

СИНТЕЗ АДАПТИВНОГО НАБЛЮДАТЕЛЯ ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ ВЫХОДА И ВОЗМУЩАЮЩИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Нго Минь Дык¹

Научный руководитель – д.т.н, профессор Бобцов Алексей Алексеевич¹

¹Университет ИТМО
minhduchhel@gmail.com

Введение

Задача оценивания состояния динамических систем относится к фундаментальным проблемам теории управления, определяя эффективность обратной связи, диагностики и мониторинга [1-2]. Традиционные наблюдатели [3-6] предполагают известные входные сигналы либо жесткие ограничения на неопределенности; при нарушении этих предположений сходимость оценок, как правило, не гарантируется. Инвариантные по входу наблюдатели делятся на два класса: основанные на скользящих режимах [7] (обеспечивают высокую скорость сходимости, но чувствительны к шумам измерений) и построенные на основе алгебраической декомпозиции [8-10] (дают гладкие оценки, однако накладывают ограничения на структуру системы и требуют отсутствия запаздываний и возмущений). Вопросы синтеза наблюдателей для нелинейных нестационарных систем с запаздыванием по выходу и гармоническими возмущениями на входе остаются открытыми.

Основная часть

Предлагается алгоритм синтеза инвариантных по входу наблюдателей для нелинейных нестационарных систем с запаздыванием по выходу и возмущением на входе. Рассматриваемый класс нестационарных систем характеризуется единичной относительной степенью, наличием аддитивных нелинейностей, которые нелинейно зависят от измеряемого выходного сигнала и линейно – от вектора неизвестных параметров и вектора состояния, а также наличием неизвестного гармонического возмущения. Для решения поставленной задачи разработана итеративная процедура синтеза адаптивного наблюдателя. На первом этапе строится инвариантный по входу наблюдатель для оценивания состояния с запаздыванием. На втором этапе, на основе полученных оценок, решается задача совместной параметрической идентификации неизвестных параметров объекта и частоты гармонического возмущения с использованием рекуррентного алгоритма наименьших квадратов. Третий этап посвящен оценке параметров самого возмущения путем преобразования исходной модели к линейной по параметрам регрессионной форме и применения градиентного алгоритма. На заключительном этапе задача оценивания вектора состояния исходной нелинейной системы сводится к задаче параметрической идентификации линейной регрессионной модели, для решения которой также используется градиентный алгоритм. Проведено компьютерное моделирование, подтверждающее эффективность предложенного подхода.

Выводы

Синтезирован адаптивный наблюдатель для некоторого класса нестационарных нелинейных систем с запаздыванием выхода и возмущающим воздействием на входе. Исследован класс нестационарных систем с единичной относительной степенью, содержащих аддитивные нелинейности, зависящие нелинейно от выхода и линейно от неизвестных параметров и вектора состояния, а также подверженных гармоническому

возмущению. Предложен итеративный метод оценивания вектора состояния. Работоспособность и эффективность разработанного метода проиллюстрированы результатами компьютерного моделирования.

Литература

1. Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы. СПб: Питер, 2005. 336 с.
2. Narendra K. S., Annaswamy A. M. Stable adaptive systems. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1989. 494 p.
3. Luenberger D. K. Observing the State of a Linear System // IEEE Transactions on Military Electronics. 1964. Vol. 8, no. 2. P. 74–80.
4. Barrau A., Bonnabel S. The Invariant Extended Kalman Filter as a Stable Observer // IEEE Transactions on Automatic Control. 2016. Vol. 62, no. 4. P. 1797–1812.
5. Нгуен Х., Власов С. М., Пыркин А. А., Калинин К. Ю., Нгуен М. Х., Нгуен В. В., Буй В. Синтез адаптивного наблюдателя для нелинейных нестационарных систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24, № 4. С. 554–562.
6. Drakunov S., Utkin V. Sliding mode observers. Tutorial // Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control. 1995. Vol. 4. P. 3376–3378.
7. Floquet T., Edwards C., Spurgeon S.K. On Sliding Mode Observers for Systems with Unknown Inputs, International Workshop on Variable Structure Systems, VSS'06, 2006, pp. 214-219.
8. Кулик А. С., Рубанов В. Г., Соколов Ю. Н. Синтез систем приспособляющихся к изменению параметров элементов и их отказам // Автоматика и телемеханика. 1978. № 1. С. 96–107.
9. Warrad S. B., Boubaker O. Design of unknown input observers for linear systems with state and input delays, 15th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD). 2018, pp. 1–5.
10. Буй В., Маргун А.А., Бобцов А.А. Синтез наблюдателя, обеспечивающего финитную оценку состояния по выходу // Мехатроника, автоматизация, управление. 2024. Т. 25, № 2. С. 65–71.