

Внедрялись **сенсорные системы** (датчики силы/момента, машинное зрение), расширялись возможности роботов при обработке деталей, сборке, сварке и пр.

Возникла потребность в **интеграции** роботов в более крупные производственные цепочки и автоматизированные склады, что ускорило развитие промышленных сетей и стандартов (протоколы Profinet, EtherCAT и др.).

5. Робототехника в эпоху «Индустрии 4.0» (2010-е – по настоящее время)

Концепция «Индустрия 4.0» и киберфизические системы стимулировали переход от «жёстко» заданных программ к более **интеллектуальным и гибким** режимам работы роботов.

Начали широко применяться **искусственные нейронные сети**, методы машинного обучения и Deep Learning для задач калибровки, распознавания объектов, адаптивного управления и предиктивного обслуживания.

Получил распространение **ROS (Robot Operating System)** – открытая платформа для создания, тестирования и интеграции роботов.

Увеличилась популярность **коллаборативных роботов (cobots)**, взаимодействующих с человеком, что потребовало особых алгоритмов безопасного управления с учётом ограниченных сил и быстрого реагирования на контакты. [1, 2]

ЛИТЕРАТУРА

1. Козырев, Ю.Г. Автоматизированные технологии и производства. – М.: КноРус, 2017.
2. Павлов, И.Я., Якушев, В.И. Роботы: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2004.

УДК 621.01

А.Б. Чарыев, преп.; С.С. Шайымов, преп.;
И.А. Аннабердиев, преп.

(Институт Телекоммуникаций и информатики Туркменистана, г. Ашхабад,)

ДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОГРАММНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ -МАНИПУЛЯТОРОВ

Динамическое управление программным движением промышленных роботов-манипуляторов – это процесс разработки и реализации алгоритмов, которые позволяют роботу эффективно выполнять движения с учетом динамических характеристик, таких как ускорение, инерция, силы и моменты, действующие на систему. Такие алгоритмы обеспечивают не только точность, но и безопасность, скорость

работы и стабильность движения робота в процессе его взаимодействия с окружающей средой.

Динамическое управление особенно важно в промышленности, где роботы часто выполняют сложные задачи, требующие высокой точности и адаптивности к изменениям условий работы, например, при сварке, сборке, упаковке и манипуляциях с тяжелыми или хрупкими объектами. [1]

Основные аспекты динамического управления движением робота-манипулятора

1. Моделирование динамики манипулятора

Каждый промышленный робот имеет свою механическую структуру, включающую такие элементы, как звенья, суставы и приводы, которые имеют свои инерционные характеристики (масса, моменты инерции). Для успешного управления необходимо точно моделировать динамику этих элементов, а также взаимодействие с окружающей средой.

Математическая модель динамики робота обычно включает уравнения движения второго порядка:

$$M(\theta)\ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta})\dot{\theta} + G(\theta) = T$$

где $M(\theta)$ – матрица инерции, описывающая инерционные свойства робота, $C(\theta, \dot{\theta})$ – вектор кориолисовых сил, учитывающий центробежные и Кориолисовы силы, $G(\theta)$ – вектор гравитационных сил, T – вектор управляющих моментов, которые задаются приводами, θ – вектор углов суставов робота, $\dot{\theta}$ – вектор угловых скоростей суставов, $\ddot{\theta}$ – вектор угловых ускорений суставов.

2. Типы управляющих систем для динамического управления

Существует несколько методов и подходов к динамическому управлению движением роботов-манипуляторов.

- Простое управление на основе обратной связи (PID-регулирование): это самый базовый и распространенный метод для управления роботами. Он включает в себя пропорциональный, интегральный и дифференциальный контроль, который позволяет обеспечивать стабильность и точность в задачах, где движение относительно пространства важно, но не требует слишком сложной динамики.

- Модели на основе обратной связи с учетом инерции и ускорений: для более точного динамического управления используются модели, учитывающие инерцию и ускорения, что особенно важно для задач, в которых робот движется с высокой скоростью или взаимодействует с внешней средой. Например, при захвате объекта важно учитывать инерционные силы и моменты, чтобы избежать повреждения объекта или оборудования.

