

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЧЁТКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ВЫБОРЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ СИСТЕМ С ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКОЙ

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы синтеза беспойсковой системы идентификации нелинейных динамических систем. Используются методы, аналогичные процедуре дефазификации в нечётких системах. Полученная система идентификации отличается высоким быстродействием, и может служить источником информации при выборе стартовой точки поисковой идентификации.

Ключевые слова: хаотическая динамика, система Лоренса, идентификация, дефазификация.

Введение

Положительный опыт применения методов адаптивно-поисковой идентификации для определения параметров нелинейных систем, в том числе систем хаотической динамики, даёт возможность утверждать о достаточной универсальности данных методов. При наличии соответствующего критерия, в зависимости от условий, можно выбрать различные реализации систем идентификации [1–3]. В то же время, существуют определённые условия, ограничивающие применимость данных методов, или же снижающие их эффективность.

В первую очередь, наличие одной точки (или окрестности) поиска уменьшает вероятность нахождения экстремума функции качества в случае её мультимодальности. Этот же недостаток увеличивает время поиска, если начальная точка расположена далеко от экстремума.

Постановка задачи

Существование вышеупомянутых недостатков повышает актуальность задачи синтеза таких систем идентификации, которые не ограничиваются одной окрестностью поиска. Естественно, применение таких методов может быть неоправданно в случае высокой “стоимости” моделирования, или же когда количество параллельно работающих моделей ограничено в силу определённых причин.

Поведение и взаимодействие ансамбля поисковых систем представляет собой отдельную сложную задачу. В данной работе исследуется случай, когда параметры моделей фиксированы, и их значения представляют собой равномерную сетку на рабочем диапазоне значений. В этом случае функции качества идентификации, отражающие близость динамики моделей и объекта, можно

рассматривать как функции принадлежности в нечётких системах. Соответственно, для получения искомого значения параметра выполняется процедура, аналогичная дефаззификации.

В качестве тестовой нелинейной системы воспользуемся используется хаотическая система Лоренса [3]:

$$\begin{cases} \dot{x} = \sigma(y - x) \\ \dot{y} = x(r - z) - y, \\ \dot{z} = xy - bz \end{cases} \quad (1)$$

где x, y, z – переменные состояния системы, r – идентифицируемый параметр, определяющий динамику системы, $b = 2.667, \sigma = 10$ – фиксированные параметры.

В качестве критерия идентификации воспользуемся многократно проверенным соотношением вида [2]

$$\frac{dq}{dt} = \frac{1}{\tau} (x^2(t) - q(t)), \quad (2)$$

где τ – характерное время оценивания.

Функции качества идентификации для каждой из моделей зададим привычным для адаптивно-поисковой идентификации способом [4,5]:

$$F_i = F(q_o, q_{m_i}) = \exp \left(- \left(\frac{q_o - q_{m_i}}{q_\gamma} \right)^2 \right). \quad (3)$$

В работе [4] было отмечено, что использование функций качества данного вида приводит к ограничению рабочего диапазона поиска. В рассматриваемом методе этот недостаток роли не играет, так как не происходит смещение параметров моделей, и следовательно, величина q_γ определяет рабочий диапазон только одной модели.

При этом следует отметить, что в отличие от классических задач в нечёткой постановке, в которых расстояние между “центрами” функций принадлежности и “эффективная ширина” этих функций задаются экспертами и которые работают в одном пространстве соответствующей переменной, в предлагаемой системе, ввиду нелинейности зависимости величин q_i от параметра, как эффективная ширина, так и расположение функций также будут нелинейными (рис. 1).

В данной работе исследуется система идентификации с пятью моделями ($M_0 - M_4$), при этом значения коэффициентов моделей r_{m_i} расположены на рабочем диапазоне равномерно в пространстве параметра r .

Для проведения дефаззификации и получения значения идентифицируемого параметра r_x был использован подход “Center of gravity”, как и в методе Такаги-Сугено:

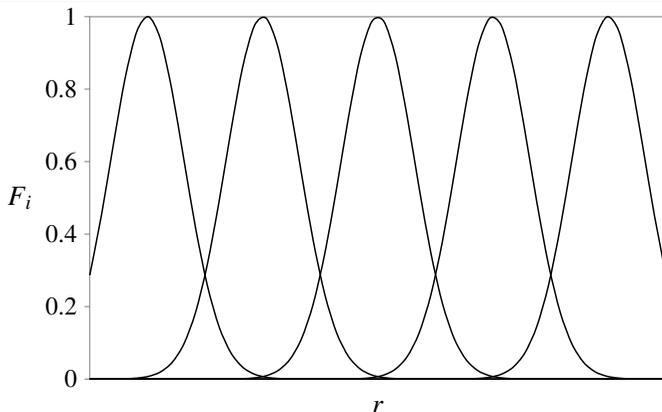


Рис. 1 – Набор функций качества идентификации

$$r_x = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} f_i r_{m_i}}{\sum_{i=0}^{n-1} f_i}. \quad (4)$$

