

ОПТИМИЗАЦИЯ КРИТЕРИЯ РАЗМЕРНОСТИ ИНВАРИАНТНОГО ЭЛЛИПСОИДА МЕТОДОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

Догадин Е. В.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Перегудин А. А.¹

¹Университет ИТМО

evdogadin@itmo.ru

Введение

Оптимальное управление в условиях внешних возмущений является одной из основных проблем теории автоматического управления. Действительно, любая реальная система подвержена воздействию разного рода помех. Одной из наиболее общих таких задач является проблема противодействия ограниченными внешними возмущениями, так как она не опирается на тип шумового сигнала для его подавления. Широко используемым алгоритмом, решающим эту задачу, является метод инвариантных эллипсоидов [1]. Но данный подход требует четкого знания параметров системы и неадаптивен по своей структуре. Поэтому основной проблемой, решаемой настоящей работой, является модификация данного алгоритма с помощью метода машинного обучения с подкреплением.

Основная часть

Метод инвариантных эллипсоидов, сформулированный в статье [2], основывается на решении оптимизационной задачи линейных матричных неравенств и в такой реализации не подходит для обобщения адаптивными методами управления. Недавнее развитие алгоритма [3] дало толчок в сторону решения задачи подавления ограниченных внешних возмущений с помощью оптимизации функционала качества – размерность эллипсоида – посредством решения матричных уравнений Риккати. Данное решение вдохновлено методом уравнений Беллмана и может быть легко переформулировано на новом языке.

Для введения машинного обучения [4] был найден новый функционал качества с отрицательным фактором скидки, позволяющим обеспечить экспоненциальную сходимость системы к устойчивому равновесию со степенью больше, чем $\alpha/2$, где α – основной параметр метода инвариантных эллипсоидов, характеризующий форму множества. Проблемой такого функционала является экспоненциально растущий фактор, дестабилизирующий поиск оптимального решения. Но было замечено, что при обращении этого фактора интегральный функционал превращается в передаточную функцию, необремененную неустойчивыми полюсами и играющую роль фильтра входного сигнала. Таким образом, был найден новый подход, основанный на машинном обучении с подкреплением, дающим возможность нахождения оптимального регулятора с предписанной степенью устойчивости, минимизирующего инвариантный эллипсоид во время работы системы.

Вторым шагом решения задачи являлось оптимизация самого параметра α . Для этого был найден еще один функционал качества, позволяющий найти матрицу градиента в направлении увеличения нормы размерности инвариантного эллипсоида. Следовательно, разница с ним обеспечивает сведение формы эллипсоида к оптимальной.

Был сформулирован алгоритм, объединяющий метод машинного обучения с градиентным спуском, для адаптивной оптимизации регулятора, решающего задачу минимизации инвариантного эллипсоида системы во время её работы.

Выводы

Предложенный подход, объединяющий машинное обучение с подкреплением и градиентный спуск, оказался эффективным при поиске оптимального регулятора, способного противостоять любым ограниченным внешним возмущениям. Его эффективность была продемонстрирована с помощью моделирования линейных систем. Найденный алгоритм итеративно свёл инвариантный эллипсоид к минимальному.

Литература

1. Хлебников М. В., Поляк Б. Т., Кунцевич В. М. Оптимизация линейных систем при ограниченных внешних возмущениях (техника инвариантных эллипсоидов) //Автоматика и телемеханика. – 2011. – №. 11. – С. 9-59.
2. Поляк Б. Т., Хлебников М. В., Щербаков П. С. Управление линейными системами при внешних возмущениях: Техника линейных матричных неравенств //М.: ЛЕНАНД. – 2014. – Т. 560. – С. 170.
3. Peregudin A., Furtat I. New Duality Relations in Linear Systems and Optimal Control under Bounded Disturbances //IEEE Transactions on Automatic Control. – 2024. – Vol. 69. – No. 8. pp. 5569-5576
4. Kiumarsi B. et al. Optimal and autonomous control using reinforcement learning: A survey //IEEE transactions on neural networks and learning systems. – 2017. – Vol. 29. – No. 6. – pp. 2042-2062.