Эффективным решением задачи повышения информативности и надежности работы МКИС является построение системы обработки информации по адаптивной схеме, с целью чего была определена математическая модель формирования информационного сообщения.

УДК 620.179

И.В.Голубятников, А.В.Белов

СИСТЕМЫ АДАПТИВНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ СТОХАСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Сформулирована структура систем адаптивной фильтрации линейных стохастических объектов и разработаны алгоритмы оптимизации параметров адаптивных фильтров в случае аддитивных и мультипликативных шумов в измерителе, которые позволили повысить достоверность обрабатываемой информации. В основу конструкции алгоритмов положены необходимые и достаточные условия минимума среднеквадратической ошибки оценивания, зависящие от известных результатов измерений и состояния фильтра.

Характерной особенностью микроанализа с использованием микрозондовых контрольно-измерительных систем является то, что процесс измерений происходит в условиях априорной неопределенности параметров состояния и характеристик возмущающих воздействий как в самом объекте исследований, так и в канале измерений.

Рассмотрим линейный стохастический объект вида

$$\dot{x}(t) = A(t)\,x(t) + B(t)\,u(t), \tag{1}$$

$$x(t_0) = x_0, \tag{2}$$

$$u(t) = \xi(t) + \eta(t), \tag{3}$$

$$y(t) = H(t)\,x(t) + v(t), \tag{4}$$

Вычислительная томография. Куйбышев, 1990.

где $x \in R^n$ — вектор состояния объекта;

$y \in R^m$ — вектор измерения;

$\xi(t)$ — полезная составляющая;

x_0 — начальное состояние, имеющее следующие характеристики:

$$M[x_0]=0, \; M[x_0 x_0^T]=P_0 , \tag{5}$$

$v(t), \eta(t)$ — векторные белые гауссовские шумы, взаимно некоррелированные между собой, с интенсивностями и $\Pi(t)$;

$H(t)$ — неизвестная матрица размерности $m \times n$;

матрицы $A(t)$ и $B(t)$ имеют размерность $n \times n$.

Если $\xi(t)$ является детерминированным процессом, то линейная несмещенная оценка $\hat{x}(t)$, оптимальная в смысле минимума функционала

$$J=M\left[(x(t)-\hat{x}(t))^T(x(t)-\hat{x}(t)\right], \tag{6}$$

описывается уравнением

$$\begin{gathered}\dot{\hat{x}}(t)=A(t)\cdot\hat{x}(t)\cdot B(t)\cdot\xi(t)\cdot K(t)\cdot\left[y(t)-H(t)\cdot\hat{x}(t)\right],\\ \hat{x}(t_0)=\hat{x}_0 .\end{gathered} \tag{7}$$

Коэффициент усиления описывается формулой

$$K(t)=P(t)H^T(t)V^{-1}(t), \tag{8}$$

где корреляционные матрицы ошибки оценивания определяются матричным дифференциальным уравнением типа Риккати

$$\begin{gathered}\dot{P}(t)=A(t)P(t)+P(t)A^T(t)-P(t)H^T(t)V^{-1}(t)H(t)P(t)+B(t)\Pi(t)B^T(t),\\ P(t_0)=P_0 .\end{gathered} \tag{9}$$

В случае, когда $\xi(t)$ является случайным гауссовским процессом, который описывается как

$$\begin{gathered}\dot{\xi}(t)=D\cdot\xi(t)+\theta(t),\\ \xi(t)=0,\end{gathered} \tag{10}$$

где $\theta(t)$ – белый гауссовский шум, взаимно некоррелированный с $\xi(t)$ и $v(t)$,

установлено, что структура фильтра описывается уравнением вида

$$\dot{\hat{x}}(t)=A(t)\cdot\hat{x}(t)+K(t)[y(t)-H(t)\cdot x(t)],$$

$$\hat{x}(t_0)=\hat{x}_0\,. \tag{11}$$

Коэффициент усиления определяется по формуле (8), где корреляционные матрицы ошибки оценивания определяются уравнением вида

$$\dot{P}(t)=A(t)P(t)+P(t)A^T(t)-P(t)H^T(t)V^{-1}(t)H(t)P(t)+$$
$$+B(t)\Pi(t)B^T(t)+B(t)\cdot\int_{t_0}^{t}M[\xi\xi^T]B^T(t)\,\Phi^T(t,\tau)d\tau+$$
$$+\left\{B(t)\int_{t_0}^{t}M[\xi\xi^T]B^T(t)\,\Phi(t,\tau)d\tau\right\}^T, \tag{12}$$

где $\Phi(t,\tau)$ – фундаментальная матрица решений дифференциального уравнения относительно ошибки оценивания $\varepsilon(t)=x(t)-\hat{x}(t)$. Решение матричного дифференциального уравнения (9) и интегрального уравнения (12) можно получить на стадии проектирования системы наблюдения и использовать программные значения корреляционной матрицы для синтеза системы оптимальной фильтрации.

При функционировании объекта в условиях неопределенности задача оптимального наблюдения становится неразрешимой, поэтому проводится формирование структуры системы адаптивной фильтрации и конструирование алгоритмов оптимизации ее параметров. Фильтр используемый в качестве модели с настраиваемыми параметрами, описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$\dot{\hat{x}}(t)=A_\varphi(t)\hat{x}(t)+K_\varphi(t)[y(t)-H(t)\hat{x}(t)],$$

$$\hat{x}(t_0)=\hat{x}_0\,. \tag{13}$$

При конструировании алгоритмов оптимизации параметров адаптивного фильтра (13) используются необходимые и достаточные условия минимума функционала (6), записанные в виде

$$tr\,M[(y-H\hat{x})_t\cdot y_{t_1}^T]=0,\quad t_0\leqslant t<t_0\,. \tag{14}$$

Установлено, что построенные алгоритмы

$$\nu_\varphi(t) = M\left[\left(\frac{\partial H\hat{x}}{\partial \nu_\varphi}\right)_t^T \cdot y_{t_1}\right] \times tz\left\{M\left[y - H\hat{x}\right]_t \cdot y_t^T\right. \tag{15}$$

$$\nu_\varphi(t) = (a_\varphi \,.\, b_\varphi \,.\, k_\varphi)_t^T \tag{16}$$

обеспечивают асимптотические свойства минимизации заданного функционала качества (6) и оптимизируют замкнутую систему адаптивной фильтрации (I) - (4), (I3), (I5), (I6) в смысле рассматриваемого функционала. Вектор $\nu_\varphi(t)$ образован соответственно из элементов матриц $A_\varphi(t), B_\varphi(t)$ и $K_\varphi(t)$.

В случае мультипликативных шумов в канале измерения, вызванных наличием связанного с фотокатодом электронного умножителя в системе регистрации вторичного излучения, процесс наблюдений $y(t)$ будет иметь вид

$$y(t) = H[x(t)] + v(t). \tag{17}$$

Для объекта, описываемого выражениями (I) - (3) и (I7), построение линейной несмещенной оценки $\hat{x}(t)$, оптимальной в смысле минимума функционала (6), проводилось с использованием расширенного фильтра Калмана.

Теоретические результаты подтверждены цифровым моделированием.

УДК 533.607:517.43

А.И.Седельников

ТОМОГРАФИЯ СВЕРХЗВУКОВЫХ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И РАЗЛОЖЕНИЕ ПО ПОЛИНОМАМ ЦЕРНИКЕ

Получена система базисных функций для проекционных данных в случае произвольной выпуклой границы области. Анализируются возможности ее использования в численных расчетах.