Сравнение проводилось с адаптивно-поисковой системой идентификации, рассмотренной в работе [5], как продемонстрировавшей при прочих равных лучшие характеристики по скорости поиска и хорошие – по точности.

Результаты моделирования

Для моделирования процесса работы системы идентификации была собрана модель в программе qto2x (рис. 2)

В первую очередь, была проверена работоспособность системы и проведена первична настройка её коэффициентов. После этого, было проведено сравнение со схемой, предложенной в [5], при одинаковых значениях модельных и поисковых параметров.

На рис. 3 представлены результаты моделирования процесса поиска, в случае, если исходное значение идентифицируемого параметра r_s меньше искомого r_o . При этом, для предложенной системы точкой старта является “центр масс” при одинаковых значениях функций качества, а в контрольной системе это значение устанавливалось искусственно.

На рис. 4 представлены результаты моделирования процесса поиска, если $r_s < r_o$.

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что предлагаемая система идентификации обеспечивает значительно большую скорость локализации экстремума (практически на порядок),

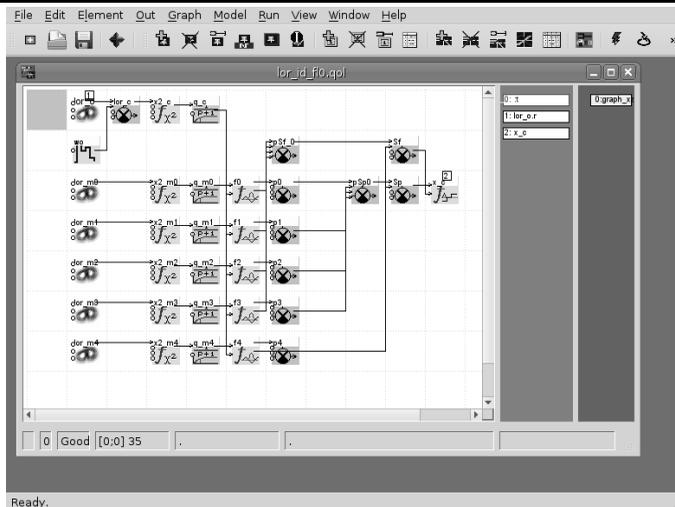


Рис. 2 – Модель системи ідентифікації в програмі qto2x

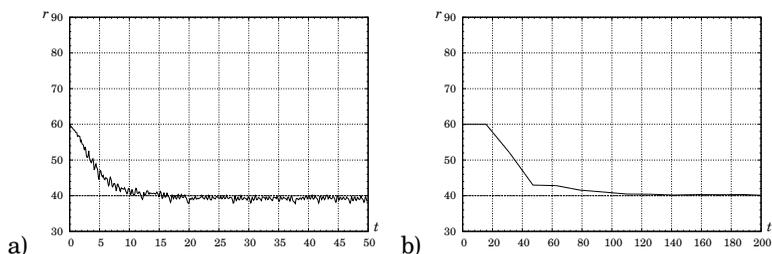


Рис. 3 – Процес ідентифікації системи (1) розглядаємою (а) і контрольним методом, $r_s > r_o$

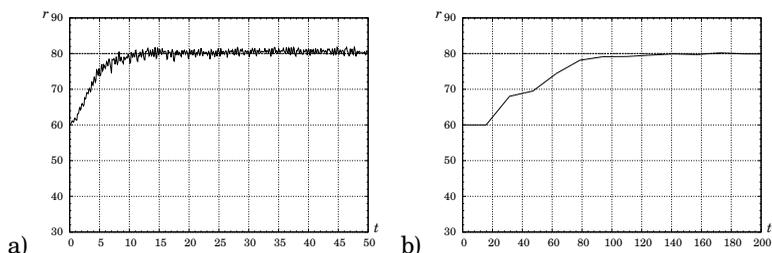


Рис. 4 – Процес ідентифікації системи (1) розглядаємою (а) і контрольним методом, $r_s < r_o$

и эта скорость ограничивается динамическими свойствами идентифицируемого объекта. С другой стороны, точность нового метода ограничена. Причем в отличие от поисковой схемы точность не растёт с течением времени, и определяется (при правильной настройке), как количеством параллельных моделей, так и нелинейностью зависимости функции качества от отклонения параметра.

