Проблемы бионики
1998. Вып. 48. С. 70—74

УДК 681.513.7

С.Г. УДОВЕНКО

ПРОГРАММНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПОМЕХ В КОНТУРАХ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ

При моделировании и оптимизации стохастических многомерных систем, в том числе и биологических, широкое распространение получили адаптивные модели типа ARMAX [1]. Однако эффективность функционирования контуров цифрового управления с использованием этих моделей во многом зависит от уровня и характера неконтролируемых возмущений, влияющих на поведение управляемой системы. Зачастую является целесообразной и даже необходимой их предварительная фильтрация программными или аппаратными средствами. Рассмотрим одну из возможностей подавления помех в контурах адаптивного управления стохастическими процессами.

При практической реализации цифровых регуляторов особое значение имеет точность регистрации значений выходной величины $y(k)$. Наличие ошибок измерения иногда приводит к возникновению высокочастотных шумов в системе и, как следствие, к скачкообразным изменениям амплитуды управляющих сигналов. Одним из способов подавления нежелательных помех измерения является применение многократных выборок в пределах каждого из тактов идентификации и управления.

В частности, достаточно эффективным представляется метод, основанный на аппроксимации выходного сигнала по результатам обработки таких выборок [2]. Непрерывный выход управляемой системы $y(t)$ в большинстве случаев соответствует гладкой функции между двумя изменениями управляющих воздействий. Если период квантования сигнала $y(t)$ достаточно мал, то эту функцию можно аппроксимировать линейной моделью (в пределах одного такта):

$$y(t)=K_a t+\varepsilon_a(t)+C_a, \tag{1}$$

где K_a — m_y-мерный вектор направлений отдельных составляющих выхода;

$\varepsilon_a(t)$ — ошибка аппроксимации;

C_a — вектор абсолютных членов.

Предположив, что в каждом такте осуществляется дополнительная дискретизация сигнала $y(t)$ с постоянным шагом Δf, зависимость (1) с учетом погрешности измерений запишем в виде

$$\hat{y}_i = K_a i + \omega_i + C_a, \quad i = \overline{1,m}, \tag{2}$$

где $\hat{y}_i$ — оценка i-го дискретного значения $y(t)$;

i — номер выборки (дискретное время);

m — количество выборок;

$\omega_i = \varepsilon_{ai} + \varepsilon_{bi}$,

ε_{ai}, ε_{bi} — соответственно погрешность аппроксимации и ошибка измерения i-й ординаты.

Представим (2) в компактной форме:

$$\hat{y}_i = P_f^T m_i + \omega_i, \tag{3}$$

где $P_f^T = [K_a, C_a]$, $m_i^T = [i, 1]$.

Уравнение (3) представляет собой модель фильтрации в пределах одного такта управления. Предположим, что параметры P_f неизменны на протяжении каждого такта K, однако отличны для разных тактов. Оценку этих параметров можно осуществить методом наименьших квадратов, минимизируя критерий

$$J_f = Tr\sum_{i=1}^{m} \omega_i^T S \omega_i = Tr\sum_{i=1}^{m} S\omega_i \omega_i^T,$$

где S — произвольная положительно определенная матрица.

С учетом (2) получаем

$$J_f = Tr\sum_{i=1}^{m} S(\hat{y}_i - P_f^T m_i)(\hat{y}_i - P_f^T m_i)^T =$$

$$= TrS[P_f^T \sum_{i=1}^{m} m_i m_i^T P_f - P_f^T \sum_{i=1}^{m} m_i \hat{y}_i^T -$$

$$- \sum_{i=1}^{m} \hat{y}_i m_i^T P_f + \sum_{i=1}^{m} y_i y_i^T].$$

Принимая обозначения

$$M_1 = \sum_{i=1}^{m} m_i m_i^T; \quad M_2 = \sum_{i=1}^{m} y_i m_i^T,$$

представим J_f в виде

$$J_f = TrS[(P_s - \hat{P}_f)^T M_1 (P_s - \hat{P}_f) -$$

$$- \hat{P}_f^T M_1 \hat{P}_f + \sum_{i=1}^{m} y_i y_i^T],$$

где $\hat{P}_f = M_1^{-1} M_2$.

Поскольку матрица M_1 является положительно определенной, то минимум J_f достижим при, $P_S = \hat{P}_f$, следовательно, оценка выхода системы в момент i

$$\hat{y}_i = K_a i + C_a = \hat{P}_f m_i, \qquad (4)$$

где $m_i^T=[i, 1]$.

Подставляя в (4) значение $\hat{P}_f$, получаем

$$\hat{y}_i = M_2^T M_1^{-1} m_i = M_2^T f,$$

где $f= M_1^{-1} m_i=[f_1, f_2]^T$, f_1, f_2 — постоянные коэффициенты фильтра.

