

КРИТЕРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ХАОТИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ УПРАВЛЯЕМОГО ОБЪЕКТА

А.И. Михалев, профессор, д.т.н., А.И. Гуда, доцент, к.т.н., А.И. Дерев'янку, доцент, к.т.н., Национальная металлургическая академия Украины

Аннотация. Рассмотрены вопросы определения и использования специальных критериев для задачи идентификации нелинейных динамических систем. Предложен подход к созданию критериев идентификации, пригодных для идентификации систем, проявляющих свойства хаотической динамики.

Ключевые слова: идентификация, критерий, нелинейные динамические системы, адаптивно-поисковые методы идентификации.

КРИТЕРІЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ХАОТИЧНОЇ ДИНАМІКИ КЕРОВАНОГО ОБ'ЄКТА

О.І. Михальов, професор, д.т.н., А.І. Гуда, доцент, к.т.н., О.І. Дерев'янку, доцент, к.т.н., Національна металургійна академія України

Анотація. Розглянуто питання визначення та використання спеціальних критеріїв для задачі ідентифікації нелінійних динамічних систем. Запропоновано підхід до створення критеріїв ідентифікації, придатних для ідентифікації систем, що проявляють властивості хаотичної динаміки.

Ключові слова: ідентифікація, критерій, нелінійні динамічні системи, адаптивно-пошукові методи ідентифікації.

CRITERIA OF PARAMETRIC IDENTIFICATION FOR CONTROLLED OBJECT WITH CHAOTIC DYNAMICS

A. Mikhaylev, professor, dr. eng. sc., A. Guda, associate professor, cand. eng. sc., A. Derevyanko, associate professor, cand. eng. sc., National Metallurgical Academy of Ukraine

Abstract. The matter concerning special criteria definition for nonlinear dynamic systems identification problem solving are considered. The method of identification criteria creation, suitable for chaotic dynamics systems identification is offered.

Key words: identification, criterion, nonlinear dynamical systems, adaptive-search methods of identification.

Введение

Современные тенденции в развитии робототехнических систем, транспортных средств, технологических линий, требуют наличия

точных, надежных и быстродействующих систем управления. В свою очередь, критическим моментом при создании такой системы управления является наличие адекватной математической модели. При этом ввиду

сложности и нелинейности моделируемых систем и процессов, не определенных заранее всех условий эксплуатации и, зачастую, недостаточно изученном влиянии этих условий на поведение системы, представляется невозможным априорное определение значений параметров моделей. В этих случаях измерение текущей информации и ее использование в контуре параметрической идентификации должно быть обязательным при синтезе системы управления.

Нелинейные динамические системы, широко представленные в современных технологических и природных процессах, несмотря на детерминизм их определения, в определенных режимах могут вести себя хаотически [1, 2]. При этом пренебрежимо малые возмущения во входных воздействиях и параметрах самой системы приводят к значительным, но конечным возмущениям выходного сигнала. Следствием данного факта является неработоспособность широко распространенных критериев качества идентификации.

Анализ публикаций

Существует набор критериев для анализа хаотичности динамических систем, таких как: фрактальная размерность, показатель Ляпунова, сечение Пуанкаре [1, 2]. Однако для задач идентификации параметров систем данного класса использование вышеупомянутых критериев не является рациональным, ввиду малого диапазона изменения и существенных вычислительных затрат. С другой стороны, использование хорошо зарекомендовавших себя методов адаптивно-поисковой идентификации [3] невозможно без создания достаточно простых в реализации критериев, отражающих влияние идентифицируемых параметров на динамику системы. В работе [4] представлен метод синтеза критерия идентификации для системы с сухим трением, основанный на использовании физических характеристик. В данной же работе аналогичный подход используется для идентификации нелинейной динамической системы Дuffинга.

Цель и постановка задачи

Рассмотрим динамическую систему Дuffинга в ее постановке с сохранением физического смысла величин

$$m\ddot{x} + v\dot{x} + k_1x + k_3x^3 = F(t), \quad (1)$$

где m – масса объекта, $x(t)$ – координата (выходной сигнал), $F = F_0 \sin(\omega_m t)$ – внешняя возмущающая сила, k_1 и k_3 – коэффициенты линейной и нелинейной компоненты возвращающей силы, v – коэффициент демпфирования.

При хаотических режимах данная система демонстрирует существенное различие в выходных сигналах при малом изменении параметров или входов. Данная система проявляет хаотические свойства только при малых значениях v . При большем влиянии диссипативной составляющей система (1) качественно не отличается от линейной колебательной системы, и для её идентификации применимы известные критерии.

На рис. 1 приведён фазовый портрет системы (1) для $t \in [1, 500]$. Большое время моделирования приводит к сплошному заполнению области аттрактора, что является косвенным подтверждением хаотичной динамики системы.

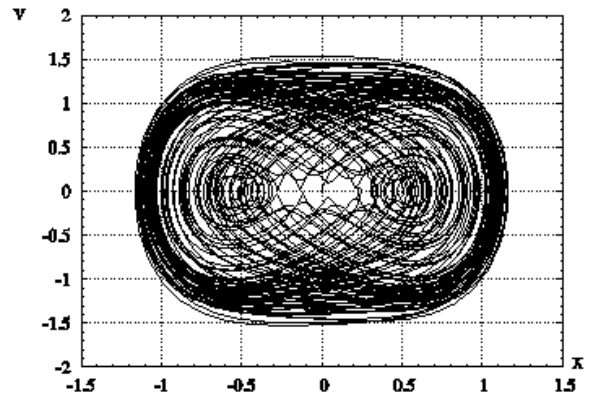


Рис. 1. Фазовый портрет системы

Ставится задача разработки такого вида критерия, который бы позволил использовать существующие методы идентификации, в частности, с применением адаптивно-поисковых методов настройки коэффициентов модели.

