

зование алгоритмов PPO даёт возможность не только значительно снизить расход энергии, но и повысить стабильность хода, улучшить приспособляемость к сложному рельефу и минимизировать риск аварийных ситуаций. Кроме того, визуально-ориентированный подход позволяет внедрять дополнительные функции, такие как анализ состояния растений, обнаружение сорняков, мониторинг влажности почвы, без изменения базовой структуры системы.

Список использованной литературы

1. Laskin A., Srinivas A., Abbeel P. Reinforcement Learning with Augmented Data // NeurIPS. 2020.
2. Chen Y., Luo X., Zhang Q. PPO-Based Terrain-Adaptive Locomotion for Mobile Robots // IEEE Robotics and Automation Letters. 2023.
3. Урваев И. Н. Навигация мобильного робота на основе методов лазерной дальнометрии // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1. С. 44–51.

УДК 62-83

Беляцкая А.П., магистр

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Робототехнические механизмы представляют собой сложные динамические системы с особыми требованиями к электроприводам. Многочисленные звенья манипуляторов, работающие в условиях переменных моментов инерции и значительных динамических нагрузок, требуют от приводных систем исключительных характеристик по точности, быстродействию и надежности. Особую сложность добавляет необходимость обеспечения минимальных массогабаритных показателей при максимальной удельной мощности [2].

Электроприводы робототехнических систем должны соответствовать ряду специфических требований, обусловленных особенностями их функционирования. Критически важными для робототехнических применений являются следующие характеристики электроприводов:

- Способность работать в условиях резко переменной нагрузки, характерной для манипуляторов с изменяемой конфигурацией звеньев
- Высокая перегрузочная способность (до 300-400%) для обеспечения динамичных разгонов и торможений
- Минимальные массогабаритные показатели при сохранении высокого крутящего момента
- Точность позиционирования лучше 1 угловой минуты для прецизионных операций
- Широкий диапазон регулирования скорости (до 1:10000 и выше)

Примером успешного решения этих задач является робот HIWIN Multi-Axis Robot, где применяются специально разработанные приводы, обеспечивающие высокое быстродействие при минимальных габаритах [2].

Сравнительный анализ показывает неоднозначность выбора двигателей для различных робототехнических задач.

Шаговые двигатели находят ограниченное применение в роботах легкой серии благодаря простоте управления, но их низкий КПД (60–80%) и риск потери шага делают невозможным использование в высокодинамичных системах [1].

Бесколлекторные двигатели демонстрируют хорошие показатели надежности и КПД (90–95%), однако пульсации момента ограничивают их применение в прецизионных операциях [3].

Синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) с векторным управлением показали наилучшие результаты в современных промышленных роботах. В приводных системах робота IRB 2600 от АВВ они обеспечивают точность позиционирования менее 1 угловой минуты при времени разгона 10–50 мс [5].

Особенностью робототехнических приводов является необходимость реализации сложных алгоритмов управления:

Силомоментное управление стало стандартом для операций сборки и финишной обработки. В системах шлифовки и полировки оно позволяет поддерживать постоянное усилие прижатия инструмента независимо от неровностей поверхности [4].

Адаптивное управление на основе нейросетевых регуляторов обеспечивает компенсацию переменных моментов инерции, характерных для манипуляторов с изменяемой конфигурацией звеньев [5].

Контурное управление с предварительным расчетом траектории позволяет достигать высокой точности при обработке сложных поверхностей, что особенно востребовано в авиа- и машиностроении [2].

Современные электроприводы для робототехники развиваются по трем ключевым направлениям, сочетающим конструктивные и технологические инновации.

Конструктивные решения все чаще ориентированы на безредукторные системы с СДПМ прямого привода. Это позволяет устранить механические люфты и повысить жесткость кинематических цепей, что особенно важно для прецизионных задач.

Интеллектуальное управление интегрирует традиционные алгоритмы с методами ИИ. Комбинация скользящих режимов с нечеткой логикой эффективно компенсирует нелинейности [1, 4]. Для коллаборативных роботов разрабатываются адаптивные алгоритмы, обеспечивающие плавный переход между режимами жесткого позиционирования и безопасного взаимодействия.

Цифровизация включает внедрение цифровых двойников и предиктивных моделей, оптимизирующих управление в реальном времени. Алгоритмы рекуперации энергии позволяют снизить энергопотребление на 20–30% без потери производительности [5].

Эти направления формируют основу для создания робототехнических систем нового поколения с повышенной точностью и адаптивностью.

Современная робототехника предъявляет исключительные требования к электроприводам, что определяет доминирование синхронных двигателей с постоянными магнитами с векторным управлением в сочетании с интеллектуальными системами регулирования. Дальнейшее развитие связано с созданием компактных, высокомоментных приводов с адаптивными алгоритмами управления, способными работать в условиях значительных динамических нагрузок и переменных параметров.

Список использованной литературы

1. Fuzzy Logic Motor Control with MSP430x14x / A. Dannenberg // Texas Instruments. – 2005. – February. – 8 p. – (Application Report; SLAA235).
2. Multi-Axis Robot: каталог продукции / HIWIN Technologies Corp. – Taiwan, 2022. – Форма C99DE11-2204.
3. Detailed Modelling of Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) for Electrical Forklifts part-IV Designing of Subsystem Model of PMSM Block / A. Khare, S. Shrivastava // International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology. – 2016. – Vol. 2, Issue 6. – P. 1–7.

4. Robust internal model control of servo motor based on sliding mode control approach / P. Li, G. Zhu // ISA Transactions. – 2019. – DOI: 10.1016/j.isatra.2019.03.021.

5. Robust current control-based generalized predictive control with sliding mode disturbance compensation for PMSM drives / X. Liu, C. Zhang, K. Li, Q. Zhang // ISA Transactions. – 2017. – Vol. 71. – P. 542–552. – DOI: 10.1016/j.isatra.2017.08.015.

УДК 631.171:62.52

Абдуллаев¹ И.М., магистрант, Баймуханов² Б.Е., магистрант

*¹Казахский агротехнический исследовательский университет
имени Сакена Сейфуллина, Астана*

²Бостонский университет, Бостон

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МОБИЛЬНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ ЗА СЧЕТ НЕЗАВИСИМОГО И АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Внедрение роботизированных систем является инновационным направлением развития агропромышленного комплекса, поскольку автономные и высокоточные мобильные платформы способны эффективно решать различные сельскохозяйственные задачи, независимо от условий внешней среды.

Цель данной работы заключается в проектировании системы управления (СУ) роботизированной четырехколесной платформы, осуществляющей индивидуальное регулирование параметров (крутящего момента M_i и угловой скорости ω_i) каждого из четырех электроприводов для достижения максимальной энергоэффективности и повышенной проходимости. Такой мобильный робот способен автономно выполнять широкий спектр задач, включая посев, внесение удобрений, полив, опрыскивание и доставку собранного урожая.

Разрабатываемая мобильная платформа оснащена четырьмя независимыми бесщеточными двигателями постоянного тока (BLDC) с инкрементальными энкодерами и датчиками тока. Использование BLDC-моторов, имеющих высокий коэффициент полезного действия (до 90%), и реализация прямого привода, по сравнению с меха-