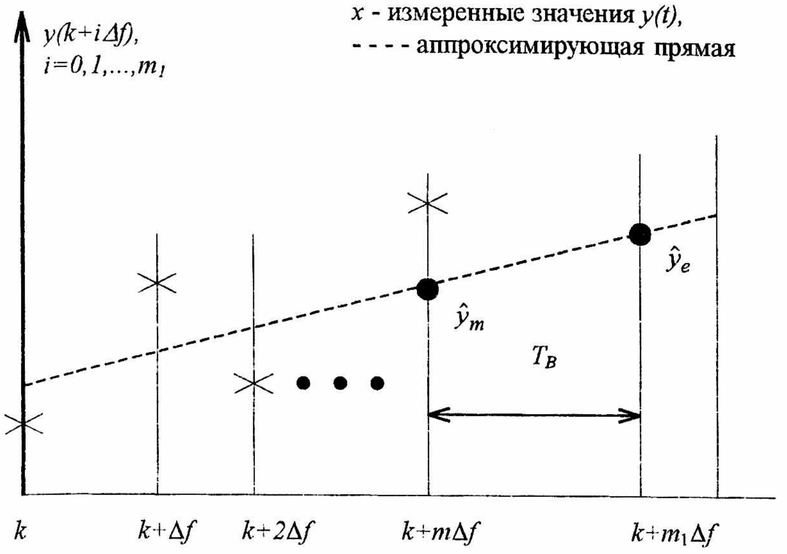
Опишем результирующий алгоритм фильтрации:

в каждом такте K последовательно с шагом Δf измеряем значения $\hat{y}_i$ и формируем суммы $\sum_{i=1}^{m} i\hat{y}_i$, $\sum_{i=1}^{m} \hat{y}_i$;

после последнего m-го измерения определяем оценку $\hat{y}_m$ в соответствии с зависимостью

$$\hat{y}_i = M_2^T f = f_1 \sum_{i=1}^{m} i\hat{y}_i + f_2 \sum_{i=1}^{m} \hat{y}_i.$$

Отфильтрованная величина $\hat{y}_m$ принимается в дальнейшем в качестве оценки выхода в текущем такте управления. Однако, подобный подход не всегда позволяет осуществлять оперативные расчеты по фильтрации выходных данных адаптивного регулятора ввиду необходимости создания резервов времени при различной продолжительности процедур оценивания и поиска управляющих воздействий в каждом из тактов. На рисунке проиллюстрирован процесс фильтрации для k-го периода наблюдения при использовании m-го кратного линейного экстраполирующего фильтра.



Если момент оценки выхода системы соответствует моменту последнего наблюдения, то константы f_1 и f_2 зависят лишь от количества отсчетов в каждом такте, а аппроксимирующее уравнение принимает вид

$$\hat{y}_m = \frac{2}{m}\left[\frac{3}{m+1}\sum_{i=1}^{m} i\hat{y}_i - \sum_{i=1}^{m}\hat{y}_i\right].$$

Рассмотрим дополнительную возможность использования описанного метода. Предположим, что проведение m выборок в очередном такте завершено в момент $(k+m\Delta f)$. В этом случае представляется целесообразной экстраполяция аппроксимирующей прямой на m_2 шагов с целью получения оценки $\hat{y}_e$ в момент $(k+m_1\Delta f)$, более приближенный к следующему такту основной дискретизации $(k+1)$. При этом появляется возможность в течение времени T_B осуществить все необходимые расчеты по фильтрации данных. Нетрудно показать, что экстраполяционная оценка $\hat{y}_e$ может быть определена по следующей зависимости:

$$\hat{y}_e = \hat{y}_m + m_2\left[\frac{6(\hat{y}_m - 2a_1)}{m(m+1)(m-1)} + \frac{2(a_2 - \hat{y}_m m + \hat{y}_m)}{m(m-1)}\right],$$

где $a_1 = \sum_{i=1}^{m-1} i\hat{y}_i$, $a_2 = \sum_{i=1}^{m-1} \hat{y}_i$.

Таким образом, рассмотренный подход позволяет осуществить оперативную фильтрацию помех на выходе цифровых регуляторов по простым в вычислительном отношении процедурам оценивания.

Применение таких процедур повышает робастность контуров идентификации и управления, что делает их пригодными для моделирования поведенческих реакций биологических систем на быстро меняющиеся раздражители.

Список литературы: 1. *Larminat P. A* robust soluction to the admissibility problem in indirect adaptive control without persistency of excitation // Int. J. Adaptive Control and Signal Processing. 1988. 2. P. 95—110. 2. *Hebky Z.* Multiple sampling in digital control // Automatizace. 1984. 27. N6. P.142—145.

Поступила в редколлегию 23.10.97