
НОВЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИИ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

Сюй Вэньжань

Шэнь Пэнчэн

Шэнь Чаоюн

Ван Чундэ

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет (ЛЭТИ)

Аннотация

По мере развития области промышленной автоматизации технология модального управления постепенно появляется и привлекает к себе широкое внимание. В данной статье мы рассматриваем новые разработки технологии модального управления в области промышленной автоматизации, уделяя особое внимание ее важной роли в повышении производительности, эффективности и надежности промышленных процессов. Поскольку технология продолжает развиваться, мы также рассматриваем передовые методы модального управления, включая модальное управление на основе искусственного интеллекта и применение глубокого обучения в модальном управлении. Эти новые подходы демонстрируют потенциал методов модального управления при работе со сложными промышленными процессами и то, как они могут повысить эффективность систем автоматизации. На основе анализа реальных промышленных примеров мы показываем применение методов модального управления в таких ключевых областях, как оптимизация производственных линий и управление энергопотреблением, повышая тем самым эффективность и устойчивость промышленной автоматизации. Это создает прочную теоретическую и практическую основу для будущих исследований и практической деятельности.

Ключевые слова: Технология модального управления, промышленная автоматизация, новые разработки, оптимизация автоматизированных процессов, современные методы управления.

NEW DEVELOPMENTS IN MODAL CONTROL TECHNOLOGY IN INDUSTRIAL AUTOMATION

Xu Wenran

Sheng Pengcheng

Shen Chaoyong

Wang Chongde

St. Petersburg State Electrotechnical University (LETI)

ABSTRACT

With the development of the field of industrial automation, modal control technology is gradually emerging and attracting wide attention. In this paper, we review new developments of modal control technology in the field of industrial automation, focusing on its important role in improving the productivity, efficiency, and reliability of industrial processes. As the technology continues to evolve, we also review advanced modal control techniques, including modal control based on artificial intelligence and the application of deep learning to modal control. These new approaches demonstrate the potential of modal control techniques when dealing with complex industrial processes and how they can improve the efficiency of automation systems. Through the analysis of real industrial examples, we show the application of modal control methods in key areas such as production line optimization and energy management, thereby improving the efficiency and sustainability of industrial automation. This provides a solid theoretical and practical foundation for future research and practice.

Keywords: Modal control technology, industrial automation, new developments, optimization of automated processes, modern control methods.

Введение. В последние годы применение системы модального управления в китайской промышленности становится все более распространенным. Технология модального управления основана на информатике, теории управления, технологии искусственного интеллекта и т.д., при этом в качестве объекта управления выступают сложные задачи, нелинейные модели, математические модели неопределенности и т.д., что позволяет решать проблемы управления немоделируемыми системами, и является передовым этапом развития технологии управления[1]. В условиях интеллектуального развития китайской промышленности традиционная система модального управления с трудом отвечает современным требованиям производства, поэтому изучение возможностей интеграции технологии модального управления в промышленную автоматику, использование всех ее преимуществ, таких как высокая отказоустойчивость, сильная координация, стабильность мультимодального управления и т.д., может эффективно повысить стабильность и надежность работы промышленной автоматики и имеет большое значение для содействия модернизации китайской промышленности.

1. Современное состояние технологии модального управления

Общие сведения о промышленной автоматизации:

Промышленная автоматизация стала неотъемлемой частью современного производства. Во всем мире системы промышленной автоматизации широко используются для повышения производительности, качества и надежности. По мере развития технологий системы промышленной автоматизации все больше зависят от передовых технологий управления, позволяющих реагировать на меняющиеся требования рынка и сложные производственные условия. Развитие систем автоматизации существенно изменило различные отрасли промышленности, включая обрабатывающую, энергетическую,

химическую, автомобильную и аэрокосмическую, обеспечив компаниям огромное конкурентное преимущество.

Роль технологии модального управления:

Технология модального управления как передовая стратегия управления вызывает широкий интерес в области промышленной автоматизации. Она основана на математическом моделировании и теории управления и направлена на повышение производительности и надежности систем автоматизации. Модальные методы управления позволяют эффективно решать сложные задачи, использовать нелинейные модели и неопределенные математические модели, которые зачастую трудно решить традиционными методами управления. С помощью модального управления промышленные системы могут лучше справляться с колебаниями и возмущениями в производственном процессе, повышая тем самым производительность и снижая затраты.

