

УДК 519.8

А.Ю. Выжигин, Е.В Никульчев
ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ПОДХОД К
ИДЕНТИФИКАЦИИ И ДИАГНОСТИКЕ
ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Приведен анализ задач управления, идентификации и диагностики при комплексной автоматизации технологических процессов. Для решения задач диагностики предложен подход, основанный на специализированном геометрическом методе моделирования нелинейных систем по экспериментальным данным.

Ключевые слова: управление, идентификация, диагностика, геометрический метод, моделирование, нелинейные системы.

Введение. Одной из основных проблем при создании и эксплуатации сложных технических систем является разработка и наладка их систем управления. При синтезе систем управления обычно принимается гипотеза разделимости, т.е. считается, что задача идентификации и задача управления могут быть решены в отдельности. Однако подобное разделение не всегда приводит к корректному решению, так как при управлении не учитывается погрешность идентификации [1, 2]. Поэтому более эффективным является дуальный подход А.А. Фельдбаума [4], заключающийся в совмещении процессов идентификации и управления.

В современных системах автоматического управления (САУ) перспективным является дуальное управление, в котором управляющие воздействия носят двойственный характер: служат для изучения объекта управления и для приведения его в требуемое состояние. Дуальное управление применяют в САУ в том случае, когда априорная информация в регуляторе об объекте управления не является достаточной и изучение поведения устройства управления может дать дополнительные сведения о его свойствах. При этом регулятор решает две задачи: на основании поступающей информации формирует диагноз состояния объекта управления и затем определяет, какие действия необходимы для управления. В общем случае в САУ процессы диагностики объекта управления и, собственно, управления им взаимосвязаны и образуют сложный двойственный, или дуальный процесс, развитие которого определяет качество работы САУ.

Постановка задачи. В настоящее время

решение триединой задачи: управления, идентификации и диагностики при комплексной автоматизации технологических процессов является необходимым условием обеспечения надежности, безопасности и конкурентоспособности производств.

При идентификации объектов следует различать две задачи:

- 1) определение структуры и параметров объекта;
- 2) определение параметров объекта при заданной или принятой его структуре.

Наиболее часто решается вторая задача, так как в большинстве случаев структуру объекта можно выбрать, основываясь на априорных сведениях об объекте.

При идентификации объектов методами активного эксперимента предполагается возможность подачи на вход исследуемого объекта известного сигнала (импульс, ступенчатый сигнал, синусоида, белый или коррелированный шум, псевдослучайная двоичная последовательность и т.д.). При выборе сигнала желательно, чтобы он принадлежал к классу устойчивых возмущений порядка n . Как известно, наличие пробных возмущений достаточно для получения состоятельных оценок.

Однако для большинства технологических объектов задача определения характеристик может быть решена только по результатам их нормального функционирования. В этих случаях применяют методы, позволяющие на основе пассивного эксперимента получить динамические характеристики объектов. При отсутствии помех задача определения характеристик объектов решается детерминированными методами, при наличии же помех применяются

статистические методы.

Цель работы — познакомить специалистов с геометрическим подходом к идентификации и диагностике динамических систем с целью расширения набора инструментальных средств для построения систем диагностики.

Геометрический подход. Задача математического описания при организации активного эксперимента тесно связана с задачей оптимизации - определения области значений параметров, для которых выходной показатель стремится к экстремуму. Общая задача может быть разбита на два этапа. Первый - этап «крутого восхождения», при котором проведение эксперимента обычно планируется на двух уровнях, что позволяет получить линейную модель процесса и использовать ее для движения по градиенту к оптимуму. На втором этапе вблизи оптимальной области необходимо более тщательное изучение имеющей место зависимости, что приводит к более сложным схемам планирования эксперимента на трех уровнях [3].

Основная цель диагностики состоит в определении технического состояния различных, в первую очередь сложных изделий, устройств и систем. Эта цель в полной мере соответствует смыслу термина «диагностика», заимствованному из медицины.

В одной из первых работ [5] по диагностике состояния дискретных комбинационных устройств предполагалось, что процесс диагностики представляет собой процесс управления с многократной подачей на устройство управляющих воздействий (тестовых входных наборов). Так происходит почти во всех более или менее сложных случаях, причем управляющие воздействия могут быть более сложными, а их состав и последовательность подачи могут зависеть от ответов объекта диагностики на эти воздействия.

Иными словами, процесс проверки технического состояния некоторого объекта есть процесс управления этим объектом, выполняемый по определенной программе. Построение программы проверки, оптимальной в смысле экстремума той или иной целевой функции оптимизации, равносильно организации соответствующего оптимального процесса управления, результатом которого является определение технического состояния объекта.

