УДК 681.876.2

А.И. ГУДА, А.И. МИХАЛЁВ
Национальная металлургическая академия Украины

НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ МУЛЬТИМОДЕЛЬНОЙ АДАПТИВНО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Статья посвящена вопросам настройки параметров адаптивно-поисковой системы идентификации с использованием ансамбля моделей. В качестве тестовой системы для задачи идентификации используется хаотическая система Лоренца. На основе проведённого моделирования сделаны выводы о степени влияния рассматриваемых параметров на точность идентификации.

Ключевые слова: адаптивно-поисковая идентификация, ансамбль моделей, динамическая система Лоренца.

А.І. ГУДА, О.І. МИХАЛЬОВ
Національна металургійна академія України

НАЛАШТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ МУЛЬТИМОДЕЛЬНОЇ АДАПТИВНО-ПОШУКОВОЇ СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Стаття присвячена питанням налаштування параметрів адаптивно-пошукової системи ідентифікації з використанням ансамблю моделей. В якості тестової системи для задачі ідентифікації використовується хаотична система Лоренца. На основі проведеного моделювання зроблені висновки про ступінь впливу розглянутих параметрів на точність ідентифікації.

Ключові слова: адаптивно-пошукова ідентифікація, ансамбль моделей, динамічна система Лоренца.

A.I. GUDA, A.I. MIKHALYOV
National Metallurgical academy of Ukraine

MULTI-MODEL ADAPTIVE-SEARCHING IDENTIFICATION SYSTEM PARAMETERS ADJUSTMENT

Article is devoted to adjustment of the parameters in the adaptive-search identification system while using an ensemble of models. As a test system for the identification problem chaotic Lorenz system is used. On the basis of conducted simulation conclusions about the degree of influence on the accuracy of the considered parameters identification are made.

Keywords: adaptive-search identification, ensemble models, dynamic system of Lorenz.

Введение

Задачи параметрической идентификации сложных нелинейных динамических систем, в частности, систем хаотической динамики, в общем случае, требуют существенных затрат времени и вычислительных ресурсов. Одним из подходов, призванных сократить затраты времени, является применение методов, использующих для идентификации ансамбль моделей. В случае применения моделей с фиксированными параметрами [1] становится возможным значительно сократить время идентификации, однако, ценой низкой точности. Применение методов, где параметры моделей в ансамбле в процессе поиска изменяются по определённому алгоритму [2, 3], позволяет повысить точность ценой незначительного увеличения времени идентификации. При этом, естественно, становится актуальной задача настройки параметров алгоритмов поиска идентифицируемого параметра.

Постановка задачи

Пусть для идентификации объекта *O* с идентифицируемым параметром p_o используются *n* моделей $M_i, i=0 \ldots n-1$ с настраиваемыми коэффициентами p_{mi} (изначально распределённых равномерно на рабочем диапазоне), и две искусственные модели M_{ll} и M_{rr}, коэффициентам которых приписываются значения за пределами рабочего диапазона, но с сохранением равномерности. Выходные сигналы моделей измеряются точно, а объекта – с погрешностью с известными характеристиками $w(t)$.

В случае систем со сложной динамикой, в частности, хаотических систем, для работоспособности системы идентификации необходимо применение адекватного для данной задачи критерия идентификации. Пусть $q_o(t)$ -- текущее значение данного критерия для объекта, $q_{mi}(t)$ – для *i*-ой модели соответственно. В рассматриваемых алгоритмах используются безразмерные величины – функции качества идентификации F_i, которые задаются нормировкой критерия качества (на величину q_γ), например таким способом:

$$F_i = F(q_o, q_{mi}) = \exp\left(-\left(\frac{q_o - q_{mi}}{q_\gamma}\right)^2\right). \quad (1)$$

Для моделей M_{ll} и M_{rr} полагаем $F_{ll} = F_{rr} = 0$.

Используем 3 метода определения идентифицируемого параметра. Первый – аналог метода Такаги-Сугено (COG) из систем нечёткой логики:

$$p_{ge} = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} F_{mi}\, p_{mi}}{\sum_{i=0}^{n-1} F_{mi}}. \quad (2)$$

Второй – аналогичен первому, но использует только ближайшую окрестности наилучшей модели:

$$p_{le} = \frac{F_l\, p_l + F_c\, p_c + F_r\, p_r}{F_c + F_c + F_r}, \quad (3)$$

где индекс “c” обозначает центральную точку, $l = c-1, r = c+1$.