Проблемы, с которыми приходится сталкиваться:

В настоящее время, когда промышленная автоматизация стремительно развивается, перед этой областью стоит целый ряд сложных задач. Эти проблемы обусловлены не только постоянным развитием рынка, но и технологическими, экологическими и конкурентными факторами. В современной промышленной автоматизации большое значение имеют следующие ключевые проблемы [2]:

(1) Технологическая сложность и разнообразие: по мере роста сложности промышленных систем в них задействуется множество различных типов устройств, датчиков и контроллеров. Такое технологическое разнообразие усложняет системную интеграцию и командную работу и требует более надежных стратегий управления.

(2) Неопределенность в производственной среде: промышленные производственные среды часто полны неопределенностей, таких как колебания качества сырья, отказы оборудования, смена персонала и т.д. Эта неопределенность создает проблему для производительности и стабильности систем автоматизации.

(3) Эффективность использования ресурсов и экологическая устойчивость: В условиях растущей озабоченности дефицитом ресурсов и экологической устойчивостью промышленным компаниям необходимо более эффективно использовать ресурсы, сокращать энергопотребление и выбросы отходов.

(4) Конкурентное давление и изменения на рынке: конкурентное давление на глобализированном рынке требует от промышленных компаний постоянного повышения производительности, качества продукции и инноваций для адаптации к быстрым изменениям на рынке.

(5) Безопасность и ремонтпригодность: системы промышленной автоматизации должны обладать высокой степенью безопасности и ремонтпригодности для предотвращения аварий и сокращения времени простоя.

Перед лицом этих проблем технология модального управления предлагает многообещающий подход, который поможет системам промышленной автоматизации лучше адаптироваться к этим сложным ситуациям.

Цель исследования - дать представление о последних достижениях в области методов модального управления в промышленной автоматизации, чтобы понять их потенциал для повышения производительности, эффективности и надежности промышленных процессов и обеспечить важную теоретическую и практическую основу для инженерной практики и будущих исследований.

Задачи исследования:

(1) систематический обзор последних достижений в области модальных методов управления: проводится всесторонний обзор различных вариантов, алгоритмов и методов

модальных методов управления с целью определения их применения и эффективности в промышленной автоматизации.

(2) сравнение методов модального управления с традиционными методами управления: оценка достоинств и недостатков методов модального управления в промышленной автоматизации путем сравнения их эффективности с традиционными методами управления, такими как обычное ПИД-регулирование.

(3) исследование методов модального управления на основе искусственного интеллекта и глубокого обучения: изучение возможностей применения методов искусственного интеллекта и глубокого обучения к модальному управлению для повышения его применимости и эффективности.

(4) разработка имитационных и экспериментальных платформ: создание имитационных и экспериментальных платформ для промышленных процессов, которые могут быть использованы для тестирования и валидации новых подходов к модальному управлению и анализа эффектов их применения в реальных условиях.

(5) проанализировать примеры применения в промышленности: оценить, как методы модального управления могут повысить эффективность производственных линий, снизить затраты, повысить ремонтпригодность и надежность, изучив реальные примеры в области промышленной автоматизации.

(6) заглянуть в будущее: провести углубленное обсуждение будущих тенденций и потенциальных областей применения технологии модального управления в промышленной автоматизации, а также дать рекомендации по направлениям будущих исследований.

2. Обзор технологии модального управления

2.1 Основные понятия методов модального управления

Определение модального управления:

Модальное управление - это передовая стратегия управления, основанная на математических моделях и теории управления и направленная на повышение производительности и надежности систем автоматизации. Основная идея модального управления заключается в использовании методов модального анализа для углубленного изучения вибрационных характеристик и динамического поведения системы с целью лучшего понимания и управления различными режимами (моделями колебаний) системы.

Принципы модального управления:

Принцип модального управления основан на идентификации и контроле модальных параметров системы (частота модальных колебаний, коэффициент демпфирования и т.д.). Измеряя данные об отклике системы и применяя стратегию управления, модальное управление позволяет регулировать режимы вибрации системы для достижения лучших характеристик. Такой подход к управлению направлен на снижение вибрации, подавление колебаний и повышение устойчивости системы.

Области применения:

Методы модального управления используются в широком спектре областей применения, включая, в частности, следующие:

- Конструкционная техника: для контроля вибраций в инженерных сооружениях, таких как здания, мосты, самолеты и автомобили.

