УДК 621.396

АБДЕЛЬХАМИД ЗУГБАР, Г. В. ЗВЯГОЛЬСКА, С. Н. СЕЛЕВКО

МЕТОДЫ АДАПТАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ ПРОФИЛИРОВАНИЯ ТРАФИКА

Введение Необходимость качественного решения задач управления (TMN, TINA), минимизации времени реакции контуров управления часто связано с проблемой преодоления априорной неопределенности в отношении тех или иных параметров. Многообразие ситуаций управления трафиком, при котором возникают конкретные задачи управления вызовами, шлюзами и др., требует применения адаптивных процедур. Для обеспечения таких процедур в технологии TMN предусмотрены соответствующие устройства MD (Mediation Devise), входящие в систему поддержки операций (OSS – operations Support System). Характерно, что в самой концепции управления TMN, TINA механизм обмена информацией между сетевыми элементами (NE – Network Element) и внешней средой не определен, оговариваются лишь общие принципы взаимодействия. Существование же Q – адаптеров (Q – Adapters, QA) организует связь с подсистемой TMN тех NE, которые не поддерживают стандартные механизмы взаимодействия внутри TMN, то есть они задачи технологии управления и адаптации самого управления не решают. Использование же процедур «трафик-инжиниринг» (TE – Traffic Engineering) с использованием частных критериев позволяет несколько улучшить обработку трафика, хотя наталкивается на новую проблему неустойчивости типа «биения маршрутов» [1]. Рассмотрим задачу адаптивного синтеза управления с использованием MD с позиций достаточно общего критерия – минимума среднего квадрата ошибки (МСКО).

Постановка задачи Задачи управления вызовами, шлюзами, очередями и др. основываются на том, что необходимо знать состояние $\hat{x}(t)$ тех или иных NE. В этом случае задача управления принимает вид [2–3]:

$$u(t) = D_x(t) \cdot \hat{x}(t), \tag{1}$$

где $D_x(t)$ – в общем случае матричный оператор, переводящий систему $S(t)$ из состояния $x_0(t)$ в состояние $x_k(t)$, удовлетворяющее соответствующему критерию на участке $\Delta t = t_k - t_0$. При наличии априорных данных задача (1) сводится к нахождению оценки $\hat{x}(t)$. Матричный же оператор $D_x(t)$ в линейном случае является детерминированным [3, 4]. Однако на практике такая параметризованная ситуация встречается редко. Обычно как состояние $x(t)$, так и наблюдение этого состояния $y(t)$ сопровождаются наличием тех или иных параметров неопределенности $\theta(t)$. Уравнение состояния и наблюдения при этом соответственно приобретает вид:

$$dx(t)/dt = F(\theta,t)x(t) + G\xi(t), \tag{2}$$

$$y(t) = H(\theta,t)x(t) + v(t),$$

где $F(\theta,t)$, $H(\theta,t)$ – матрицы состояния и наблюдения, $\xi(t)$ и $v(t)$ – взаимонезависимые белые гауссовы шумы, называемые шумами генерации и наблюдения со спектральными плотностями мощностей N_ξ и N_v, G – масштабирующий матричный коэффициент.

Параметрами $\theta(t)$ могут быть: параметры состояния системы, интервалы корреляции состояний, параметры распределения вероятностей, времена запаздываний в контуре управления $t_3(t)$, параметры действующих помех и др.

Решение задачи При наличии неизвестного (мешающего) параметра $\theta(t)$ возможны два основных метода решения. Первый основан на том, что $\theta(t)$ включается в число оцениваемых параметров:

$$\hat{\bar{x}}_p = [\vec{x}(t); \theta(t)]. \tag{3}$$

Оценка такого расширенного вектора $\hat{\bar{x}}_p$ требует реализации нелинейного фильтра и соответственно нелинейного алгоритма управления [3,4]

$$u(t) = D_x(\hat{\theta}, \hat{x}(t), t). \tag{4}$$

Процедуры нахождения оценок (3) и управления (4) реализуются при использовании нелинейных стохастических дифференциальных уравнений в частных производных [2, 3]. Точные решения таких уравнений, как правило, получить не удается, а линеаризация этих уравнений связана с ошибками, масштаб которых трудно спрогнозировать.

