УДК 519.854.2

ПАВЛОВ А.А.

ПРИКЛАДНЫЕ АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В статье на основе алгоритмов фильтрации и восстановления истинной закономерности по ограниченному набору данных [1] приводятся прикладные алгоритмы идентификации [2] (определения) математической модели нелинейных систем управления в классе обычных нелинейных дифференциальных уравнений в форме Коши. Предполагается, что измерения данных, необходимых для идентификации, проводятся с аддитивной ошибкой, которая задается случайной величиной с нулевым математическим ожиданием, конечной дисперсией и произвольным распределением.

The article describes applied identification algorithms [2] (determination) of mathematical model of non-linear control system based on filtering algorithms and algorithms of restoration of valid regularity by limited data set [1] in class of regular linear differential equation in Cauchy form. It is supposed, that required for identification data changes are making with additive error, which sets by random variable with zero mathematical expectation, finite variance and arbitrary distribution.

Постановка задачи

Пусть динамическая система управления оценивается следующей моделью, представ ленной в векторной форме

$$\dot{\bar{X}}(t) = X(t, \bar{x}(t), \bar{u}(t)), \qquad \textbf{(1)}$$

где $\bar{u}(t)$ – известна вектор-функция от времени. Предполагается, что все условия существования, непрерывности и дифференцируемости решения системы (1) выполнены.

На отрезке $[t_0, t_k]$ измеряется с аддитивной помехой ε (случайная величина $M\varepsilon = 0$, $D\varepsilon = \sigma^2 < \infty$, распределение произвольно) либо $x_i(t)$ $i = \overline{1,n}$, либо $\frac{dx_i(t)}{dt}$.

По данным эксперимента необходимо восстановить функции:

$$X(t, \bar{x}(t), \bar{u}(t)) = \left(X_i(t, \bar{x}(t), \bar{u}(t)), i = \overline{1,n}\right)^T.$$

Дополнительной информацией является принадлежность функции $X_i(t, \bar{x}(t), \bar{u}(t))$ избыточному описанию:

$$X_i(t, \bar{x}(t), \bar{u}(t)) \in \sum_{j=1}^{L_i} a_{ij} \psi_j^i(t, \bar{x}(t), \bar{u}(t)), \qquad (2)$$

$i = \overline{1,n}$, где $\psi_j^i(t, \bar{x}(t), \bar{u}(t))$ – известная функция, a_{ij} – неизвестные коэффициенты, большинство из которых при фиксированном i равно нулю.

Алгоритм решения задачи

1) Для определенности считаем, что измеряется с ошибкой $x_i(t)$, т.е. $x_i(t) + \varepsilon$, $i = \overline{1,n}$, $M\varepsilon = 0$, $D\varepsilon = \sigma^2 < \infty$ с помощью очевидной модификации алгоритма, изложенного в [1] (глава 6, 6.1.1), находится оценка $\hat{x}_i(t)$ на отрезке $[t_0, t_k]$.

Примечание. Для удобства измерения на интервале $[t_0, t_k]$ можно масштабированием перенести на любой заданный отрезок, например, $[1,2]$ для того, чтобы аппроксимирующий полином восстанавливался необходимой степени.

2) Численными методами с усреднением по $\hat{x}_i(t)$, $i = \overline{1,n}$ восстанавливается $\frac{d\hat{x}_i(t)}{dt}$, $i = \overline{1,n}$ для моментов времени $t \in \overline{t_0, t_k}$.

3) По имеющейся информации $\left.\frac{d\hat{x}_i(t)}{dt}\right|_{t=\overline{t_0,t_k}} = X_i(t_k, \bar{x}(t_k), \bar{u}(t_k))\Big|_{t=\overline{t_0,t_k}}$, $i = \overline{1,n}$ методом, изложенным в [1] (глава 6, 6.3.4) находится истинное значение функций $X_i(t, \bar{x}(t), \bar{u}(t))$ в соответствии с введенным в [1] (глава 6, 6.3) критерием истинности о минимальном описании истинной законномерности (минимум ненулевых коэффициентов a_{ij} при фиксированном индексе i).

Примечания

1) Очевидным образом алгоритм модифицируется для случая, когда измеряется $\frac{dx_i(t)}{dt}+\varepsilon$ для любого $t \in \overline{t_0, t_k}$.

2) Очевидным образом алгоритм модифицируется, когда объект управления описывается в виде:

$$\frac{d^n \tilde{x}(t)}{dt^n} = X\left(t, \frac{dx^{n-i}(t)}{dt^n}, i=\overline{1,n}, u(t)\right).$$

3) Теоретически обосновать, что приведенный алгоритм всегда решает задачу идентификации очевидно нельзя. Однако в силу ограничений (2) (принадлежность истинного описания к избыточному классу) вероятность точного решения достаточна велика. А если описание модели найдено правильно, то установить этот факт с помощью дополнительных экспериментов не вызывает затруднений.

Список литературы

1. Згуровский М.З., Павлов А.А. Принятие решений в сетевых системах с ограниченными ресурсами: Монография.– К.: Наукова думка, – 2010.– 573 с.
2. Справочник по теории автоматического управления./ Под редакцией А. А. Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. 1987, 712 стр.