УДК 681.53

МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕКТОВ

Базарбаев К. А., Олиферович Н. М., Гринюк Д. А.
Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Очень важно иметь четкое представление о системе в целом, перед тем как начинать работу с ней: решать вопросы настройки регуляторов, осуществлять управление. На практике зачастую анализ тех или иных систем происходит путем идентификации и математического моделирования. Моделирование и идентификация связаны между собой и являются ключевыми процессами при изучении систем. Они являются предварительной стадией перед практическим построением реальных контуров автоматического управления.

Математическое моделирование систем само по себе является обширной областью, богатой множеством методик, основанных на различных подходах и принципах, хорошо зарекомендовавших себя. Среди множества вариантов трудно переоценить моделирование на основе физических принципов. Применение данных подходов при моделировании реальной физической системы дает нам в общей форме математическое описание с основными параметрами. Итоговая модель фактически представляет собой класс моделей, из которых поиск конкретного члена осуществляется посредством процесса идентификации и оценки параметров системы.

В литературе можно найти множество обзоров обширного класса системной идентификации. Так, вопросы идентификации непрерывных систем рассматривались в [1–3]. Следует рассмотреть общие предпосылки двух основных параметров идентификации системы, а именно: «уставка дискретного времени *DT*» и «уставка, которая учитывает неотъемлемую составляющую непрерывного времени» и попытки установить аспекты непрерывного времени (*CT*) в перспективе идентификации системы, что позволяет, в свою очередь, сохранить общую картину системной идентификации путем интеграции определенных характеристик.

Основные проблемы идентификации реальных объектов и систем были сформулированы Задэ [4] и в общем виде могут быть представлены структурой, представленной на рисунке 1.

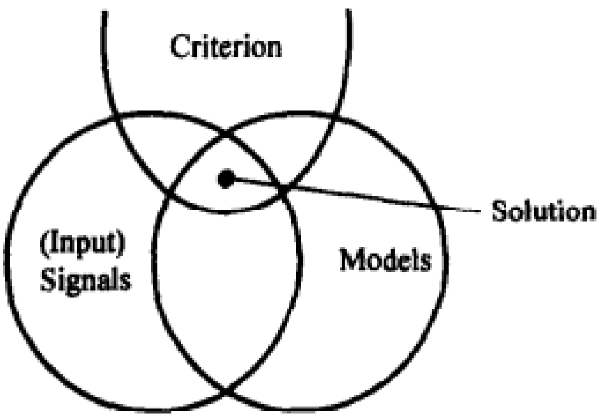


Рисунок 1 – Задачи идентификации системы

Она характеризуется тремя составляющими: классом моделей, классом входных сигналов и критериями. Результат решения задачи идентификации системы будет успешным, если исходная задача правильно сформулирована в терминах вышеперечисленных составляющих. Класс моделей должен быть соответствующим, а набор сигналов должен обладать свойством стойкого возбуждения относительно модельного класса. Идентификация системы обычно не является самостоятельной задачей, а предназначена для дальнейшей обработки. Аструм и Эйхофф проводили анализ роли трех составляющих в проблеме системной идентификации. Например, классификация основных методов основана на критерии, порождающем выходную ошибку (*OE*), ошибку уравнения (*EE*), прогнозируемую ошибку (*PE*) и т. д. Различные формы модели, которые возникают из-за характера системы, требуют различных подходов при их обработке. В частности, модели *CT* требуют специальных подходов к обработке сигналов. Общая схема методов идентификации на основе *CT* показана на рисунке 2.

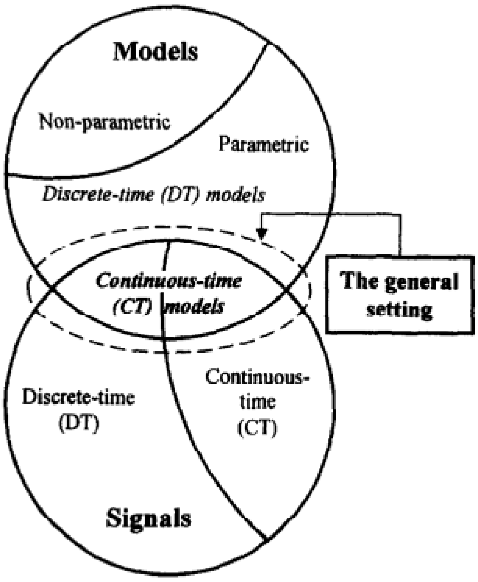


Рисунок 2 – Общая настройка для идентификации непрерывных систем

Можно выделить следующие преимущества моделей *CT*:

– модели физических систем, выведенные из физических принципов, по своей сути непрерывны во времени, потому что физические законы, на которых основано такое моделирование, находятся в *CT*;

– модели *CT* помогают лучше понять физическое поведение рассматриваемой системы. Параметры модели сильно коррелируют с физическими свойствами системы;

– не возникает вопросов чрезмерной чувствительности по отношению к параметрам модели, которые возникают в случае дискретизации;

– частичные знания, если они есть, сохраняются в моделях *CT*. Если модель *CT*, содержащая набор известных параметры, дискретизируется, то в процессе дискретизации они теряются;

– дискретизация моделей *CT* может привести к неестественному неминимально-фазовому характеру;

– обычные методы *DT* не гармонируют с поведением *CT*; в пределе сокращенного периода дискретизации они не сходятся к результатам, соответствующим исходной модели *CT*.

