

УДК 531.3(075.8)

В.Г. Зайцев

СЕЛЕКТИВНО-ИНВАРИАНТНЫЙ СИНТЕЗ В ЗАДАЧАХ НЕЛИНЕЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В работе рассматриваются проблемы использования в задачах синергетического управления селективно-инвариантного синтеза. На примере показываются его возможности и преимущества.

Ключевые слова: синергетика, адаптивное управление, синтез, АКАР.

Введение

Главным отличием технологической деятельности в настоящий момент, является освоение принципиально новых типов объектов и процессов, которые представлены в виде сложных саморазвивающихся макросистем. Известно, что в открытых макросистемах возникают кооперативные явления, основанные не на силовых, а на информационных взаимодействиях. Результатом действия таких эффектов, является порождение новых структур без каких-либо внешних (силовых) воздействий. Указанного рода принципиально новые кооперативные явления в макросистемах, непременно следует учитывать при разработке новых и совершенствовании существующих технологий. Проблемы управления такого рода динамическими системами являются чрезвычайно сложными для теории управления. Актуальным является переход на идеи самоорганизации синергетики – создания способов формирования и резонансного возбуждения внутренних сил взаимодействия, способных породить в фазовом пространстве синтезируемых систем желаемые структуры – аттракторы соответствующей системы. Процесс самоорганизации – это процесс рождения из физического хаоса некоторых устойчивых упорядоченных структур с новыми свойствами систем. Это возможно только для открытых систем, обменивающихся с внешней средой энергией, веществом и информацией. Для синергетических систем – это первое фундаментальное свойство, а вторым является

непрерывное взаимодействие, т.е. когерентность поведения между компонентами системы.

Синтез нелинейных систем значительно усложняется, когда непосредственному измерению доступна лишь часть координат состояния объекта и имеются недоступные измерению внешние и параметрические воздействия. Вычислительно реализуемое решение задач управления такими объектами становится возможным с использованием подхода асимптотических наблюдателей состояния и воздействий.

Отметим, что реализация построения на данных принципах регуляторов, учитывая достигнутый уровень развития микропроцессорной техники, перспективна и востребована производителями многих существующих систем управления.

Данные методы построения асимптотических наблюдателей были предложены в [1, 2], а реализация нейро-сетевых подходов рассмотрена в [5].

Из всех известных методов синтеза оптимальных управлений, по мнению авторов [2], наиболее эффективным в практическом применении к сложным нелинейным системам является метод с прогнозирующей моделью и функционалами типа обобщенной работы (ФОР). Это обусловлено следующим: А) ограниченные вычислительные затраты, продолжающие играть решающую роль, несмотря на новые поколения компьютеров; Б) робастность вследствие регуляризации (по А.Н.Тихонову) за счет добавления в классический функционал затрат на управление в оптимальной системе; В) обращение в нуль оптимальных управлений на естественном (свободном) движении (уникальное свойство).

Эти свойства в наибольшей степени отвечают требованиям к управлению в синергетической постановке, однако для условий многосвязности и многовариантности метод требует расширения.

Трудность решения многоэкстремальных многомерных задач широко известна. Однако в последнее время появились алгоритмы повышенной эффективности данного назначения, в частности так называемый селективно-усреднительный алгоритм. В нем сочетается преобразование целевой функции для выделения главного экстремума с методом Монте-Карло для поиска области главного экстремума и

приближенного вычисления интеграла Пуассона. Метод не чисто эвристический и в некотором смысле приближается в оптимальному.

Но имеется и внутренняя причина слабого внедрения оптимального управления, особенно для сложных нелинейных систем. Она связана с проблемой математических моделей (ММ). Несмотря на информатизацию, развитие вычислительной математики и алгоритмов идентификации, банки сертифицированных (верифицированных) ММ остаются слабо заполненными. Это связано с большими необходимыми интеллектуальными и временными затратами для создания адекватных ММ сложных нелинейных процессов и систем.

Для новых процессов и систем высокой сложности это создает большие трудности, так как эти процессы и системы, как правило, не могут функционировать без управления, а ММ часто не может быть идентифицирована и сертифицирована без реально функционирующей системы. Поэтому весьма актуальна проблема адаптивного самоорганизующегося управления.

Адаптивное управление как часть теории и техники управления существует уже многие десятилетия. Однако до последнего времени она не получила решения на уровне современных требований. В настоящее время развита теория адаптивного регулятора (АР) нового класса, который можно назвать самоорганизующимся. С ним связывается возможность решения проблемы «безмодельного управления», при котором конкретная ММ управляемого объекта не известна ни на стадии проектирования контура управления, ни в процессе его функционирования. Такая возможность появляется за счет автоматического выбора и перестройки алгоритма управления в течении одного или нескольких достаточно коротких циклов, длительность которых определяется допустимой дискретностью обновления величины управляющего воздействия.

