пакетов в сети нужно иметь фиксированное число разрешений, циркулирующих по сети. Пакет входит в сеть только после того, как он захватил одно из этих разрешений. Попав в свой узел-получатель, пакет отпускает разрешение. Таким образом, суммарное число пакетов в сети ограничено числом разрешений. При этом вопросы справедливости и перегрузки внутри сети существенно зависят от того, как распределены по сети разрешения, не имеющие адресов. В настоящее время не известен ни один алгоритм управления местоположением разрешений и это является главной трудностью на пути практической реализации этой схемы.

Рассмотрим один из подходов к межузловому управлению нагрузкой с использованием метода диффузионной аппроксимации.

Пусть для каждой компоненты $\mathbf{y_i}$ **(t)** вектора состояния узлов сети **y**, характеризующего длину очередей в каждом узле сети, определена величина пор, являющаяся оптимальной в некотором смысле или максимально допустимой длиной очереди в узле. Тогда диффузионный процесс **y(t)** будет удовлетворять соотношению [2]:

$$\frac{d\omega(y,t)}{dt}=\frac{d^T}{dy}\left\{A(y,t)\,w(y,t)+\tfrac{1}{2}\,t_r\left[\frac{d\,d^T}{dy\,dy}B(y,t)\,B^T(y,t)\right]\omega(y,t)\right\},$$

где **ω (y, t)** – плотность распределения процесса; **A (y, t)** – вектор сноса; **B (y, t)** – вектор диффузии и определена плотность вероятности процесса на момент времени $\mathbf{t_o}$.

Процесс $\mathbf{y_i}$ **(t)** имеет два состояния с номерами 1 и 2 соответственно, причем процесс находится в состоянии с номером 1, если $y_i(t)\le y_{пор}$ и в состоянии с номером 2 в противном случае. Тогда плотность вероятности компоненты $\mathbf{y_i}$ данного процесса (далее просто **y**), называемого процессом переменной структуры [3], определяется системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dw^{(1)}(y,t)}{dt}=(y-y_{пор})\frac{d}{dy}P^{(1)}(y,t)-P^{(1)}(y,t)\,\delta\,(y-y_{пор})+P^{(r)}(y_{пор},t)q_{r1}(y,t/y_{пор});$$

$$P^{(1)}(y,t)=a^{(1)}(y,t)\,\omega^{(1)}(y,t)-1/2\,\frac{d}{dy}\,в^{(1)}(y,t)\,\omega^{(1)}(y,t);$$

$$P^{(r)}(y,t)=a^{(r)}(y,t)\,\omega^{(r)}(y,t)-1/2\,\frac{d}{dy}\,в^{(r)}(y,t\,/\,y_{пор}),$$

где $q_{r1}(y,t/y_{пор})$ – функция восстановления [4], причем при $l = 1$ $r = 2$, и наоборот, при $l = 2$ $r = 1$.

Для гауссовой плотности вероятности справедливо соотношение

$$dy^{(1)}(t)\,/\,dt = a^{(1)}(y,t) + n(t),$$

где $l = 1$ при $y < y_{пор}$, **n(t)** – гауссов белый шум с математическим ожиданием, равным нулю, и интенсивностью $\mathbf{N_o}$.

Для управления в узле используется наиболее подходящий для динамических сетей критерий оптимальности [4]:

$$Jo=l_1(y,tk)+\int_{t_0}^{t_k} l_2(y,x,t)\,dt,$$

где l_1 и l_2 – некоторые функции.

Тогда оптимальное управляющее воздействие **x(t)** может быть получено путем решения обобщенного уравнения Беллмана [2] с соответствующими ограничениями на управляющее воздействие и состояние. Это уравнение может быть конкретизировано для ситуации управления входным потоком в отдельно взятом узле. Для этого необходимо положить:

$$A^{(1)}(y,x,t) \equiv d^{(1)}(t)\,y^{(1)}(t)\,x^{(1)} + n(t);\quad A^{(2)}(y,x,t) \equiv d^{(2)}(t)\,y^{(2)}(t)\,x^{(2)} + n(t);$$

$$B^{(1)}(y,t) \equiv h^{(1)}No;\quad B^{(2)}(y,t) \equiv h^{(2)}No;$$

$$x^{(r)}(t) = \begin{cases} 0, & \text{при}\quad r = 1; \\ 0 < x(t) \le y^{(2)}(t) - y_{пор}, & \text{при}\quad r = 2. \end{cases}$$

В случае, если:

$$l_1^{(r)} = (y^{(r)}(t_k) - y_{пор})^2 q^{(r)};\qquad l_2^{(r)} = l^{(r)}(y^{(r)}(t_k) - y_{пор})^2 + x^2(t)/k,$$

где $l^{(r)}$ и $q^{(r)}$ – константы, уравнение Беллмана примет вид

$$-\tilde{S}^{(2)}(y,t) = \min_{x(t)\in X}\Big\{ l^{(r)}\Big[y^{(r)}(t) - y_{пор}\Big]^2 + x^2(t)/k + \Big[d^2(t)y^2(t) + x^2(t)\Big]\times$$

$$\times\left[\frac{d}{dy}S^{(2)}(y,t)\right] + h^{(1)}N_0\frac{d^2}{dy^2}S^{(2)}(y,t) - \Big[d^2(t)y^{(2)}(t) + x^{(2)}(t)S^{(2)}(y,t) +$$

$$+\frac{1}{2}h^{(2)}N_0\frac{d}{dy}S^{(2)}(y,t)\Big|\Big[y(t) - y_{пор}\Big]\delta(t) + \Big[y_{пор} + x^{(2)}(t)\Big]\delta\Big[y_{пор} - y(t)\Big].$$

Решения этого уравнения может быть получено численными методами [5].

Таким образом, высокие показатели качества функционирования сети обеспечиваются реализацией достаточно сложных адаптивных методов управления информационными потоками, предполагающих наличие в каждом узле сети специализированного управляющего процессора и выделение сетевых ресурсов на обмен служебной информацией.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Тартаковский А.Г. Последовательные методы в теории информационных систем. – М.: Радио и связь, – 1991. – 280 с.*
2. *Иванов М.А., Козелков С.В. Обоснование рациональной оценки возможности повышения эффективности высокоскоростной передачи информации. – М., – 1989. – 8с. – Дел. В ЦИ ВТИ МО СССР, вып. 10, № 4239, В 1385.*
3. *Уолренд Дж. Введение в теорию сетей массового обслуживания: Пер. с англ. – М.: Мир, 1993 – 336 с.*
4. *Вычислительные сети и сетевые протоколы /Дэвис Д., Барбер Д., Прайс У., Соломонидес С. – М.: Мир, 1982. – 562 с.*
5. *Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. – М.: Мир, – 1989. – 544 с.*

Поступила 2.08.2002

***КОЗЕЛКОВ Сергей Викторович**, доктор техн. наук, старший научный сотрудник, зам. нач. кафедры Национальной академии обороны. В 1982 году окончил ХВВКИУ. Область научных интересов – радиотехнические системы и комплексы космического назначения.*

СТОЛБОВ Владимир Фридрихович*, в 1982 году окончил ХВВКИУ. Область научных интересов – сетевые спутниковые телекоммуникационные системы.*