Обратный переход от модели *DT* к исходной модели *CT* является нетривиальной задачей.

Основная трудность в работе с моделями *CT* обусловлена наличием операторов производной, связанного с входными и выходными сигналами. Пока эти сигналы доступны для измерения с учетом наличия соответствующих искажающих шумов, прямое определение требуемых производных проводить нежелательно. Эта трудность должна быть устранена предварительной обработкой сигналов. В качестве альтернативы, дискретизация модели *CT* должна быть выполнена с использованием нетрадиционного оператора дискретного времени (*UDT*), который соответствует *CT* в том смысле, что модель *DT* сходится к исходной версии *CT*, когда интервал выборки стремится к нулю.

Различные подходы, которые описываются в литературе, могут быть классифицированы как показано на рисунке 3, на котором класс модели обозначен как *CT*/*UDT*.

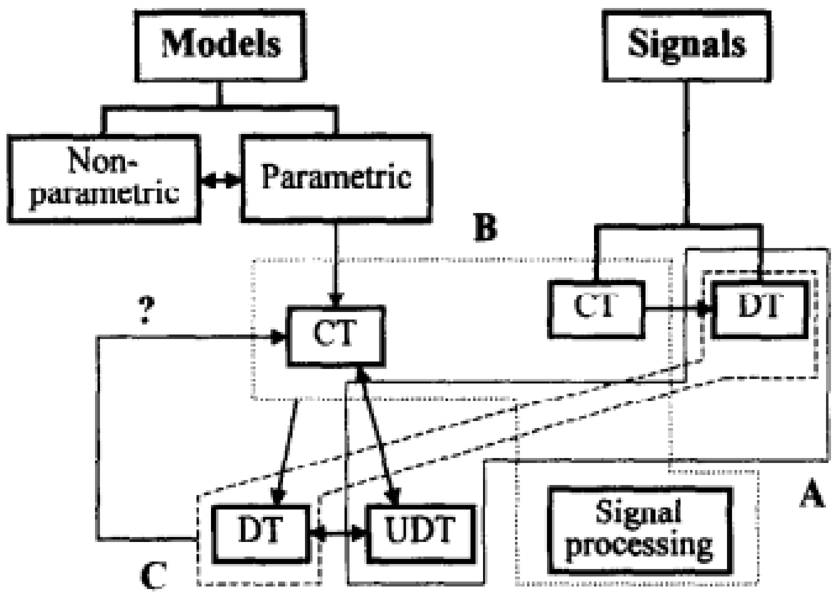


Рисунок 3 – Подходы к идентификации непрерывных систем при комплексном подходе

Различные подходы к идентификации непрерывных систем можно разделить на три широких класса, как показано на рисунке 3. Они основаны на общей структуре, представленной на рисунке 4.

Согласно рисунку 3 это следующие классы:

А: Подходы, использующие сигналы *DT* для идентификации модели *DT*, которая затем преобразуется в исходную форму *CT*.

В: Подходы, использующие сигналы *CT* для прямой идентификации собственной модели *CT*.

С: Подходы, использующие сигналы *DT*, приводят к модели *UDT*, которая сходится к своей исходной *CT*.

