

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МАТЕРИАЛЫ
IV Международной молодежной
научной конференции
«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ
И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫХ,
ТЕХНИЧЕСКИХ
И ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

Томск, 20–21 мая 2016 г.

*Под общей редакцией
кандидата технических наук И.С. Шмырина*

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

роды, по их реализациям в виде СВР. Алгоритм был применен для решения задачи моделирования кардиологических событий, в частности — для обнаружения характерных признаков перегородного инфаркта миокарда. На этапе решения данной задачи, с целью получения устойчивой работы алгоритма и повышения эффективности результатов его работы, был осуществлен поиск оптимального размера окна для обнаружения признака инфаркта миокарда по реализации ЭКГ сигнала в отведениях V_2 , V_3 . Таким образом, был определен оптимальный размер окна для обнаружения кардиологического события, на этапе поиска которого было проведено исследование зависимости величины оптимального окна от шумовой составляющей в полезном сигнале. Оценивание результатов работы алгоритма было выполнено как изучение его эффективности в зависимости от уровня ОШС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тырсин А.Н. Идентификация нестационарных экономических процессов на основе дискретно-совпадающих моделей авторегрессии // Известия Уральского государственного экономического университета. — 2004. — № 9. — С. 44–51.
2. Букреев В.Г., Колесникова С.И., Янковская А.Е. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов. — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — 254 с.
3. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир, 1974. Вып. 1.
4. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М. Анализ временных рядов и прогнозирование, М.: Финансы и статистика, 2001.
5. Рудаков К.В., Чехович Ю.В. Алгебраический подход к проблеме синтеза обучаемых алгоритмов выделения трендов // ДАН. 2003. Т. 388. № 1. С. 33–36.
6. Ивахненко А.А., Каневский Д.Ю., Рудева А.В. и др. Выявление групп объектов, описанных набором многомерных временных рядов // Математические методы распознавания образов (ММРО_13). М.: МАКС Пресс, 2007.
7. Васин Е.А., Костенко В.А., Коваленко Д.С. Автоматическое построение алгоритмов, основанных на алгебраическом подходе, для распознавания предаварийных ситуаций динамических систем // Искусственный интеллект. 2006. № 2. С. 130–134.
8. Коваленко Д.С., Костенко В.А., Васин Е.А. Исследование применимости алгебраического подхода к анализу временных рядов // Методы и средства обработки информации. М.: Изд. ВМиК МГУ, 2005. С. 553–559.
9. Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. 1978. Т. 33. С. 5–68.
10. Рудаков К.В., Чехович Ю.В. Алгебраический подход к проблеме синтеза обучаемых алгоритмов выделения трендов // ДАН. 2003.
11. Журавлев Ю.И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. 1978. Т. 33. С. 5–68.
12. Рудаков К.В., Чехович Ю.В. Алгебраический подход к проблеме синтеза обучаемых алгоритмов выделения трендов // ДАН. 2003.
13. Коваленко Д.С., Костенко В.А., Васин Е.А. Исследование применимости алгебраического подхода к анализу временных рядов // Методы и средства обработки информации.

НЕЛИНЕЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В БАЛАНСОВОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ С ХАОТИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ

Н.Д. Дубина, С.И. Колесникова

Томский государственный университет

dubina-nina@mail.ru, skolesnikova@yandex.ru

Введение

Решение вопроса синтеза устойчивых и робастных систем управления многомерными нелинейными динамическими объектами с возникновением методов управления в скользящем режиме (В.И. Уткин), бэкстеппинг (Kokotovic P.V.), аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР, А.А. Колесников), принцип инвариантного погружения в задачах (immersion and invariance, Astolfi A., Ortega R.) вышло на новый уровень. Отметим, что все перечисленные методы используют аналитически обоснованный механизм, реализующий принцип самонастройки (адаптации) и инвариантных многообразий. Однако в силу наличия явления детерминированного хаоса

в нелинейных и многосвязных объектах общего универсального алгоритма синтеза управления многомерными с хаотическими режимами сложными объектами не существует, и вопрос управления такими объектами по-прежнему актуален.