– Управление с помощью оптимизации траекторий: в этом случае оптимизируются параметры траектории (например, минимизация времени движения или максимизация точности), что важно для выполнения сложных задач, таких как сварка или точная сборка. Метод может включать оптимизацию с учетом физических ограничений, таких как максимальное ускорение, скорость и силы на суставах.

– Модели с учетом динамических ограничений: важным аспектом динамического управления является учет различных ограничений, таких как максимальное ускорение и скорость, а также ограничения на силы и моменты, которые могут действовать на суставы и приводные системы робота.

3. Методы управления динамикой манипуляторов

На практике используется несколько методов, которые делают возможным динамическое управление в реальном времени:

– Управление с учетом модели (Model-based control): этот метод основывается на точной математической модели манипулятора и предполагает вычисление требуемых управляющих воздействий на основе состояния робота (например, углов, скоростей, ускорений). Одним из методов является управление на основе модели с обратной связью (feedback linearization), которое позволяет преобразовать сложное нелинейное поведение робота в более простое для управления.

– Управление с помощью оптимизации: применение алгоритмов оптимизации для выбора управляющих усилий, учитывая как физические ограничения, так и задачи робота. Например, метод динамического программирования или методы на основе стохастических моделей (например, стохастическое управление) могут использоваться для решения задачи оптимизации траектории с учетом динамических ограничений.

– Управление с помощью искусственного интеллекта (AI): применение нейросетей, машинного обучения и других методов искусственного интеллекта для предсказания и коррекции движения робота в реальном времени. Например, алгоритмы глубокого обучения могут использоваться для обучения робота взаимодействию с объектами с учетом силы, инерции и других динамических характеристик.

4. Динамическая компенсация внешних воздействий

Важным аспектом динамического управления является компенсация внешних сил, которые могут воздействовать на манипулятор, например, силы при захвате объекта или взаимодействии с рабочей средой. Для этого могут использоваться методы обратной связи с учетом внешних сил (например, сила-сенсоры или методы импедансного управления).

Импедансное управление – это подход, при котором система управляет не только положением робота, но и его жесткостью и демпфированием, чтобы адаптироваться к изменениям внешней силы. Это особенно полезно в задачах, где робот должен работать с деформируемыми или неструктурированными объектами.

5. Использование виртуальных преград и задач с несколькими манипуляторами

В некоторых случаях роботы могут работать с несколькими манипуляторами или манипулировать объектами в тесном взаимодействии с окружающей средой. В этих случаях могут использоваться методы многоместного управления (multi-agent control), а также создание виртуальных преград, которые предотвращают столкновения с объектами или другими роботами, а также учитывают динамические изменения положения.

Применение динамического управления в промышленности

1. Роботы с высокой скоростью и точностью (например, роботизированные сварочные системы): для таких роботов важно, чтобы алгоритмы управления учитывали не только точность выполнения задачи, но и динамические особенности движения (ускорения, инерция).

2. Роботы для работы с чувствительными или хрупкими материалами: в таких приложениях используется динамическое управление с компенсацией внешних воздействий и импедансное управление для обеспечения бережного обращения с объектами.

3. Роботы для сборки или манипуляции с тяжелыми объектами: здесь динамическое управление необходимо для предотвращения перевеса или излишних усилий при манипуляции с большими или нестабильными грузами.

Заключение

Динамическое управление движением промышленных роботов-манипуляторов играет важнейшую роль в эффективной и безопасной работе роботизированных систем. Использование сложных математических моделей, современных методов оптимизации и искусственного интеллекта позволяет роботам не только точно выполнять задачи, но и адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды, улучшая производительность и снижая риски. [2]

ЛИТЕРАТУРА

1. Козырев, Ю.Г. Автоматизированные технологии и производства. – М.: КноРус, 2017.
2. Павлов, И.Я., Якушев, В.И. Роботы: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 2004.