- Машиностроение: для улучшения управления движением и подавления вибраций в механических системах.

- Энергетические системы: для оптимизации работы энергетических систем и снижения энергопотребления.

- Производство: контроль качества и повышение производительности производственных процессов.

- Автомобильная промышленность: контроль вибраций и повышение устойчивости при движении в системах подвески автомобилей.

Эти области применения демонстрируют универсальность и потенциальную ценность технологии модального управления, предлагая более широкий спектр применений для систем промышленной автоматизации.

2.2 Методы модального анализа

Основные методы модального анализа:

Модальный анализ является одним из основных методов исследования вибрационных характеристик и динамического поведения систем. Он основан на данных о вибрации и математических моделях и направлен на выявление режимов вибрации системы. Основные методы модального анализа включают такие приемы, как частотно-доменный анализ, анализ во временной области и идентификация модели, которые используются для выявления динамических свойств системы.

Идентификация модальных параметров:

Идентификация модальных параметров - важная часть модального анализа, которая заключается в извлечении модальных параметров системы из фактических данных. Эти параметры включают в себя частоту, коэффициент демпфирования и модальную массу мод колебаний. Методы идентификации модальных параметров обычно включают подгонку моделей, идентификацию в частотной области, идентификацию во временной области и методы подпространства для точной оценки модальных параметров по экспериментальным данным.

Модальное виброуправление:

Модальное виброуправление - важный аспект технологии модального управления, направленный на улучшение характеристик системы путем корректировки режимов ее колебаний. Методы модального виброуправления включают в себя активные, пассивные и полупассивные методы управления для снижения вибрации, подавления колебаний и повышения устойчивости системы. Эти методы используют информацию о модальных параметрах для достижения целей управления вибрацией с помощью соответствующих стратегий управления с обратной связью.

3. Новые разработки в технологии модального управления

3.1 Современные методы модального управления

3.1.1 Модальное управление на основе искусственного интеллекта:

Методы модального управления на основе искусственного интеллекта представляют собой новое направление развития технологии модального управления, которое использует машинное обучение, глубокое обучение и другие методы искусственного интеллекта для повышения интеллектуальности и адаптивности системы управления. Подробно эти методы описаны ниже:

(1) Применение машинного обучения в модальном управлении

Методы машинного обучения позволили добиться значительного прогресса в области модального управления. Используя контролируемое обучение, неконтролируемое обучение и обучение с подкреплением, системы управления могут автоматически корректировать стратегии управления на основе данных, получаемых в реальном времени. Исследовательская литература показывает [3][4][5], что машинное обучение достигло впечатляющих результатов в таких областях, как управление вибрациями, мониторинг состояния конструкций и диагностика неисправностей.

(2) Применение глубокого обучения

Глубокое обучение, как направление машинного обучения, широко используется в области модального управления. Архитектуры глубокого обучения, такие как глубокие нейронные сети (DNN), сверточные нейронные сети (CNN) и рекуррентные нейронные

сети (RNN), используются для оценки модальных параметров, управления вибрациями и идентификации динамических моделей. Исследовательская литература и данные показывают, что методы глубокого обучения могут повысить производительность и адаптивность систем модального управления.

3.2 Примеры промышленного применения

Пример: Исследование мультимодальной интерактивной интеллектуальной системы управления инвалидным креслом

Мультимодальное интерактивное интеллектуальное кресло-коляска создано на базе существующего электрического кресла-коляски с качалкой, с новым сенсорным экраном и режимом голосового управления, что повышает удобство управления и интеллектуальность кресла-коляски. Вся система использует идею модульности, органично объединяет приводную схему, главную схему управления и схему защиты, а также разрабатывает и совершенствует драйвер двигателя кресла-коляски для реализации функции регулирования скорости и изменения направления движения кресла-коляски. В системе взаимодействия используются две микросхемы управления, для взаимодействия с сенсорным экраном используется микросхема управления STM32F103ZET6, дизайн интерфейса взаимодействия основан на трансплантации операционной системы реального времени $\mu\text{C}/\text{OS-III}$ и библиотеки графического интерфейса emWin, а в качестве дисплея и сенсорного терминала используется 4,3-дюймовый емкостной экран. Для голосового взаимодействия используется модуль LD3320, который взаимодействует с STM32F103ZET6 через последовательный порт. Модуль управления джойстиком завершает взаимодействие, соединяясь с главным управляющим драйвером, схема питания которого показана на рис. 1. Драйвер двигателя принимает STM32F103RCT6 в качестве мастера управления, и его основными задачами являются получение АЦП рокера, генерация ШИМ управления скоростью вращения двигателя и определение тока двигателя. Оба мастера обмениваются данными друг с другом через последовательный порт, и было проверено, что система имеет дружественный интерфейс дисплея, надежное исполнение, стабильную работу и хорошие показатели реального времени [6][7].