Синтез критерия идентификации

Рассмотренный в работе [4] критерий идентификации, построенный на основе физических принципов, показал свою применимость для системы с сухим трением. Тем не менее,

прямое использование предложенного критерия для данной системы Дуффинга оказалось невозможным. Прежде всего, данный критерий оценивает потери энергии в системе на сухое трение. Это напрямую связано с постановкой задачи идентификации параметров трения и не имеет смысла для системы вида (1). К тому же, рассматриваемая в данной работе система из-за малой величины ν очень близка к консервативной, и наблюдаемые изменения полной энергии системы в основном обусловлены взаимодействием с внешним источником энергии – входным сигналом $F(t)$.

Прежде всего отметим, что при неизменных параметрах системы и входного сигнала, несмотря на то, что система и среда постоянно обмениваются энергией, среднее значение полной энергии системы остаётся постоянным. В полную энергию вносят свой вклад кинетическая и потенциальная энергии

$$E_k = m \frac{\dot{x}^2(t)}{2}; E_p = \frac{k_1 x^2}{2} + \frac{k_3 x^4}{4}. \quad (2)$$

Как следует из (2), идентифицируемая величина k_3 непосредственно входит только в выражение для потенциальной энергии, причём её влияние играет большее значения при максимальных значениях x . Казалось бы, что в качестве величины, определяющей критерий идентификации, можно было бы взять максимальное значение выходного сигнала при нулевом входе, так как при этом кинетическая энергия системы нулевая, и создаются благоприятные условия для идентификации. Однако, это достаточно редкие случаи, чтобы на их основе строить надёжно работающую систему идентификации, и естественно, возникает вопрос о точности измерений таких редких событий.

Воспользуемся тем, что влияние параметра k_3 наиболее существенно при максимальных значениях x , и, следовательно, определяет величину

$$P = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} x^2(t) dt, \quad (3)$$

где τ – достаточно большой интервал усреднения. В свою очередь, данную величину просто измерять, из-за большого значения τ

(обычно порядка нескольких десятков периодов входного сигнала) влияние шумов измерения минимально. В качестве критерия идентификации при этом можно использовать величину $(P_o - P_m)^2$, где индексы o и m соответствуют объекту и модели.

Моделирование процесса идентификации

Для идентификации системы (1) использовался метод адаптивно-поисковой идентификации с двумя моделями и двумя УГПК [3]. Как для объекта, так и для каждой из моделей измерялась величина P (выражение (3)), и эти величины использовались как входной сигнал для системы идентификации.

На рис. 2 представлены результаты моделирования процессов идентификации параметра k_3 , при этом величина параметра отображена в безразмерном виде $\beta = \frac{k_3}{m}$.

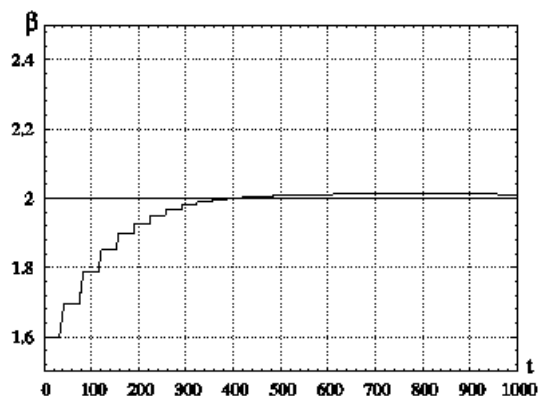


Рис. 2. Результаты моделирования процесса идентификации

Из анализа графика можно сделать вывод, что процесс идентификации достиг результата примерно за 300 периодов входного сигнала, что много хуже, чем для системы с сухим трением, и ещё хуже, чем для нелинейных систем, не проявляющих хаотической динамики. По всей видимости, это связано с тем, что с физической точки зрения трудно разделить влияния линейной и нелинейной компонент возвращающей силы. Влияние идентифицируемого коэффициента существенно только при больших величинах x , следовательно, для измерения влияния этого параметра требуются большие интервалы оценивания.

Выводы

Несмотря на низкое быстродействие полученной системы идентификации, поставленная цель достигнута – предложенный критерий позволяет оценить параметр, определяющий хаотичность классической нелинейной системы Дуффинга.

Применение подобных критериев в системах идентификации нелинейных динамических систем позволяет расширить класс задач, включив в него, по крайней мере, некоторые из систем динамического хаоса. В свою очередь, оперативная идентификация параметров может позволить повысить качество работы систем управления сложными технологическими и транспортными системами.

Литература

1. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров. – М.: Мир, 1990. – 312 с.
2. H.J. Korsch, H.J. Jodl, T. Hartmann. Chaos: A program collection for the PC. – Springer, 2007 – 342 p.
3. Михалёв А.И., Гуда А.И. Сравнительный анализ алгоритмов поисковой идентификации нелинейных систем // Адаптивные системы автоматического управления. – 2000. – № 3(23). – С. 99–108.
4. 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.

Рецензент: А.В. Бажинов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 12 октября 2009 г.