Второй путь основывается на использовании теоремы о разделении, позволяющей получить адаптивный фильтр в форме параллельной реализации: отдельно оценки $\hat{x}$, $\hat{\theta}$ и управления $u(t)$ в виде детерминированной процедуры (рис. 1). Оценка состояния в этом случае приобретает стандартный вид:

$$\hat{x}(t) = \int_S \hat{x}(\theta, t) P(\theta / \hat{x}) d\theta, \tag{5}$$

где S – область определения для $\hat{x}(t)$.

Апостериорная дисперсия оценки (5) выражается формулой

$$V(t) = \int_S \{V(\theta, t) + [\hat{x}(t) - \hat{x}(\theta, t)][\hat{x}(t) - \hat{x}(\theta, t)]^T\} P(\theta / \hat{y}) d\theta. \tag{6}$$

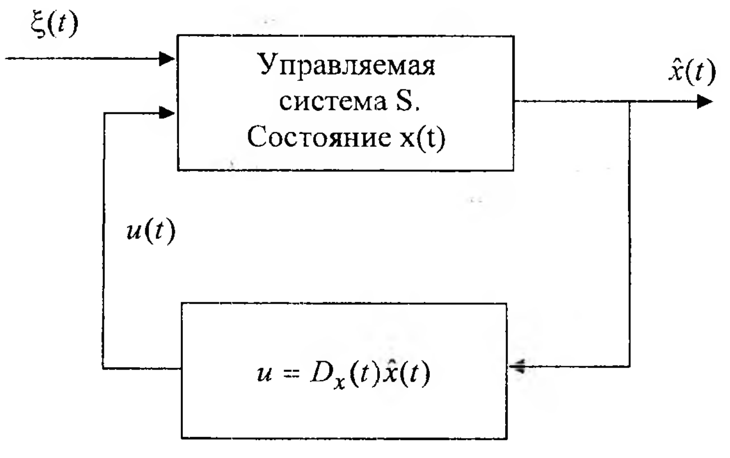

Рис. 1

Условная оценка $\hat{x}(\theta, t)$ и апостериорная дисперсия условной оценки $V(\theta, t)$ находятся с использованием любой оптимальной процедуры по результатам измеренного значения $\hat{y}(t)$ в фиксированный момент времени $t \in [t_0, t]$. Такой процедурой может быть фильтр Калмана [3]:

$$d\hat{x}(t) / dt = F(\theta, t)\hat{x}(t) + V(\theta, t) H^T(\theta, t) N_v^{-1}(t)[\hat{y}(t) - H(\theta, t)\hat{x}(\theta, t)], \tag{7}$$

$$dV(\theta, t) / dt = F(\theta, t) V(\theta, t) + V(\theta, t) F^T(\theta, t) - V(\theta, t) H^T(\theta, t) N_v^{-1} H(\theta, t) V(\theta, t) + G N_\xi G^T. \tag{8}$$

Апостериорная плотность $P(\theta / \hat{y})$ при наличии результатов наблюдения находится из соотношения:

$$P(\theta / \hat{y}) = P(\hat{y} / \theta)P(\theta) / \int_S P(\hat{y} / \theta)P(\theta)d\theta\,, \tag{9}$$

где $P(\hat{y} / \theta)$ – условная по θ плотность распределения наблюдений, которая находится в момент времени $t \in [t_0, t]$ с учетом $\hat{y} = H(\theta, t)\hat{x}(\theta, t)$. Плотность распределения $P(\hat{y} / \theta)$ позволяет получить оценку $\hat{\theta}(\hat{z})$ на основании выборочной статистики $\hat{y}(t)$.

Практическое использование полученных результатов Учитывая то, что неизвестные параметры сетевых элементов NE для наблюдения представляют собою случайные величины, в установившемся состоянии фильтра при $t \geq \tau_{кор}$, где $\tau_{кор}$ – интервал корреляции для этих величин, получаемая оценка $\hat{\theta}(\hat{z})$ сходится к истинному значению с нулевой дисперсией [2].