Третий подход тоже использует ближайшую окрестности наилучшей модели, но аппроксимирует поведение функции качества вблизи точки p_c параболой. С учётом обозначений $\tilde{p}_i = p_i - p_c$, $\tilde{F}_i = F_i - F_c$, получаем:

$$\begin{cases} a_2 \tilde{p}_l^2 + a_1 \tilde{p}_l = \tilde{F}_l \\ a_2 \tilde{p}_r^2 + a_1 \tilde{p}_r = \tilde{F}_r \end{cases},$$

$$a_1 = \frac{\tilde{F}_r \tilde{p}_l^2 - \tilde{F}_l \tilde{p}_r^2}{\tilde{p}_l^2 \tilde{p}_r - \tilde{p}_l \tilde{p}_r^2}$$

$$a_2 = -\frac{\tilde{F}_r \tilde{p}_l - \tilde{F}_l \tilde{p}_r}{\tilde{p}_l^2 \tilde{p}_r - \tilde{p}_l \tilde{p}_r^2}$$

$$p_{ee} = p_c - \frac{a_1}{2a_2}. \quad (4)$$

При этом, величину p_{ee} искусственно ограничим диапазоном (p_l, p_r), а ошибки идентификации определяются так:

$$e_{ge} = p_{ge} - p_o,\ e_{le} = p_{le} - p_o,\ e_{ee} = p_{ee} - p_o. \quad (5)$$

Динамика поиска параметров моделей задаётся аналогично уравнению движения тела в сильно вязкой среде:

$$\frac{dp_c}{dt} = v_f\, f_t(t), \quad (6)$$

где $f_t(t)$ – сумма всех действующих “сил”', v_f – коэффициент пропорциональности. Рассматриваем 3 действующие силы ($f_t = f_c + f_n + f_e$):

- $f_c = -k_c(p_c - p_{,0})$ – “сила притяжения” к начальному значению параметра для данной модели. Наличие этой силы не даёт всем моделям принять одно и то же значение параметра вблизи экстремума, и, следовательно, прекратить процесс поиска. Это также позволяет быстро переключиться на другую модель в случае быстрого изменения параметра объекта.
- $f_n = k_n(p_r - 2p_c + p_r)$ – “сила взаимодействия с соседями”. Обеспечивает более равномерное распределение параметров моделей вблизи экстремума функции качества.
- $f_e(t) = -k_e(p_c - p_{ee})$– “сила притяжения”' к локальной оценке экстремума, определённого по выражению (4).

Значения коэффициентов k_e, k_c и k_n определяют поисковые и адаптационные свойства системы идентификации. Исследование влияние этих величин на процесс поиска является основной задачей данной работы.

В качестве тестовой системы используем хаотическую систему Лоренца [3]:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = x(r - z) - y, \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases} \tag{7}$$

где x, y, z – переменные состояния системы, r – идентифицируемый параметр (для данной задачи $p = r$), b = 2.66667, $\sigma = 10$ – фиксированные параметры системы Лоренца. Критерий качества определяется уравнением:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{1}{\tau}\left(x^2(t) - q(t)\right), \tag{8}$$

Результаты моделирования

Для моделирования процессов идентификации была собрана соответствующая модель в программе “qontrol”, предназначенной для моделирования нелинейных динамических систем. После ручного выбора параметров идентификации, обеспечивающих работоспособность системы, было проведено несколько серий вычислительных экспериментов, каждый с модификацией одного из параметров k_e, k_c и k_n. Для исследования динамических свойств системы идентификации нестационарность идентифицируемого параметра задавалась одним из двух способов:

$$r(t) = r_0 + U_r \,\mathrm{sign}\sin(\omega_r t), \tag{9}$$

$$r(t) = r_0 + U_r \sin(\omega_r t). \tag{10}$$

Качество идентификации оценивалось как среднеквадратическая ошибка $\bar{e}$ идентификации на достаточно большом интервале времени.

На рис. 1 представлены графики, иллюстрирующие процесс моделирования процесса идентификации для двух различных значениях величины k_e. Очевидно, что этот коэффициент влияет как на точность, так и на скорость идентификации.