В работе рассматривается применение метода аналитического конструирования агрегированных дискретных регуляторов совместно с методом адаптивного управления на многообразиях [1] для нелинейной балансовой модели третьего порядка, описывающей работу малой фирмы [2], при этом предполагается, что в модели описания присутствует внешнее возмущение с неизвестным законом описания, но с ограниченным диапазоном значений.

1. Постановка задачи

Рассматривается трехмерная нелинейная модель с хаотическими режимами, содержательно интерпретируемая как модель предприятия, осуществляющего деятельность в сфере компьютерных технологий, с соответствующей подгонкой параметров модели. Понятно, что параметры в системе, описывающие экономическую деятельность фирмы, в реальных условиях могут отклоняться от значений, гарантирующих устойчивое состояние [2].

С этой целью ставится задача такого управления объектом, которое обеспечивало бы асимптотически устойчивое движение изображающей точки объекта из любой начальной точки фазового пространства в окрестность аналитически заданного многообразия как модели целевого состояния $\psi(X_1, X_2, X_3) = 0$, где $\psi(\cdot)$ — известная функция, а объект управления имеет следующее описание:

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = aX_2 X_3 - \gamma X_1, \\ \frac{dX_2}{dt} = \mu(X_2 + X_3) - \beta X_1 X_3, \\ \frac{dX_3}{dt} = \delta X_2 - \lambda X_3 + Z + u. \end{cases} \quad (1)$$

В описании (1) переменные X_1, X_2, X_3 означают объем затрат на содержание сотрудников, величину капитала, объем затрат на использование новых технологий, соответственно; $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \lambda, \mu$ — некоторые коэффициенты пропорциональности, Z — внешнее неизвестное (ограниченное) возмущение, функция времени. Следует отметить, что объект (1) без двух последних слагаемых в последнем уравнении был исследован на устойчивость в работе [2].

Задача синтеза системы управления состоит в определении управления $u(x)$ как функции координат состояния системы, обеспечивающего работу фирмы при заданных условиях и доставляющий глобальный минимум оптимизирующему функционалу качества управления:

$$J = \int_0^{\infty} (T_i \dot{\psi}_i^2(t) + \psi_i^2(t)) dt \rightarrow \min_{u(t)}, \quad 0 < T_i < \infty, \quad (2)$$

где величины $T_i, i = 1, 2$ интерпретируются, как величины, пропорциональные времени движения изображающей точки системы управления до пересечения многообразий и являются параметрами настройки регулятора; $\psi_i(t)$ — целевые макропеременные, i — при скалярном управлении номер этапа синтеза, $i = 1, 2$, $u(t)$ — управление. Как следует из вида (2), на каждом этапе синтеза управления задается свой оптимизирующий функционал.

2. Методика решения поставленной задачи управления

Решение задачи основано на методе аналитического конструирования агрегированных регуляторов совместно с методом адаптивного управления на многообразиях научной школы А.А. Колесникова [1].

Метод АКАР опирается на аппарат инвариантов и целевых многообразий. Основные положения алгоритма синтеза системы управления для объекта (1) реализуются следующими шагами.

1. Задается макропеременная $\psi(x)$, $X = (X_1, X_2, X_3)$, равенство нулю которой ($\psi(X) = 0$) задает целевое многообразие, содержательно означающее желаемые предельные соотношения между переменными объекта управления, реализующие технологические цели управления. Для объекта управления (1) в качестве примера вводится целевой инвариант

$$X_1 = X_{10}, \quad (3)$$

интерпретируемый как требование стабилизации затрат на сотрудников посредством управления затратами на новые технологии.