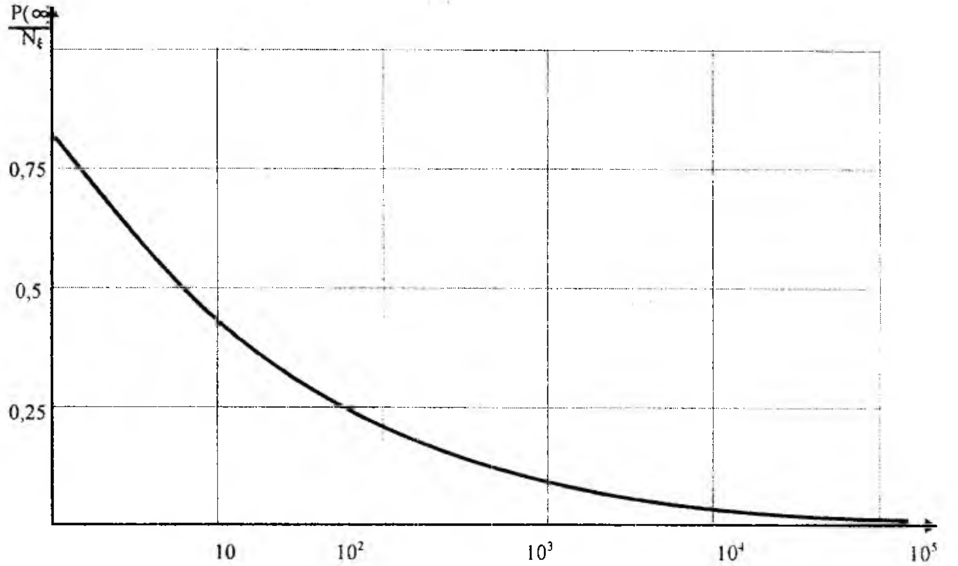

Рис. 2

В этом случае удается достигнуть максимальной точности оценки процесса $\hat{x}(t)$ с относительной погрешностью, получаемой из формулы (8) при $dV(\theta, t) / dt \to 0$:

$$\frac{V(\infty)}{N_\xi} = 2 / (1 + \sqrt{1 + h^2}\,), \tag{10}$$

где $h^2 = 2N_\xi / \alpha N_\nu$ – отношение уровней оцениваемого процесса и шума в полосе наблюдения этого полезного сигнала $\alpha = \tau_{кор}^{-1}$. График зависимости (10) представлен на рис. 2. Очевидно, что апостериорная дисперсия ошибки оценки (8) при $V(\infty)$ устремляется к нулю при увеличении отношения сигнал/шум. Вместе с тем представляет интерес исследование точности получаемых оценок при наличии тех или иных погрешностей оцениваемых параметров $\hat{\theta}$.

Уровни априорной неопределенности в исходных данных (1) и (2) могут приобретать различную величину. Так, неопределенность может быть сосредоточена в любом из матричных коэффициентов F, G, H или во всех сразу. Могут быть не заданными значения спектральных плотностей мощностей N_ξ, N_ν. Уравнения (1), (2) при этом приобретают вид:

$$\begin{cases} dx(t) / dt = -\theta_1 x(t) + \theta_2 \xi(t), & (10) \\ y(t) = \theta_3 x(t) + \nu(t), & (11) \end{cases}$$

где θ_i, $i = 1,2,3$ – неизвестные величины.

Наибольший интерес вызывает исследование погрешностей оценки параметров состояния θ_1 и θ_2. Проанализируем, какова погрешность оценки $\hat{x}(t) \pm \Delta\hat{x}(t)$, а соответственно и управления (1), (4) в случае, если не выполнять процедуру адаптации в отношении θ_i, то есть в предположении $F(\theta, t) = F(t)$ и $G(\theta, t) = G(t)$. На рис.3 и 4 сплошными линиями представлены графики зависимостей относительной апостериорной дисперсии оценки при отклонениях $\theta_1 = \pm\Delta\alpha$, $\theta_2 = \pm\delta$ одну и другую стороны на порядок. Для сравнения на этих же графиках пунктирной линией показаны оптимальные значения. Исследования показывают, что наиболее чувствительными к отклонению параметров являются элементы матрицы состояний, в то же время элементы генерирующей матрицы $G(t)$ приводят лишь к незначительным погрешностям. Графики 3 и 4 позволяют сделать вывод о величинах погрешностей тех или иных оценок и принимать решение о том, нужна ли в конкретном случае адаптация.