В настоящее время формирование программ управления, идентификации и диагностики может быть осуществлено на основе имеющихся или самостоятельно разрабатываемых математических методов, управляемых и программных систем.

Для построения диагностических систем необходимо использовать специализированные методы идентификации, одним из которых является метод, предложенный в работе [6]. Некоторым недостатком с точки зрения физического моделирования является построение моделей в режиме нормального функционирования с качественно эквивалентным аттрактором. Это же свойство может являться для диагностики положительным. Появление в режиме функционирования новых качественных состояний (нехарактерных циклов или других существенных изменений фазового портрета) может служить основанием для выявления неисправностей. Причем, учитывая особенности метода, неисправности могут быть как в случае сбоя системы, так и в случае сбоя системы наблюдения (последняя дает новые качественные изменения, вызванные дифференцированием шума).

Суть метода состоит в следующем. Пусть исследуемые экспериментальные данные являются измеряемыми процессами, порожденными нелинейными уравнениями вида

$$\dot{x} = f(x, u), \quad (1)$$

где f — C^r -гладкая относительно всех своих аргументов вектор-функция, определенная на $D \times U$; x — n -мерный вектор состояний системы из $D \subseteq U$; D — область в многообразии X ; u — p -мерный вектор допустимых управлений $U \subseteq \mathbf{R}^p$ ($p \leq n$); $\dot{x} \in T_x X$; $T_x X$ — касательное пространство к X в точке x , определяемой допустимыми управлениями; t — непрерывное время.

В соответствии с теоремой Тураева [7] о центральном многообразии в малой окрестности O существует локальное центральное многообразие, содержащее множество всех траекторий, остающихся в малой окрестности точки O при всех значениях времени $t \in -\infty, +\infty$. Локальное центральное многообразие задается уравнением $\{y = 0, z = 0\}$:

$$\dot{x} = Ax(t) + \Psi_0(x), \quad (2)$$

где $\Psi_0(x)$ предлагается определять на основании построения группы симметрий по преобразованиям, найденным по восстановленному аттрактору.

Неоднозначно определяемые функции, представляющие собой центральное многообразие, имеют одинаковые инфинитезимальные образующие, а следовательно, локально могут быть описаны одной группой симметрий [8]. Это

справедливо в каждой точке, траектория которой остается в малой окрестности O при всех значениях t . Следовательно, рассматриваемая система может быть идентифицирована на основании инвариантов центрального многообразия — групп преобразований фазовых траекторий.

Иными словами, для реконструкции нелинейной системы в виде (2) предлагается выделить локальные области фазовых траекторий, близких к периодическим, и построение конечнопараметрических преобразований, переводящих одну область в другую. То есть построение группы симметрий фазовых траекторий, которая характеризуется преобразованием графиков:

$$\text{graph}\{\varphi_1(x(t), u(t))\} \rightarrow \text{graph}\{\varphi_2(x(t), u(t))\}.$$

Для управляемых систем с нелинейной динамикой можно воспользоваться классической техникой группового анализа, изложенной, например, в [8].

Пример идентификации. Рассмотрим в качестве объекта моделирования реальную систему управления трафиком корпоративной компьютерной сети, структура которой рассмотрена в [9].

Идентификация параметров системы в форме (2) с помощью метода наименьших квадратов дает следующий результат:

$$A = \begin{bmatrix} 0.9413 & -0.1805 & 0.1164 & -0.0295 \\ -0.0545 & 0.8226 & 0.1622 & 0.1056 \\ 0.0014 & -0.0105 & -0.4455 & 0.8474 \\ -0.0062 & 0.0341 & -0.8860 & -0.5404 \end{bmatrix};$$

$$\Psi_0 = \begin{bmatrix} 0.0399 \\ 0.0463 \\ -0.4848 \\ -0.1851 \end{bmatrix} (\exp(t^{0.0001}) \sin(t^{0.4})).$$

На рисунке 1 приведен реконструированный аттрактор системы. На рисунках 2, а, б приведено сравнение динамики исходной системы и реконструированной модели.

Анализ трафика канала связи показал, что за год структура трафика не менялась. Таким образом, несоответствие геометрических свойств модели и трафика может свидетельствовать о сбоях системы и требовать более подробного диагностического анализа. При наличии сигнала о сбое системы мониторинга диагностировать сбои в работе оборудования и каналов связи, а при их отсутствии проводить анализ структуры трафика на предмет появления новых видов трафика или изменения долей, к примеру, вызванных вирусами или сетевыми

атаками. При этом если изменение структуры трафика не вызвано вредоносными системами и является долговременным, необходимо изменение геометрических свойств модели.

