



УДК 62-50

СИНТЕЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УПРАВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ДИНАМИЧЕСКИХ МЕР НА ГИПЕРПОВЕРХНОСТИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В ФАЗОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ С НЕЧЕТКИМИ ГРАНИЦАМИ

И.Е. Кириллов, А.А. Агапов, kirillov531@mail.ru, AAAlexander2794@gmail.com

Ростовский университет путей сообщения (РГУПС), г. Ростов-на-Дону

Объединенный принцип максимума обеспечивает получение квазиоптимальных решений экстремальных задач синтеза управления для лагранжевых динамических систем. Как известно, полученные обратные связи могут служить основой построения базы правил для интеллектуальных алгоритмов управления и оценки с использованием традиционных методов интеллектуализации. Однако по настоящее время остается открытым вопрос учета неопределенности границ областей фазового пространства, которые связаны с режимами функционирования и назначением технических систем. Эффективность синтезированного с использованием нечеткой логики управления подтверждается результатами математического моделирования. Работа подготовлена при поддержке гранта РФФИ N 18-01-00385.

Ключевые слова: динамическая система, некорректная задача, двухточечная краевая задача, многопараметрическая вариационная идентификация.

INTELLECTUAL CONTROL SYNTHESIS ON THE BASIS OF ANALYSIS OF DYNAMIC MEASURES ON HYPERPERNESS OF SWITCHING IN PHASE SPACE WITH FUZZLE BORDERS

I.E. Kirillov, A.A. Agapov

Rostov State Transport University(RSTU), Rostov-on-Don

The combined maximum principle provides for obtaining quasioptimal solutions of extremal control synthesis problems for Lagrangian dynamical systems. As is well known, the feedbacks obtained can serve as the basis for building a rule base for intelligent control and evaluation algorithms using traditional methods of intellectualization. However, the question of taking into account the uncertainty of the boundaries of phase space regions, which are associated with the modes of operation and the purpose of technical systems, remains open. The effectiveness of the control synthesized using fuzzy logic is confirmed by the results of mathematical modeling. The work was prepared with the support of the RFBR grant N 18-01-00385.

Keywords: multiparameter variational identification, dynamic system, incorrect problem, two-point boundary value problem.

Введение. Изучение и оптимизация реальных объектов и систем с помощью математических методов начинаются с построения их моделей. Эффективное же функционирование в сложных условиях эксплуатации достигается постоянным контролем параметров моделей, что, в свою очередь, позволяет обеспечить своевременную выработку корректирующих воздействий для стабилизации исправного состояния.

Поскольку существует неразрывная связь между вероятностью сохранения исправного состояния объекта или системы и точностью контроля, задача повышения точности оценки неизвестных параметров чувствительных элементов систем контроля актуальна и практически значима. Один из наиболее общих подходов к её решению – использование методов параметрической идентификации.

В настоящее время методам и алгоритмам параметрической идентификации посвящено большое количество исследований [1- 5]. Число работ по усовершенствованию



ванию предлагаемых алгоритмов растет, а область практического использования постоянно расширяется. Особенно важное место они занимают на всех этапах создания, экспериментальной отработки и эксплуатации объектов ракетно-космической, корабельной техники, авиационной, а также других сложных автоматических и автоматизированных систем и комплексов. Наиболее сложные задачи оценки приходится решать в системах контроля параметров технических систем.

Избавиться от данных недостатков позволяет применение метода идентификации динамических систем с использованием вариационного принципа Гамильтона-Остроградского, из которого вытекают уравнения динамики объекта в форме дифференциальных уравнений Лагранжа второго рода.

Однако по настоящее время остается открытым вопрос учета неопределенности границ областей фазового пространства, которые связаны с режимами функционирования и назначением технических систем. Эффективность синтезированного с использованием нечеткой логики управления подтверждается результатами математического моделирования.

Рассмотрим задачу идентификации параметров датчика давления мембранного типа работа, которого описывается дифференциальным уравнением второго порядка

$$\begin{aligned}\ddot{x}(t) + z_0 \dot{x}(t) + z_1 x(t) &= P_u(t), \\ x(0) = x_0, \dot{x}(0) &= \dot{x}_0,\end{aligned}\tag{8}$$

где $x(t)$ - прогиб мембраны; z_0 - коэффициент демпфирования колебаний мембраны; z_1 - жесткость мембраны; $P_u(t)$ - измеряемое давление. Подавляющее большинство датчиков описываются именно такими уравнениями [6].