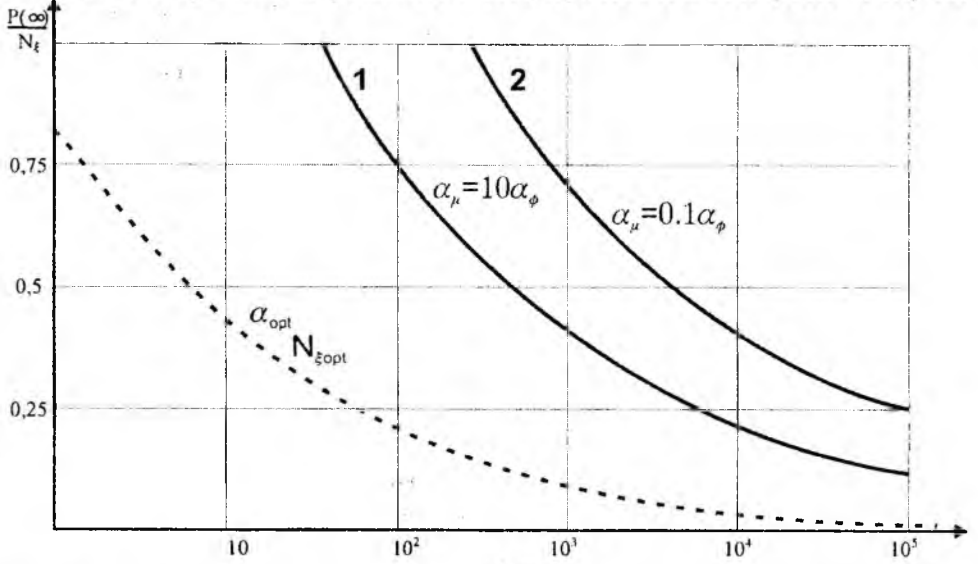

Рис. 3

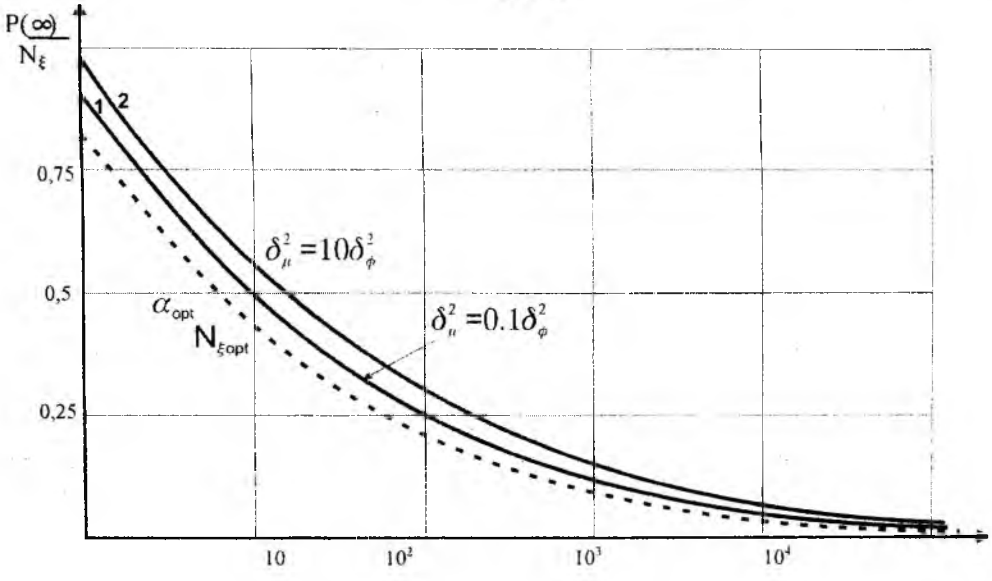

Рис. 4

Список литературы: 1. *Олифер В., Олифер Н.* Искусство оптимизации трафика // Журнал сетевых решений. LAN. 2001. дек. С. 38 – 47 с. 2. *Тихонов В.И.* Статистическая радиотехника. М.: Радио и связь, 1982. 480 с. 3. *Сейдж Э.П., Мелс Д.П.* Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. М.: Связь, 1976, 406 с. 4. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. *А.А. Красовского.* М.: Наука, 1987. 712 с.

Харьковский национальный
университет радиоэлектроники

Поступила в редколлегию 11.05.2004