Самоорганизующийся АР приспособливается достаточно быстро к самым различным объектам, включая нестационарные и нелинейные. Для адаптивных регуляторов традиционных классов это недоступно. Главное отличие новых АР от традиционных заключается в том, что осуществляется оптимизация на коротком интервале времени. Такая оптимизация «в коротком» делает поведение объекта предсказуемым посредством универсального способа экстраполяции. Границы

применимости нового класса АР еще не определены, но есть основания считать, что они широкие.

Экстраполяция наиболее важных сигналов и оценивание производных позволит применять самоорганизующиеся наблюдатели для диагностики, реконфигурации, сигнализации, идентификации, а также поддержки принятия решений операторами.

Что касается проблемы управления в синергетической постановке с учетом многосвязности и многовариантности, то самоорганизация в указанной форме обеспечит только локальную оптимизацию пути. Для поэтапного выбора пути это может дать многое, даже в условиях отсутствия ММ («карты» многообразий в пространстве состояний). Действительно, даже в условиях плохой видимости в абсолютно незнакомой горной местности можно методом проб и ошибок найти путь к конечному пункту маршрута, если известно направление (азимут). Применение процедур типа селективно-усреднительного алгоритма, в сочетании с поэтапным выбором, позволяет решать и задачи глобальной оптимизации в условиях многосвязности области достижимости. Остановимся на особенностях этого метода.

Постановка и анализ задач синтеза нелинейных систем

Требуется синтезировать селективно-инвариантную систему управления нелинейным объектом

$$\begin{aligned}\dot{x}_1(t) &= x_2, \\ \dot{x}_2(t) &= \sin x_1 + x_3, \\ \dot{x}_3(t) &= u + f.\end{aligned}\tag{1}$$

при действии на него гармонического возмущения $f = B \sin(2t)$ с неизвестной, но ограниченной амплитудой.

Уравнения (1) описывают движение математического маятника в верхнем неустойчивом положении, при этом x_1 – угол отклонения маятника от вертикали, x_2 – скорость отклонения, x_3 – момент, приложенный к маятнику. Заметим, что уравнениями математического маятника описываются в некотором приближении многие электромеханические объекты, в частности разного рода фазовые системы, синхронные генераторы и двигатели с асинхронным запуском и т.д. Такие задачи имеют цилиндрическое пространство.

Ставится задача стабилизации маятника моментом, приложенным к нему на оси подвеса. Указанный момент развивается

исполнительным механизмом, который представлен интегрирующим звеном. Требуется найти управление на входе исполнительного механизма, которое стабилизирует маятник в верхнем положении равновесия, т.е. обеспечивает асимптотическую устойчивость системы.

Для описания гармонического возмущающего воздействия, действующего на систему, выберем его волновое представление в виде:

$$\begin{aligned}\dot{w}_1(t) &= w_2, \\ \dot{w}_2(t) &= -4w_1, \\ f &= Bw_1.\end{aligned}\quad (2)$$

Используя волновое соотношение (2), представим исходную систему (1) в расширенном виде

$$\begin{aligned}\dot{\omega}_1(t) &= \omega_2 + \mathcal{G}_1(x_1, x_2, x_3), \\ \dot{\omega}_2(t) &= -4\omega_1 + \mathcal{G}_2(x_1, x_2, x_3), \\ \dot{x}_1(t) &= x_2, \\ \dot{x}_2(t) &= \sin x_1 + x_3, \\ \dot{x}_3(t) &= u + \omega_1,\end{aligned}\quad (3)$$

где ω_1, ω_2 - оценки переменных состояния w_1, w_2 наблюдателя возмущающего воздействия; $\mathcal{G}_1(x_1, x_2, x_3), \mathcal{G}_2(x_1, x_2, x_3)$ - функции связи. При $\mathcal{G}_1(x_1, x_2, x_3) = 0$ и $\mathcal{G}_2(x_1, x_2, x_3) = 0$ первые два уравнения системы (3) являются моделью возмущения (2).

Для синтеза динамического регулятора, противодействующего возмущению, введем инвариантное многообразие:

$$\psi = x_3 + \sin x_1 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2. \quad (4)$$

Выберем функции связи с системой (3) в виде

$$\begin{aligned}\mathcal{G}_1(x_1, x_2, x_3) &= \alpha_1 \psi, \\ \mathcal{G}_2(x_1, x_2, x_3) &= \alpha_2 \psi.\end{aligned}$$

Тогда на основе функционального уравнения

$$T\dot{\psi}(t) + \psi = 0, \quad (5)$$

получим следующий закон управления, учитывая уравнения поведения системы (3):

$$u = -\omega_1 - x_2 \cos x_1 - \left(\beta_1 + \frac{\beta_2}{T}\right)x_2 - \frac{\beta_1}{T}x_1 - \left(\frac{1}{T} + \beta_2\right)(x_3 + \sin x_1). \quad (6)$$