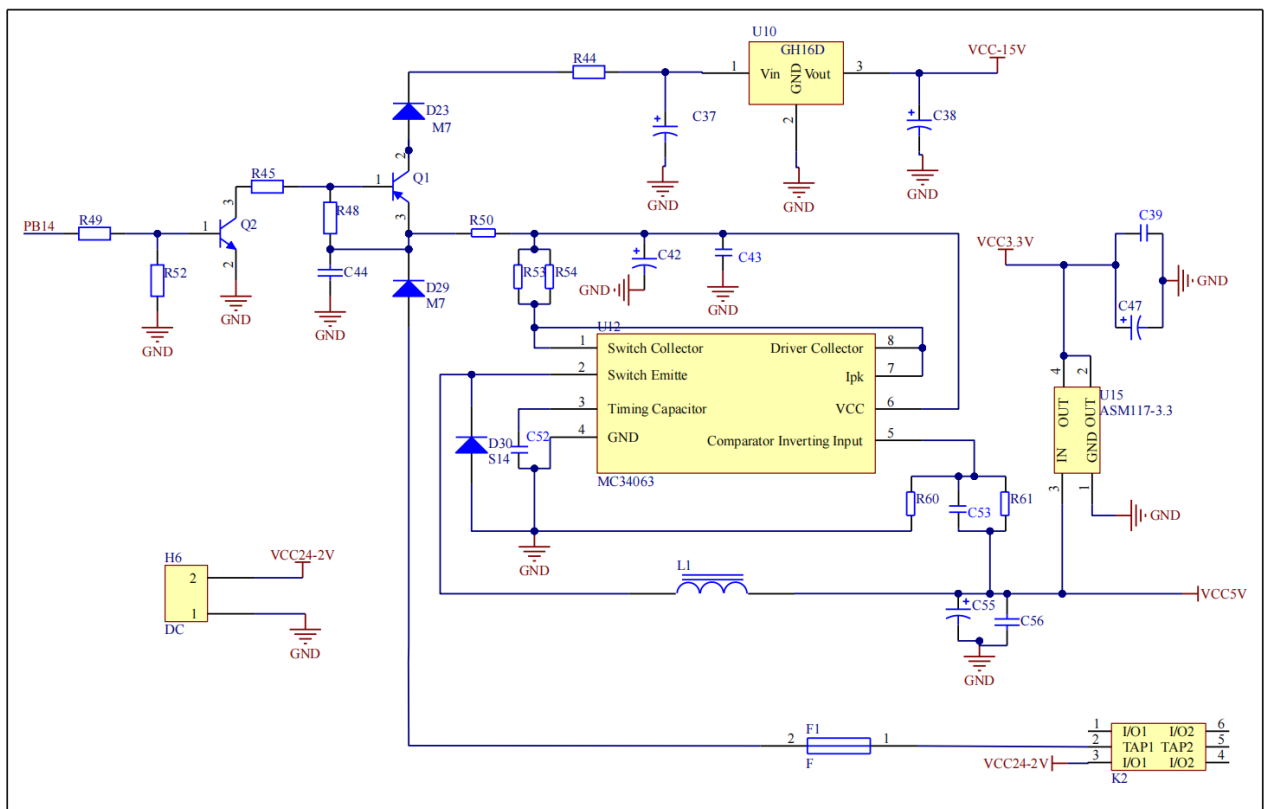


Рисунок 1 - Принципиальная схема источника питания драйвера

Данная разработка позволяет усовершенствовать и оптимизировать существующее кресло-коляску в двух аспектах: драйвер двигателя кресла-коляски и платформа взаимодействия. Драйвер объединяет схемы управления и привода, а также обеспечивает функциональные интерфейсы для облегчения функциональной модернизации. При напряжении питания 24 В, установившемся выходном токе 6 А и пиковом токе 10 А двигатель способен запускаться, коммутироваться и останавливаться, характеризуется высокой выходной мощностью и высокой надежностью. В то же время на основе режима управления джойстиком, разработки интерактивного интерфейса с сенсорным экраном и добавления функций голосового взаимодействия создана безопасная, надежная и простая в обслуживании мультимодальная интерактивная интеллектуальная система управления инвалидным креслом.