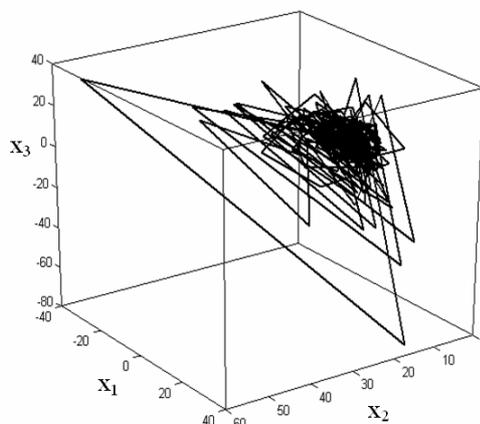
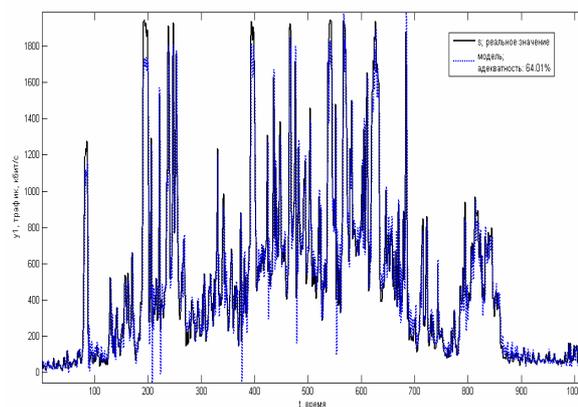
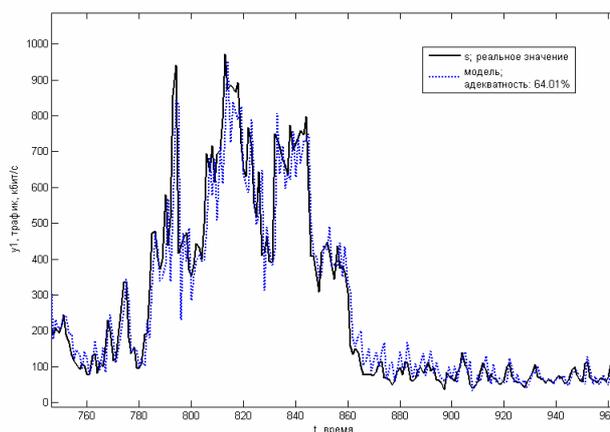


Рисунок 1 – Реконструированный аттрактор



а – Динамика изменения трафика



б – Фрагмент временного ряда

Рисунок 2 - Сравнение поведения идентифицированной модели и реального трафика корпоративной сети

Заключение. В статье сформулированы принципы использования принципиально нового геометрического подхода к идентификации для

построения систем диагностики. Предложенный подход пополняет арсенал средств специалистов, занятых созданием систем диагностики, новым эффективным инструментом.

Работа выполнена частично при финансовой поддержки РФФИ (проект №07-08-00433а).

Библиографический список

1. Емельянов С.В., Коровин С.К. Алгоритмы управления и идентификации. Сб. науч. тр. Ин-т системного анализа. Москва, МГУ, 1997. -170 с.
2. Заика Ю.В. Управление и алгоритмы наблюдения и идентификации: учеб. пособие/ - Петрозаводск: Петрозавод. гос. ун-т, 2001. – 163 с.
3. Налимов В.В., Черкова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. — М.: Наука, 1965. – 264 с.
4. Фельдбаум А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем. - М.: Физматгиз, 1963. -341 с.
5. Яблонский С.В., Чегис И.А. О тестах для электрических схем // Успехи математических наук. 1955. Т. 10. Вып. 4 (66).
6. Никульчев Е.В. Геометрический подход к моделированию нелинейных систем по экспериментальным данным / Монография. — М.: МГУП, 2007. — 162 с. (ISBN 978–5–8122–0926–1)
7. Никульчев Е.В. Геометрический метод реконструкции систем по экспериментальным данным // Письма в Журнал технической физики. 2007. Т. 33. Вып. 6 – С. 83-89.
8. Шильников Л.П., Шильников А.Л., Тураев Д.В. и др. Методы качественной теории в нелинейной динамике. Пер. с англ. М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003 – 415 с.
9. Никульчев Е.В., Паяин С.В. Построение модели загрузки каналов связи в сетях передачи данных на основе геометрического подхода // Известия вузов. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2008.— №6.— С. 91–95.