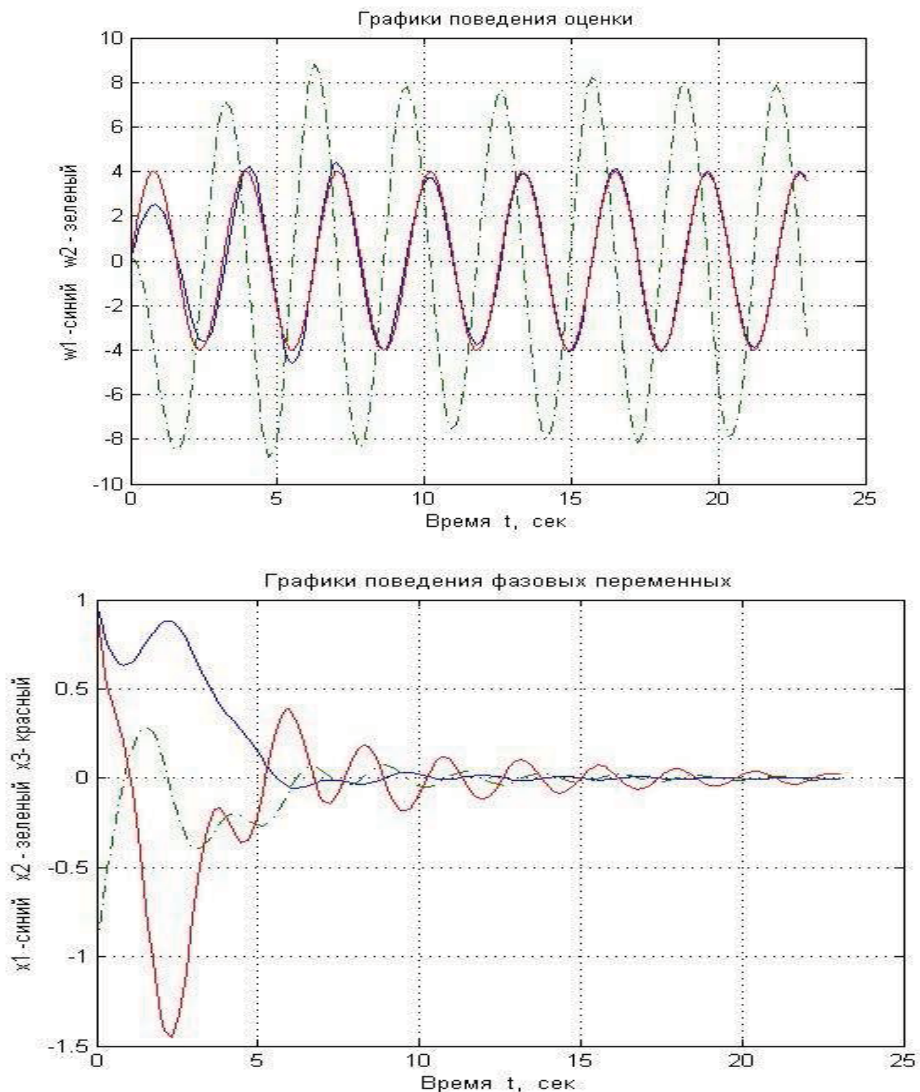
В таком виде, уравнения для оценки внешнего неизмеряемого возмущающего воздействия примут вид

$$\begin{aligned}\dot{\omega}_1(t) &= \omega_2 + \alpha_1(x_3 + \sin x_1 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2), \\ \dot{\omega}_2(t) &= -4\omega_1 + \alpha_2(x_3 + \sin x_1 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2).\end{aligned}\quad (7)$$

Закон управления (6) последовательно переводит изображающую точку системы в окрестность многообразия (4) $\psi = x_3 + \sin x_1 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 = 0$. Этот закон совместно с уравнениями оценок возмущенного воздействия (7) образует динамический регулятор, поглощающий гармоническое воздействие (2).

Ниже на рис.1 и рис.2 представлены результаты численного моделирования поведения замкнутой системы управления (1), (6), (7). Результаты расчета производились при следующих значениях параметров регулятора:

$$T = \beta_1 = \beta_2 = 1; \quad \alpha_1 = +1, \quad \alpha_2 = +3.$$



Отметим, что синтезированный динамический регулятор по своей структуре определяется принятыми уравнениями связи. Т.е. в данном

случае зависит от выбора функций связи $\mathcal{G}_i(x_1, x_2, x_3)$, которые могут быть интерпретированы как некоторые «внутренние» управления, действующие на модель возмущения. Естественно, что данные управления сами по себе могут быть синтезированы на основе, методов оптимального управления.

Следовательно, в зависимости от выбранных уравнений связи, в обобщенном методе АКАР можно построить различные виды динамических регуляторов, противодействующие возмущениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994.
2. Колесников А.А., Балалаев Н.В. Синергетический синтез нелинейных систем с наблюдателями состояния // В сб. РАН «Новые концепции общей теории управления»; под ред. А.А.Красовского. Москва-Таганрог, 1995, С. 105-113.
3. Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. Ч.II.
4. Зайцев В.Г. Использование синергетического подхода в задачах адаптивного управления // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. – Выпуск 2(67). –Днепропетровск, 2010. - С. 88-95.
5. Тюкин И.Ю., Терехов В.А. Адаптация в нелинейных динамических системах. / С-Питер. – 2006. – С. 378.