СИНТЕЗ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМ С ФАЗОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Русак Л. В., Капанов Н. А.
Кафедра информационных систем и технологий, Международный институт дистанционного образования Белорусский национальный технический университет
Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: kapanov.nikolay@gmail.com

Рассматривается задачу параметрической идентификации непрерывной линейной части системы с фазовым управлением на основе имеющейся априорной информации об уравнениях объекта в пространстве состояний и статистического анализа входных и выходных сигналов.

Введение

Среди множества актуальных задач синтеза систем с фазовым управлением (СФУ) следует особо выделить задачу идентификации. Под идентификацией в широком смысле понимается получение или уточнение по экспериментальным данным модели реального объекта (процесса), выраженной в тех или иных терминах (описанной на том или ином языке).

Среди различных задач идентификации и различных содержательных формулировок условий наблюдения рассмотрим задачу параметрической идентификации (оценки параметров) непрерывной линейной части (НЛЧ) СФУ на основе имеющейся априорной информации об уравнениях объекта в пространстве состояний и статистического анализа входных и выходных сигналов. Важность и актуальность выделения данной задачи обусловлены тем, что в настоящее время все большая часть исследований технических объектов проводится на основе использования их математических моделей [1].

Основной раздел

Пусть состояние НЛЧ СФУ описывается уравнением в форме Ланжевена со случайными параметрами

$$\dot{X}^{(s)}(t) = \varphi(X, D, s, t) + \sigma(X, D, s, t)U(t) + H(X, D, t)\xi(t) \qquad (1)$$

при начальных условиях $X(t_0) = X_0$.

В данном случае $X^{(s)}(t)$–вектор фазовых координат; $D = D^{(s)}(t)$–n-мерный вектор в общем случае случайных параметров системы; $\sigma(X, D, s, t) = \sigma^{(s)}(X, t)$–векторная функция; $H(X, D, s, t) = H^{(s)}(X, t)$– матричная функция; $\xi(t)$ – вектор случайных возмущений; $U(t)$–вектор детерминированных управлений. Уравнение измерителя следующее:

$$Z^{(l)}(t) = C^{(l)}(X, t) + q^{(l)}(t)\zeta(t) \qquad (2)$$

Входящие в (1), (2) функции $\varphi(\ldots)$, $C(\ldots)$,а также характеристики шумов $\xi(t)$, $\zeta(t)$ считаются известными.

Области эксплуатации (работоспособности) системы и измерителя заданы в виде функциональных пространств:

$$X(t) \in X_{ex}, \; U(t) \in U_{ex}, \; Z(t) \in Z_{ex} \qquad (3)$$

В результате проведения идентификационных экспериментов (натурных или моделированием) получены множества функций $X_u(t)$, $U_u(t)$, $Z_u(t)$, таких как

$$X_u(t) \in X_{exu} \subset X_{ex}, \; U_u(t) \in U_{exu} \subset U_{ex},$$

$$Z_u(t) \in Z_{exu} \subset Z_{ex}, \qquad (4)$$

где X_{exu}, U_{exu}, Z_{exu} – пространства фазовых координат, управлений и измерений реальной системы при идентификационных экспериментах.

Задача идентификации состоит в том, чтобы на основе экспериментальных данных $X_u(t)$,$U_u(t)$,$Z_u(t)$ определить значение вектора параметров $\hat{D}^{(s)}(t)$, при котором разность $\hat{D}^{(s)}(t) = D^{(s)}(t) - \hat{D}^{(s)}(t)$ принимает наименьшее в определенной мере значение (обеспечить достаточную малость нормы разности). Для применения полученной в предыдущих подразделах теории необходимо случайный вектор $D^{(s)}(t)$ представить в соответствующем виде. Для широкого круга технических систем номинальные значения параметров $D_n(t)$ известны, а их фактические значения имеют малые отклонения от номиналов. Исходя из этого, на интервале наблюдения $[t_0, t]$ вектор $D^{(s)}(t)$представим в виде

$$D^{(s)}(t) = D_n(t) + a_D^{(s)}(t) \qquad (5)$$

где $a_D^{(s)}(t)$– вектор малых отклонений параметров системы размерностью n_D.

В зависимости от модели реального объекта и условий исследований стохастическая модель вектора $a_D(t)$ может иметь различный вид: от $(\partial a_D/\partial t) = 0$ до $(\partial a_D/\partial t)$–белый шум. Для широкого круга задач удобно применять модель параметрических шумов, в которой компоненты вектора $a_D(t)$описываются уравнением типа формирующего фильтра:

$$\dot{a}_D^{(s)}(t) = \frac{1}{\tau_D} a_D^{(s)}(t) + h_D \xi_D(t),\ a_D(t_0) = a_{D0} \quad (6)$$

где $\xi_D(t)$–вектор белого шума с единичной матрицей интенсивностью E.

В данном случае τ_D–постоянная времени, характеризующая частоту флуктуаций параметров; матрица h_D характеризует величину отклонений параметров от номиналов.

