

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ВЫХОДУ НЕЛИНЕЙНЫМИ СИСТЕМАМИ С НАРУШЕНИЕМ УСЛОВИЙ СОГЛАСОВНИЯ И ОГРАНИЧЕНИЯМИ НА УПРАВЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКИ КОМПЕНСИРУЮЩИХ ЧЛЕНОВ

Денисов Д. А.¹, Малышева А. Л.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, ассистент Пашенко А. В.¹

¹Университет ИТМО
dadenisov@itmo.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР №325073 «Качественное адаптивное управление сложными нелинейными системами с неопределенностями».

Введение

В работе рассматривается класс параметрически неопределенных нелинейных объектов, представимой в форме обратной связи по выходу (output-feedback). Основная проблема данного класса объектов: нарушение условий согласования управления с параметрическими неопределенностями. Также в рамках рассматриваемой задачи вектор состояния считается неизмеримым, а управление – ограниченным нелинейностью типа насыщение. В основе алгоритма управления данным классом объектов используется метод адаптивного обратного обхода интегратора (adaptive backstepping) с модульными идентификаторами [1]. Модульный подход позволяет разделить процедуры вывода закона управления и идентификации неизвестных параметров системы. Однако предложенная в [1] процедура обладает существенным недостатком, а именно что модель ошибки замкнутой системы зависит от скорости настройки параметров, что оказывает негативное влияние на управляющее воздействие. Для преодоления данной проблемы в [2] было предложено использовать старшие производные от настраиваемых параметров в виртуальном и действительном законе управления с помощью алгоритма высокого порядка [3]. В работе [4] предложено использовать алгоритм адаптации с ускоренной сходимостью на базе схемы Крейсельмейера [5], что позволяет существенно увеличить скорость настройки параметров. Однако перечисленные выше решения сводят решение задачи управления к динамической модели ошибки, что ограничивает их, поскольку вынуждает использовать алгоритм адаптации на основании расширенной ошибки. Как следствие, скорость настройки оказывается зависима от скорости изменения настраиваемых параметров. С целью обхода данных ограничений, предлагается модификация алгоритмов, предложенных в работах [6] и [7], где вводятся в рассмотрение динамические компенсирующие члены (ДКЧ), включение которых в закон управления свести задачу к статической модели ошибки напрямую, без использования леммы о перестановках и расширенной ошибки.

Предлагаемый в данной работе метод основан на объединении упомянутых решений заключается в управлении по выходу с использованием ДКЧ с учетом ограничений на управляющее воздействие. Постановка научной проблемы, описание существующего положения, анализ отечественного и зарубежного опыта в решении данной проблемы и т. д.

Основная часть

Необходимо синтезировать виртуальные и актуальный законы управления с использованием ДКЧ, учитывая следующие ограничения:

- 1) вектор состояния объекта не измеряем (т.е. управление системой осуществляется по выходу);
- 2) управление ограничено входным насыщением.

Для решения поставленной задачи вводится стандартное допущение, что объект имеет ограниченный выход при ограниченном входе (BIBO). Данное допущение необходимо для достижения глобальной устойчивости (global stability) замкнутой системы.

Объект параметризуется с использованием модифицированных К-фильтров, учитывающих входное насыщение. Для учета насыщения в модели ошибки используется фильтр среза [6].

Включение ДКЧ в законы управления позволяет свести проблему к статической модели ошибки, что упрощает дальнейший синтез алгоритм адаптации. Алгоритм адаптации в свою очередь основан на схеме Крейссельмеера, поскольку она:

- 1) обеспечивает доступ к старшим производным настраиваемых параметров, необходимым для законов управления;
- 2) обеспечивает улучшенную параметрическую сходимость.

Выводы

Был синтезирован адаптивный алгоритм управления нелинейной системой с нарушением условий согласования и ограничением на управление. С целью демонстрации работы синтезированного алгоритма управления было проведено демонстрационное моделирование. Полученные результаты показывают работоспособность представленного решения.

Литература

1. Krstić M., Kanellakopoulos I., Kokotović P. *Nonlinear and Adaptive Control Design*. — New York: Wiley, 1995.
2. Nikiforov V., Voronov K. Adaptive Backstepping with High-order Tuner // *Automatica*. — 2001. — Vol. 37. — P. 1953–1960.
3. Morse A. High-order Parameter Tuners for the Adaptive Control of Linear and Nonlinear Systems // In A. Isidori, & T. J. Tarneds., *Systems, Models and Feedback: Theory and Applications*, Basel: Birkhäuser. — 1992. — P. 339–364.
4. Nikiforov V., Gerasimov D., Pashenko A. Modular adaptive backstepping design with a high-order tuner // *IEEE Trans. Automatic Control*. — 2022. — Vol. 67, no. 5. — P. 2663–2668.
5. Kreisselmeier G. Adaptive observers with exponential rate of convergence // *IEEE Transactions on Automatic Control*. — 1977. — Feb. — Vol. 22, no. 1. — P. 2–8.
6. Transients Improvement in the Output-Feedback Adaptive Backstepping Control of Nonlinear Systems with Input Constraints / D. Gerasimov, O. Suzdalev, A. Pashenko et al. // *IFAC-PapersOnLine*. — 2023. — Vol. 56, no. 2. — Pp. 6865–6870.
7. A New Modular Adaptive Backstepping Control of Nonlinear Systems with Unknown Control Coefficients / D.N. Gerasimov, A.V. Pashenko, O.D. Suzdalev, V.O. Nikiforov // *2024 IEEE 63rd Conf. on Decision and Control (CDC)*. — 2024. — Pp. 4291–4296.