Выходной сигнал датчика

$$y(t) = x(t).\tag{9}$$

Требуется идентифицировать параметры $z_0 = -0.25$, $z_1 = -2$ датчика с формой мембраны в виде квадратной пластины с жестким недеформируемым центром из условия минимума целевого функционала

$$J_1 = 0.5 \int_0^T [y - \hat{x}(\hat{z}_0, \hat{z}_1, t)]^2 dt \rightarrow \min.\tag{10}$$

Для математической формализации задачи (8) - (10) расширим пространство состояний

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}(\mathbf{x}, \mathbf{z}) = \begin{bmatrix} x_1 \\ z_0 x_1 + z_1 x_0 \end{bmatrix},\tag{11}$$

$$\text{где } x_0 = x, \quad x_1 = \dot{x}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_0 \\ z_1 \end{bmatrix}.$$

Уравнение наблюдения (9) примет вид

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}(\hat{\mathbf{x}}, t),$$

$$\text{где } \mathbf{y} = \mathbf{H}(\hat{\mathbf{x}}, t) = \begin{bmatrix} x_0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$



Функция чувствительности системы (11) после расширения пространства состояний удовлетворяет уравнению

$$\dot{\mathbf{G}} = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \hat{\mathbf{x}}} \mathbf{G} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \hat{\mathbf{z}}}, \quad \mathbf{G}(0) = \dot{\mathbf{G}}(0) = 0,$$

а алгоритм многопараметрической идентификации определяется с помощью системы уравнений

$$\dot{\hat{\mathbf{z}}} = \mathbf{P} \mathbf{G}^T \frac{\partial \mathbf{H}^T}{\partial \hat{\mathbf{x}}} (\mathbf{y} - \mathbf{H}(\hat{\mathbf{x}}, t)),$$

$$\dot{\mathbf{P}} = \alpha^{-1} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{P} \mathbf{G}^T \frac{\partial \mathbf{H}^T}{\partial \hat{\mathbf{x}}} \mathbf{G} \mathbf{P},$$

$$\mathbf{P}(0) = \mathbf{P}_0,$$

$$\dot{\mathbf{G}} = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \hat{\mathbf{x}}} \mathbf{G} + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \hat{\mathbf{z}}},$$

$$\mathbf{G}(0) = \dot{\mathbf{G}}(0) = 0,$$

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{F}(\hat{\mathbf{x}}, \mathbf{z}) - \mu^{-1} \frac{\partial \mathbf{H}^T}{\partial \hat{\mathbf{x}}} (\mathbf{y} - \mathbf{H}(\hat{\mathbf{x}}, t)),$$

$$\hat{\mathbf{x}}(0) = \hat{\mathbf{x}}(0) = 0,$$

$$\hat{\mathbf{z}}(0) = \mathbf{z}^0, \mu = 45, \alpha = 0.63.$$

Оценку эффективности разработанного алгоритма, на который получено свидетельство о регистрации программ для ЭВМ проведем на основе вычислительного эксперимента путем сравнения с расширенным фильтром Калмана [7-12].

В качестве входного измерительного сигнала выбрана единичная ступенчатая функция вида

$$P_u(t) = 1(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, \\ 1, & t \geq 0. \end{cases}$$

Результаты численного моделирования представлены на рисунке 1.

На рис. 1 приняты обозначения: z_0, z_1 - действительные значения параметров датчика; $\hat{z}_0, \hat{z}_1$ - оценки параметров датчика полученные с помощью предложенного алгоритма; $\hat{z}_{0k}, \hat{z}_{1k}$ - оценки расширенного фильтра Калмана.

В установившемся режиме определяется относительная погрешность идентификации первого и второго параметров для разработанного метода 3.7%, 1.2% соответственно, и для расширенного фильтра Калмана 4.6%, 2.1%.

Вывод: Эффективность в плане устойчивости и точность увеличиваются в сравнении с решением, использующем расширенный фильтр Калмана. Скорость сходимости и точность получаемых оценок параметров, относительная погрешность которых не превышает 3.7%. Практическое применение предлагаемый алгоритм может найти в машиностроении, в авиационной, космической, оборонной промышленности, в приборостроении при решении задач обработки измерительной информации в информационно – измерительных и управляющих системах.