Для идентифицируемой НЛЧ СФУ введем расширенный вектор состояний

$$X_p^{(s)T}(t) = \| X^{(s)}(t), a_D^{(s)}(t) \| \quad (7)$$

размерностью $n + n_D$, для которого уравнения состояния имеют вид

$$\dot{X}_p^{(s)}(t) = \varphi_p(X_p, D, s, t) + \sigma_p(X_p, D, s, t)U(t) +$$

$$+ H_p(X_p, D, s, t)\xi_p(t) \quad (8)$$

при начальных условиях $X_p^{(s)}(t_0) = X_{p0}$.

$$Z_p^{(l)}(t) = C_p^{(l)}(X_p, t) + q^{(l)}(t)W(t). \quad (9)$$

В (8) входят блочные векторы

$$X_p^{(s)}(t) = \left\| \begin{matrix} X^{(s)}(t) \\ a_D^{(s)}(t) \end{matrix} \right\|,$$

$$\xi_p(t) = \left\| \begin{matrix} \xi(t) \\ \xi_D(t) \end{matrix} \right\|.$$

При такой постановке задачи производится совместное оценивание и идентификация процесса (объекта) на основе использования в общем случае уравнений фильтрации вида:

$$-\Gamma_x(X, Z, t) + \Pi_x(X, Z, t) \quad (10)$$

$\Gamma_x(X, Z, t)$ и $\Pi_x(X, Z, t)$ характеризуют дискретную составляющую оценки процесса $X(t)$. Необходимо заменить $\hat{X}(t)$ на $\hat{X}_p^{(sl)}(t)$, а вектор оценки параметров в соответствии с определится следующим образом:

$$\hat{D}^{(sl)}(t) = D_n(t) + \hat{a}_D^{(sl)}(t). \quad (11)$$

Вектор оценки состояния и корреляционная матрица оценки точности в данном случае имеют вид

$$\hat{X}_p^{(sl)}(t) = \left\| \begin{matrix} \hat{X}^{(sl)}(t) \\ \hat{a}_D^{(sl)}(t) \end{matrix} \right\|, \quad \hat{R}_p^{(sl)}(t) = \left\| \begin{matrix} \hat{R}_{xx}^{(sl)}(t) & \hat{R}_{xa}^{(sl)}(t) \\ \hat{R}_{ax}^{(sl)}(t) & \hat{R}_{aa}^{(sl)}(t) \end{matrix} \right\|.$$

В частном случае при непосредственном наблюдении вектора состояния и его точном измерении $X(t)$ может быть исключен из процесса оценивания (отнесен к детерминированному управлению). Следовательно, при неизменной структуре системы уравнения для оценки идентифицируемых параметров подсистемы в соответствии с используемым уравнением фильтрации имеют вид

$$\dot{\hat{X}}_p^{(sl)}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi_p(X_p, t)\hat{f}^T(X_p, t)\, dX_p -$$

$$- \Gamma_x(X_p, Z, t) + \Pi_x(X_p, Z, t) -$$

$$- \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{+\infty} (X_p - \hat{X}_p)\, \rho(X_p, Z, t)\, \hat{f}(X_p, t)\, dX_p. \quad (12)$$

$$\dot{\hat{R}}_p^{(sl)}(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} div\{[X(t) - \hat{X}(t)][X(t) -$$

$$- \hat{X}(t)]^T \hat{\pi}(X_p, t)\}\, dX + \int_{-\infty}^{+\infty} \hat{\pi}^T(X_p, t) grad\{[X(t) -$$

$$- \hat{X}(t)][X(t) - \hat{X}(t)]^T\}\, dX_p - \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{+\infty} \{[X(t) -$$

$$- \hat{X}(t)][X(t) - \hat{X}(t)]^T - R\}\, \rho(X_p, Z, t)\, dX_p -$$

$$- \Gamma_R(X_p, Z, t) + \Pi(X_p, Z, t). \quad (13)$$

Для вычисления функций $\Gamma_x(X_p, Z, t)$, $\Pi_x(X_p, Z, t)$, $\Gamma_R(X_p, Z, t)$ и $\Pi_R(X_p, Z, t)$ и практической реализации алгоритмов идентификации (12)–(13),как и при решении задач фильтрации, необходимо функцию $\hat{f}(X_p, t)$ аппроксимировать нормальным или усеченным нормальным распределением и использовать известные расчетные формулы [2]. При исследовании параметрической топологии (взаимного влияния параметров элементов систем с фазовым управлением) необходимо произвести идентификацию СФУ как сложной системы в целом, что для реальных систем в настоящее время может представлять неразрешимую задачу. Однако в перспективе актуальность данной задачи может возрасти по мере повышения возможностей измерителей и средств обработки информации.

1. Батура, М. П. Дискретные системы с фазовым управлением / М. П. Батура// Минск:Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 2002. – 152 с.
2. Казаков, И. Е. . Методы оптимизации стохастических систем / И. Е. Казаков, Д. И. Гладков// Минск:Наука, 1987. – 304 с.