Работоспособность системы достаточно сильно зависит от параметра q_γ , определяющего чувствительность функции качества. Для иллюстрации данного факта была проведена серия вычислительных экспериментов с различными значениями q_γ . Величина r_o принимала значения во всём рабочем диапазоне, и измерялась полученная ошибка идентификации $e = r_o - r_x$. Результаты представлены на рис. 5.

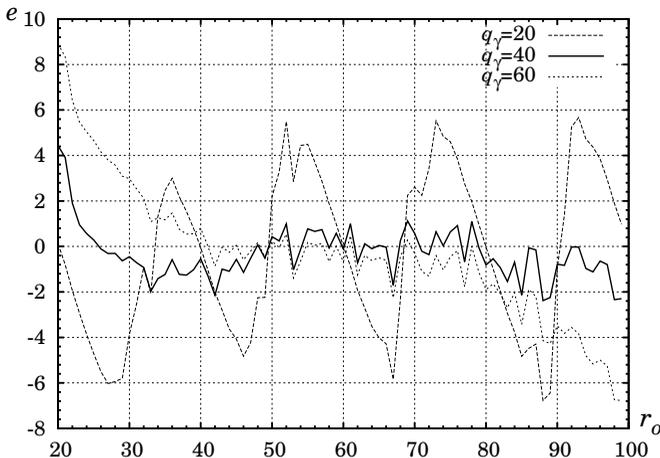


Рис. 5 – Зависимость ошибки идентификации e от r_o и q_γ .

При малых значениях q_γ (избыточная чувствительность) ошибка минимизируется вблизи каждой из моделей, но сильно растёт в промежутках. При недостаточной чувствительности из-за растущих краевых эффектов процесс идентификации проявляет адекватную точность только в середине интервала. На первый взгляд, такая зависимость работоспособности системы идентификации от величины q_γ является серьёзным недостатком. На самом деле, ввиду фиксированным значениям параметров моделей все необходимые настройки можно провести заранее, до проведения идентификации. Более того, в отличие от поисковых систем, значение данного параметра проще поддается адаптации в процессе работы – достаточно сравнить величины q_{m_i} соседних моделей.

Выводы

Результаты моделирования процессов идентификации при использовании как предложенной системы, и и сравнение и контрольной [5], позволяют сделать следующие выводы:

- предлагаемая системы обеспечивает высокое быстродействие, ограниченное только динамическими свойствами идентифицируемого объекта;
- точность идентификации, наоборот, довольно ограничена.

Совокупность этих свойств даёт возможность очертить круг задач, для которых применение данной системы оправданно. Во-первых, для тех случаев, когда действительно быстродействие является первоочередной задачей, а ограниченная точность допустима (при необходимости и достаточных вычислительных ресурсах можно просто наращивать количество моделей – экстенсивный путь). Во вторых, результат такой быстрой идентификации можно использовать в качестве стартовой точки для адаптивно-поисковой идентификации. При этом поисковая компонента обеспечивает точность, и не будет тратить время на выход в район экстремума. Более того, в данном случае повышается вероятность нахождения глобального экстремума.

Список литературы

1. *Михалёв А.И.* Адаптивно-поисковые методы и алгоритмы оптимизации и идентификации динамических систем. – Киев: НМК ВО, 1992. – 68 с.
2. *Михалёв А.И., Гуда А.И., Новикова Е.Ю.* Синтез критерия идентификации нелинейных динамических систем на физических принципах // Адаптивные системы автоматического управления. – 2007. – № 11(31). – С. 136–142.
3. *Гуда А.И., Михалев А.И.* Физические основы при синтезе критерия адаптивно-поисковой идентификации динамической системы Лоренса // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 2(79). – Дніпропетровськ, 2012. – С. 13–10.
4. *Гуда А.И., Михалев А.И.* Расширение рабочего диапазона поисковой идентификации нелинейных динамических систем // Адаптивные системы автоматического управления. – 2013. – № 2(23). – С. 122–127.
5. *Гуда А.И., Михалев А.И.* Повышение качества фильтрации при поисковой идентификации нелинейных динамических систем // Адаптивные системы автоматического управления. – 2014. – № 1(24). – С. 160–165.

Отримано 20.09.2014