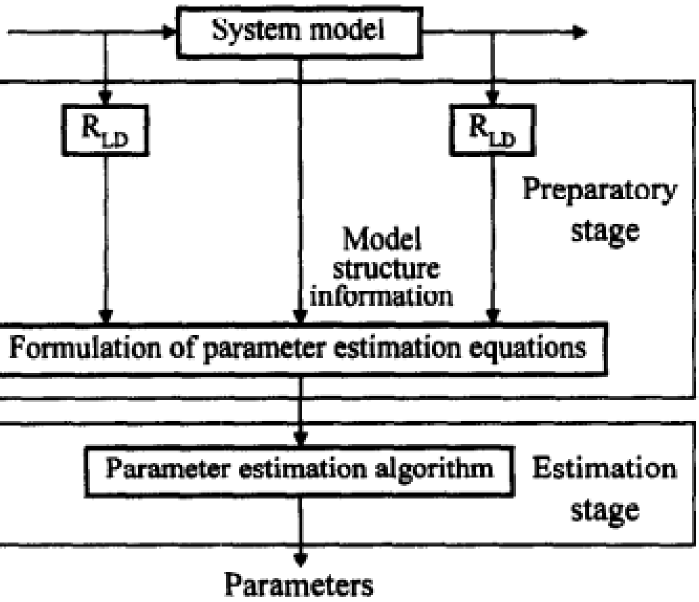
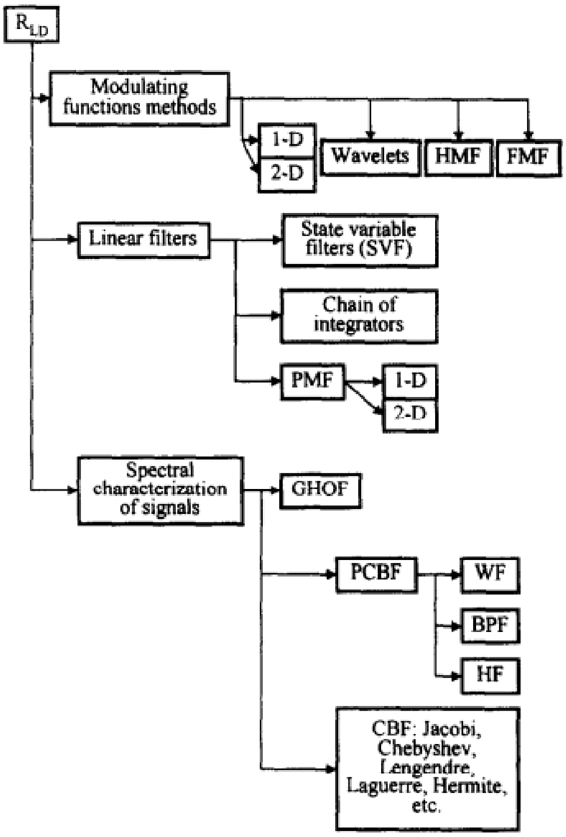


Рисунок 4 – Общая структура для идентификации систем непрерывного времени



PMF – функционалы момента Пуассона; GHOF – общие гибридные ортогональные функции; PCBF – кусочно-постоянные базисные функции; CBF – непрерывные базисные функции; WF – функции Уолша; HF – функции Хаара; BPF – функции блочного импульса; HMF – функции модуляции Хартли; FMF – функции модуляции Фурье

Рисунок 5 – Несколько вариантов операции предварительной обработки сигнала RLD

Необходимость генерировать производные по времени в моделях *CT* устраняется классом методов обработки сигналов, обозначаемых операцией *RLD*. Предшественником этого класса методов является метод модуляции функций [5]. На рисунке 5 показано генеалогическое древо различных методов обработки сигналов, относящихся к этому классу.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Aström, K. J. System identification / K. J. Aström, P. Eykhoff. – 1971. – A survey. *Automatica*, 7(2). – pp. 123–162,

2. Young P. Parameter estimation for continuous-time models P. Young. – A survey, *Automatica*. – vol.17. – issue.1. – pp. 23–39, 1981.

3. H. Unbehauen and G. P. Rao, Continuous-time approaches to system identification – A survey, *Automatica*, vol.26, issue.1, pp. 23-35, 1990.

4. Zaden, L. A. From Circuit Theory to System Theory. / L. A. Zaden. – 1962. – Proc. IRE, vol. 50. – pp. 856–865.

5. Shinbrot, M. On the analysis of 1Linear and nonlinear systems / M. Shinbrot. *Trans. ASME*. 1957. – № 79. –pp. 457–547.

УДК 681.5

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЯЕМОЙ СРЕДЫ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОМЕТРОВ

Бакаленко В. И., Дейнека Т. А.

Белорусский государственный технологический университет,
г. Минск, Беларусь

В [1], [2] рассматривался способ уменьшения инерционности термометров путем обработки микроконтроллером в реальном масштабе времени данных, поступающих с первичного преобразователя, где отмечалось, что применимость метода во многом зависит от того, насколько принятая в модели постоянная времени ($T_{\text{м}}$) соответствует реальной ($T_{\text{о}}$).

При ступенчатом изменении измеряемого параметра максимальную ошибку, обусловленную отличием реальной постоянной времени термометра от модели, можно оценить по формуле

$$\delta(T_O, T_M, \Delta t) = \frac{1 - e^{-\frac{\Delta t}{T_0}}}{1 - e^{-\frac{\Delta t}{T_M}}} = \frac{1 - e^{-\frac{T_M}{T_0 \cdot n}}}{1 - e^{-\frac{T_M}{T_0 \cdot n}}}, \tag{1}$$

где Δt – интервал измерений.

Интервал измерений выбирается как часть постоянной времени модели, то есть $\Delta t = T_{\text{м}}/n$.

Зависимость ошибки расчета от интервала измерений и отношения $T_{\text{м}}/T_0$ показана на рисунке 1. Из рисунка следует, что уменьшение интервала измерений