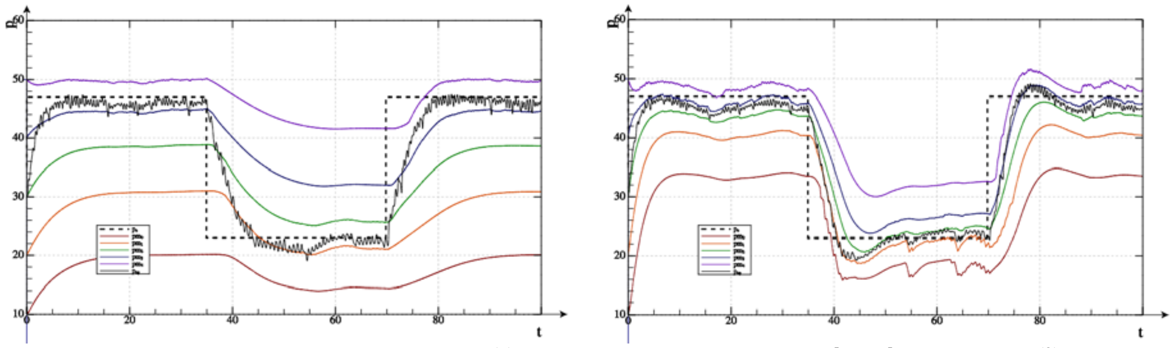

Рис. 1. Процесс идентификации системы (7) рассматриваемым методом при k_e=8, k_e=2 и условии (9)

На рис. 2 представлены полученные в результате моделирования зависимости величин $\bar{e}_{ge}$, $\bar{e}_{le}$, $\bar{e}_{ee}$ от k_e. Нулевое значение величины k_e соответствует фиксированным значениям коэффициентов моделей, т.е. отсутствию поиска. При увеличении k_e величины ошибок идентификации сначала падают, что обусловлено смещением коэффициентов моделей в область значения искомого параметра. В дальнейшем ошибки идентификации снова растут, что обусловлено нарушением процесса поиска из-за быстрого изменения коэффициентов. При этом, этот рост менее заметен при условии (9), так как скачкообразные изменения параметра объекта, с одной стороны, требуют более быстрой реакции системы идентификации на эти изменения. С другой стороны, общей рост ошибки идентификации маскирует эффект уменьшения точности идентификации из-за резких колебаний коэффициентов моделей.

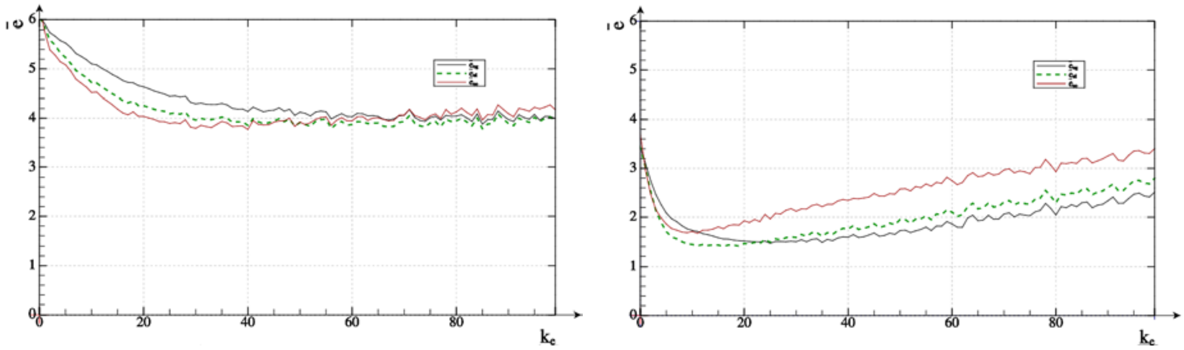

Рис. 2. Зависимости величин $\bar{e}_{ge}$, $\bar{e}_{le}$, $\bar{e}_{ee}$ от k_e.

На рис. 3 представлены полученные в результате моделирования зависимости величин $\bar{e}_{ge}$, $\bar{e}_{le}$, $\bar{e}_{ee}$ от k_c. В отличие от предыдущих графиков, здесь зависимость не столь явно выражена. Более того, наблюдается обратная зависимость, т.е. при увеличении k_c поисковые модели перестают быть поисковыми, так как значения коэффициентов модели стремятся к своим начальным значениям. При малых значениях величины k_c процесс поиска нарушается из-за того, что поисковые модели начинают “слипаться” вблизи одной точки.