2. Согласно классическому методу АКАР производится расширение фазового пространства с целью перевода внешнего возмущения в фазовую переменную (система управления становится замкнутой):

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = aX_2 X_3 - \gamma X_1, \\ \frac{dX_2}{dt} = \mu(X_2 + X_3) - \beta X_1 X_3, \\ \frac{dX_3}{dt} = \delta X_2 - \lambda X_3 + Z + u, \\ \frac{dZ}{dt} = \eta(X_1 - X_{10}). \end{cases} \quad (4)$$

3. Вводится вспомогательная макропеременная, где неизвестная на этом этапе функция $\phi(X)$, интерпретируется как внутреннее управление:

$$\psi_1(t) = X_3 + \phi(X_1, X_2, Z).$$

4. Определяется управление u с точностью до функции $\phi(X_1, X_2, Z)$ на основе метода Эйлера Лагранжа:

$$u = f\left(X_1, X_2, Z, \frac{\partial \phi}{\partial X_1}, \frac{\partial \phi}{\partial X_2}, \frac{\partial \phi}{\partial Z}\right).$$

Управление u переводит изображающую точку системы (4) в окрестность многообразия $\psi_1(t) = 0$, движение вдоль которого описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dX_1}{dt} = aX_2 \phi(X_1, X_2, Z) - \gamma X_1, \\ \frac{dX_2}{dt} = \mu(X_2 + \phi(X_1, X_2, Z)) - \beta X_1 \phi(X_1, X_2, Z), \\ \frac{dZ}{dt} = \eta(X_1 - X_{10}). \end{cases} \quad (5)$$

5. Для декомпозированной системы (5) задается вторая макропеременная:

$$\psi_2(t) = X_1 - X_{10} + \Delta Z = 0.$$

6. Определяются решения функционального уравнения, на которых выполняется условие глобального экстремума функционала (2):

$$T_2 \dot{\psi}_2^2(t) + \psi_2^2(t) = 0, \quad 0 < T_2 < \infty.$$

Заметим, что на инвариантном многообразии $\psi_2(t) = 0$ выполняется соотношение:

$$X_1 - X_{10} = -\Delta Z,$$

которое гарантирует асимптотическую устойчивость решениям четвертого уравнения системы (5) при $\eta\Delta > 0$, в силу справедливости равенства:

$$\frac{\partial Z}{\partial t} = -\eta\Delta Z,$$

и, как следствие, достижение целевого инварианта (3) в установившемся режиме.

7. Определяется явный вид функции $\varphi(X_1, X_2, Z)$ и явный вид выражения для u :

$$\begin{aligned} u = & \lambda X_3 - \delta X_2 - Z + \frac{1}{\alpha X_2} \left(\gamma - \Delta\eta - \frac{1}{T_2} \right) (\alpha X_2 X_3 - \gamma X_1) - \\ & - \frac{1}{\alpha X_2} \left(\gamma X_1 - \Delta\eta (X_1 - X_{10}) - \frac{X_1 - X_{10} + \mu Z}{T_2} \right) (\mu (X_2 + X_3) - \beta X_1 X_3) - \\ & - \frac{\mu}{\alpha X_2 T_2} \eta (X_1 - X_{10}) - \frac{\psi_1}{T_1}. \end{aligned} \quad (6)$$

3. Численное моделирование

Проведено численное моделирование построенной системы управления с учетом влияния на систему случайных и гармонических помех, результаты которого свидетельствуют об асимптотически устойчивом стремлении координат объекта к окрестности заданного состояния. Таким образом, благодаря построенному управлению можно гарантировать вывод объекта-фирмы из неустойчивого состояния в заданное состояние (см. рис.1, 2).