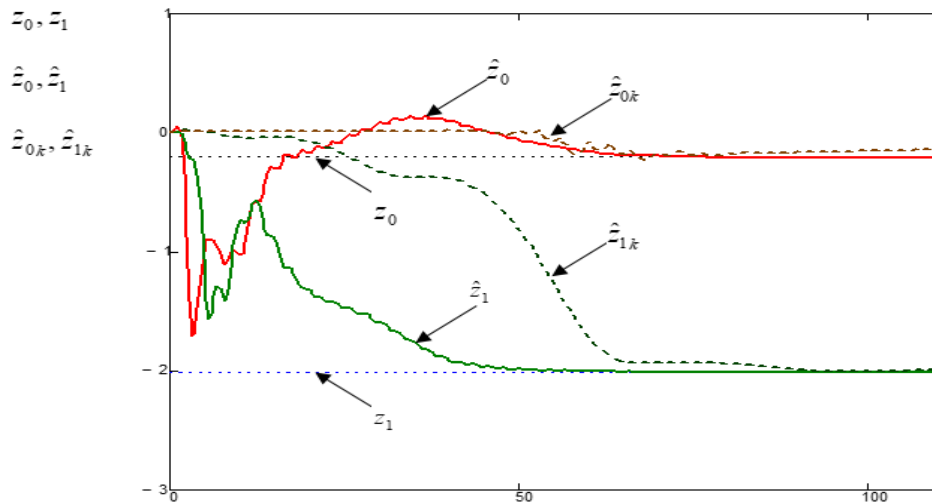


Рис. 1 – Идентификация параметров датчика

Список цитируемой литературы

1. Костоглолов А.А., Кузнецов А.А. Итеративная измерительная процедура оценки параметров групповой меры // Научная мысль Кавказа. 2003. № 7.
2. Дерябкин И.В., Костоглолов А.А., Лазаренко С.В., Чеботарев А.В., Ценных Б.М. Метод идентификации параметров динамических систем на основе совмещенного с физическими принципами синтеза // Нелинейный мир. 2012. Т. 10. № 11. С. 801-809.
3. Костоглолов А.А., Андрашитов Д.С., Дмитренко Г.Н., Лазаренко С.В. сравнение оптимальных управлений полученных на основе объединённого принципа максимума и принципа максимума Л.С. Понтрягина // Измерительная техника. 2001. № 1.
4. Костоглолов А.А., Лазаренко С.В. Синтез адаптивных систем сопровождения на основе гипотезы о стационарности гамильтониана гиперповерхности переключения // Радиотехника и электроника. 2017. Т. 62. № 2. С. 121-125.
5. Костоглолов А.А., Дерюшев В.В., Костоглолов А.И. Идентификация параметров динамических систем на основе объединенного принципа максимума // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2004. № S2. С. 13-18.
6. Костоглолов А.А., Лазаренко С.В., Пугачев И.В., Чеботарев А.В. Синтез оптимальной по быстродействию системы фазовой автоподстройки частоты на основе объединённого принципа максимума // В сборнике: Актуальные вопросы современной техники и технологии Сборник трудов конференции. 2013. С. 84-87.
7. Костоглолов А.И., Костоглолов А.А., Дерюшев В.В., Шевцова Л.А. Оптимальное управление разгоном автомобиля // Наука - производству. 2004. № 2.
8. Костоглолов А.А., Лященко З.В., Лазаренко С.В. Синтез управления с адаптацией к неконтролируемым воздействиям в неустойчивом состоянии // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2016. № 1 (61). С. 66-71.
9. Костоглолов А.А., Лазаренко С.В., Кузнецов А.А., Дерябкин И.В., Лосев В.А. структурный синтез дискретных адаптивных следящих систем на основе объединенного принципа максимума // Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 17. № 1 (88). С. 105-112.
10. Kostoglov A., Lazarenko S., Lyashchenko Z., Derabkin I. Intellectualization of industrial systems based on the synthesis of a robotic manipulator control using a combined-maximum principle method // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2016. Т. 451. С. 375-383.
11. Andrashitov D.S., Kostoglov A.A., Kuznetsov A.A., Lazarenko S.V. Structural synthesis of lagrangian systems of automatic control with the use of first integrals of motion // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2015. Т. 13. № 12. С. 12-18.