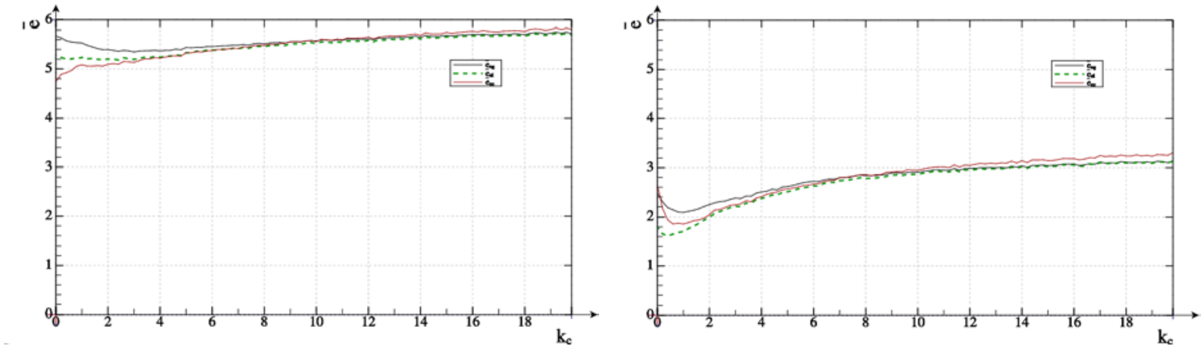

Рис. 3. Зависимости величин $\bar{e}_{ge}$, $\bar{e}_{le}$, $\bar{e}_{ee}$ от k_c.

На рис. 4 представлены полученные в результате моделирования зависимости величин $\bar{e}_{ge}$, $\bar{e}_{le}$, $\bar{e}_{ee}$ от k_n. Наблюдается картина, аналогичная предыдущему случаю: наблюдается обратная зависимость, при увеличении k_n поисковые модели перестают быть поисковыми, образуя жёсткую решётку. При этом положение решётки фиксируется неподвижными моделями M_{ll} и M_{rr}. При малых значениях величины также наблюдается “слипание”.

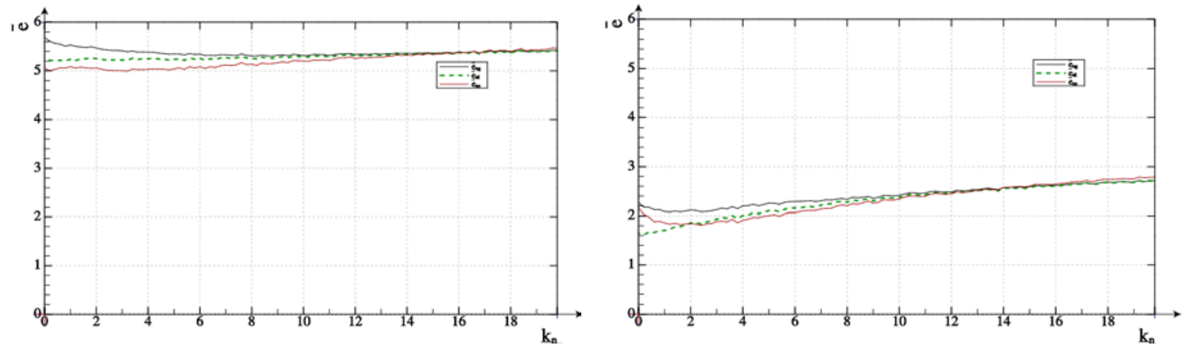

Рис. 4. Зависимости величин $\bar{e}_{ge}$, $\bar{e}_{le}$, $\bar{e}_{ee}$ от k_n.

Таким образом, для идентифицируемой системы можно подобрать такой набор параметров k_e, k_c и k_n, который не только обеспечит работоспособность метода идентификации, но и позволит минимизировать ошибку. Достаточно слабая зависимость величин ошибок $\bar{e}_{ge}$, $\bar{e}_{le}$, $\bar{e}_{ee}$ от k_n и k_c обуславливает определённую робастность системы идентификации.

Выводы

Результаты моделирования процессов идентификации системы (7) с использованием рассматриваемого метода при различных условиях позволяют сделать следующие выводы:

- Правильная настройка параметров k_e, k_c и k_n системы идентификации позволяет повысить точность идентификации без заметного снижения её скорости.
- Наибольшее влияние на ошибку идентификации оказывает величина коэффициента k_e, при этом зависимость имеет экстремальный характер.
- Влияние коэффициентов k_c и k_n не настолько существенное. Тем не менее, правильная их настройка позволяет снизить шибки идентификации в рассматриваемых условиях.

Список использованной литературы

1. Михалёв А.И. Использование нечётких технологий при выборе начальных условий в задачах идентификации систем с хаотической динамикой / А.И. Михалёв, А.И. Гуда // Адаптивные системы автоматического управления. – 2013. – № 2(25). – С. 98–103.
2. Guda A.I. Multi-model methods and parameters estimation approaches on non-linear dynamic system identification / A.I. Guda, A.I. Mikhalyov // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 4(99). – Дніпропетровськ, 2015. – С. 3–9.
3. Гуда А.И., Михалев А.И., Арсирий Е.А. Использование метода идентификации с множеством подвижных моделей применительно к динамической системе Лоренса / А.И. Гуда, А.И. Михалев, Е.А. Арсирий // Адаптивные системы автоматического управления. – 2015. – № 1(26). – С. 191–197.