

УДК 681.5

Система адаптивного управления ориентацией космического аппарата на основе искусственных нейронных сетей радиально-базисных функций

Гавриков Михаил Михайлович mmg.20018@gmail.com

АО «НПО Лавочкина», Химки, Московская обл., Россия

Аннотация. В данной работе разработана система адаптивного управления ориентацией космического аппарата (КА) на основе искусственных нейронных сетей радиально-базисных функций (ИНС РБФ). Представлены структурная схема и алгоритм работы системы адаптивного управления. Приведена методика обучения ИНС РБФ, обеспечивающая высокую скорость сходимости и устойчивость процесса адаптации. Проведено математическое моделирование разработанной системы управления, а также выполнено сравнение с традиционными методами управления ориентацией КА. Результаты моделирования подтверждают высокую точность, эффективность и надежность предложенного подхода, что свидетельствует о перспективности применения ИНС РБФ в современных системах управления КА.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, радиально-базисная функция, космический аппарат, система управления

Введение. Современное развитие космической техники сопровождается усложнением архитектуры космических аппаратов. Возрастают требования к их автономности, надежности и адаптивности в условиях неопределенностей и ограниченной связи с Землей. Одним из ключевых направлений повышения эффективности работы космических аппаратов становится внедрение в их системы методов искусственного интеллекта, а в частности искусственных нейронных сетей. В настоящее время, ИНС используются исключительно в задачах диагностики космических аппаратов по их телеметрическим данным. Но нейронные сети также могут быть применены в бортовом комплексе управления КА [1]. Особый интерес представляют нейронные сети радиально-базисных функций, обладающие возможностью аппроксимировать нелинейные математические модели, и обеспечивающие быструю сходимость процесса обучения в реальном времени, что критически важно в системе управления КА. Цель данной работы состоит в разработке и исследовании системы адаптивного управления КА на основе ИНС РБФ, а также в оценке эффективности такой системы в сравнении с традиционными методами управления.

Методы и материалы; результаты. В качестве объекта управления рассматривалась типовая математическая модель вращательного движения твердого тела относительно центра масс в орбитальной системе координат, описываемая уравнениями Эйлера [2]. Основная задача состояла в проектировании адаптивного закона управления для обеспечения слежения [3]

за заданным кватернионом ориентации при наличии внешних возмущений и изменении динамики КА. Таким образом, была реализована модель адаптивного регулятора, состоящего из ПИД-контроллера и модуля адаптивной нейросетевой надстройки на основе ИНС РБФ.

Математическое моделирование динамики КА и обучение ИНС в реальном времени проводилось в интегрированной среде разработки Visual Studio Code на языке программирования Python с применением библиотек NumPy, SciPy, PyTorch, TensorFlow, Matplotlib.

При воздействии различных внешних возмущений и изменении динамики КА — ИНС РБФ в системе управления обеспечила снижение ошибки ориентации на 20–40 % в сравнении с классическим ПИД-контроллером, а время переходного процесса уменьшилось на 15 %.

Заключение. В ходе данной работы была разработана система адаптивного управления ориентацией КА с использованием ИНС РБФ. Получено, что разработанная система с правильно подобранными характеристиками ИНС, позволила обеспечить высокую точность и устойчивость системы управления по Ляпунову.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного подхода при построении интеллектуальных систем управления ориентацией КА. Также, при помощи ИНС РБФ представляется возможной адаптация параметров закона управления в реальном времени, что делает предложенную систему технологически гибкой.

Список источников

- [1] Ефимов В.В., Козырев Г.И., Лоскутов А.И., Назаров А.В., Яковкин В.А. *Нейрокомпьютеры в космической технике. Кн. 17*. Москва, Радиотехника, 2004, 320 с.
- [2] Retagne W., Dauer J., Waxenegger-Wilfing G. Adaptive satellite attitude control for varying masses using deep reinforcement learning. *Front. Robot. AI*, 2024, vol. 11, art. no. 1402846. <https://doi.org/10.3389/frobt.2024.1402846>
- [3] Сигеру Омату, Марзуки Халид, Рубия Юсоф. *Нейроуправление и его приложения*. Москва, ИМПРЖР, 2000, 272 с.