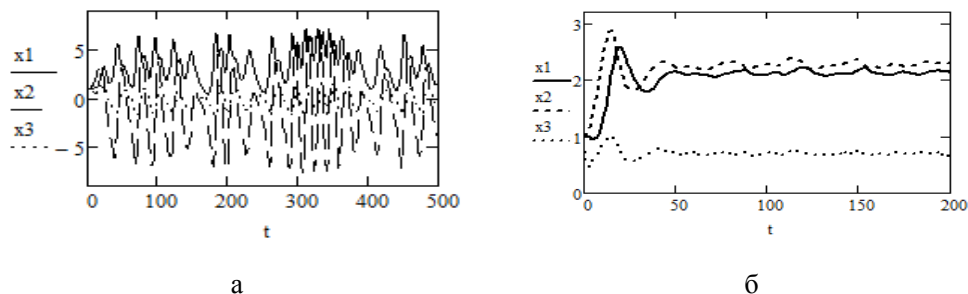


Рис. 1. Поведение объекта в нерасчетных условиях (случайные помехи) с исходными данными: $\alpha = 1.3319$, $\beta = 3.337$, $\gamma = 0.99$, $\delta = 1.047$, $\lambda = 3.52$, $\mu = 1.68$, $\eta = -0.35$, $\Delta = 0.1$;
начертание: сплошная линия — затраты на сотрудников, пунктир — величина капитала,
точки — затраты на обучение сотрудников;
а) — без управления; б) — с управлением

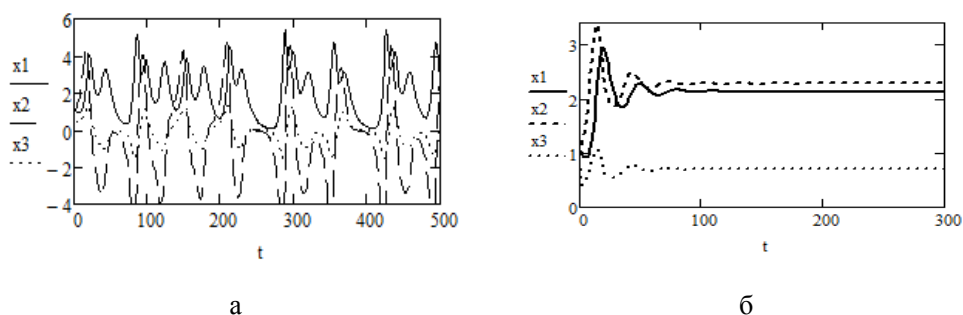


Рис. 2. Поведение объекта в расчетных условиях (гармонические помехи) с исходными данными: $\alpha = 1.3319$, $\beta = 3.337$, $\gamma = 0.99$, $\delta = 1.047$, $\lambda = 3.52$, $\mu = 1.68$, $\eta = -0.35$, $T_1 = 0.21$, $T_2 = 0.06$, $\Delta = 0.1$; начертание: сплошная линия — затраты на сотрудников, пунктир — величина капитала, точки — затраты на обучение сотрудников; а) — без управления; б) — с управлением

Качество полученной системы управления (4), (6) в условиях внешних помех традиционно оценивается по параметрам переходного процесса (амплитуда, длительность) (табл. 1).

Таблица 1
Характеристики системы управления в условиях случайных / гармонических возмущений

Координаты системы (4)	Длительность переходного процесса (в днях)	Амплитуда переходного процесса	
		Максимальное значение отклонения	Среднее значение отклонения
Затраты на сотрудников	69 / 75	1.237 / 1.219	0.067 / 0.066
Капитал	78 / 87	1.344 / 1.29	0.058 / 0.068
Затраты на НТ	52 / 61	0.346 / 0.384	0.017 / 0.038

Результаты численного моделирования, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о приемлемом качестве управления.

Закключение

Для нелинейного трехмерного объекта с хаотическими режимами (1) сконструирована система управления (4), (6), гарантирующая асимптотически устойчивое движение изображающей точки объекта (1) из любого начального состояния в окрестность заданного состояния (3) и дальнейшее удержание объекта в этой окрестности. Полученное управление гарантирует глобальный минимум функционалу качества (2), который, как нетрудно убедиться, является обобщением квадратического функционала качества, традиционно используемого в классической теории адаптивного управления.

Результаты работы могут быть актуальны в системах поддержки принятия решений, используемых в экономических прикладных задачах, в задачах перераспределения финансовых потоков для обеспечения стабильной деятельности малых предприятий, поскольку найденный закон управления представляет собой способ организации обратной связи (упреждающего воздействия), позволяющий контролировать поведение системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников А.А. Синергетика и проблемы теории управления: сборник научных трудов / Под ред. А.А. Колесникова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004.
2. Шаповалов В.И. Моделирование синергетических систем: Метод пропорций и другие математические методы / В.И. Шаповалов. – Проспект, 2015. – 136 с.