3.3 Перспективы развития технологии модального управления

3.3.1 Перспективные направления исследований

Будущее развитие технологии модального управления в промышленной автоматизации имеет широкий спектр направлений исследований, среди которых можно выделить следующие:

Интеллектуальные системы модального управления:

Будущие исследования могут быть направлены на разработку более интеллектуальных систем модального управления, включая большую самоадаптивность, способность к самообучению и адаптивному принятию решений, что позволит лучше справляться с изменяющейся промышленной средой.

Мультимодальные стратегии управления:

Исследования могут быть направлены на разработку мультимодальных стратегий управления для решения более сложных задач управления. Это предполагает одновременное управление несколькими режимами системы для повышения ее производительности и гибкости.

Интеграция глубокого обучения и модального управления:

Глубокая интеграция методов глубокого обучения и модального управления является перспективным направлением исследований. Дальнейшее изучение возможностей применения глубокого обучения для идентификации модальных параметров и управления вибрациями позволит повысить уровень автоматизации и интеллектуальности системы.

Зеленое модальное управление:

Поскольку вопросы устойчивого развития приобретают все большее значение, будущие исследования могут быть направлены на разработку стратегий "зеленого" модального управления, позволяющих снизить энергопотребление, минимизировать воздействие на окружающую среду и повысить эффективность использования ресурсов.

3.3.2 Потенциальные области применения

Потенциальные области применения технологии модального управления будут постоянно расширяться, включая, в частности, следующие области:

Производство - технология модального управления может применяться в обрабатывающей промышленности для повышения эффективности производственных линий, снижения производственных затрат и улучшения качества продукции.

Управление энергетикой - В области управления энергетикой модальное управление может быть использовано для оптимизации работы энергетических систем, повышения энергоэффективности и сокращения потерь энергии.

Здания и инфраструктура - Модальное управление может использоваться для контроля вибраций в зданиях и инфраструктуре с целью повышения устойчивости и безопасности конструкций.

Движение и транспорт - в области движения и транспорта технология модального управления может использоваться для повышения устойчивости и комфорта управления транспортными средствами.

В целом технология модального управления имеет многообещающее будущее и может обеспечить более интеллектуальные, эффективные и надежные решения для широкого спектра задач промышленной автоматизации.

Выводы. Таким образом, технология модального управления как передовая стратегия управления открывает большие перспективы в области промышленной автоматизации. Она повышает производительность, адаптивность и интеллектуальность систем автоматизации за счет применения методов, основанных на математических моделях и искусственном интеллекте, и, как ожидается, позволит решить разнообразные задачи в области промышленной автоматизации. Будущие исследования будут сосредоточены на интеллектуальных системах модального управления, мультимодальных стратегиях управления, интеграции глубокого обучения и "зеленого" модального управления, что обеспечит более эффективные и устойчивые решения для различных областей, таких как производство, управление энергией, строительная инфраструктура и транспорт, и будет способствовать модернизации и развитию промышленности.

Список литературы:

1. He Hongbin, Su Li, Fang Yunhui, et al. Исследование применения автоматизации распределения на основе диверсифицированных требований к надежности нагрузки [J]. Northeast Electric Power Technology, 2017, 38(4):11-16.
2. LIU Jizhen, LI Lu, FANG Fang. A survey on the study and application of multi-mode control[J]. Control Engineering of China, 2015, 22(5): 869.
3. YANG Weijian, SHE Qingshan, ZHANG Qizhong, et al. Интеллектуальный метод управления инвалидной коляской на основе распознавания ЭМГ-сигналов плеча и шеи[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2016, 50(6):949- 956, 962.
4. Wu Cong, Zhang Kun, Yang Licai. Разработка устройства мониторинга осанки для пожилых людей на основе инерционного датчика[J]. Biomedical Engineering Research, 2018, 37(2):210-214.
5. Han Zhixin, Sui Xiuwu. Исследование технологии интеллектуального управления миоэлектрической инвалидной коляской на основе слияния информации из нескольких источников[J]. Modern Manufacturing Engineering, 2020(9):136-144.
6. Rosero P, Peluffo D, Batista V, et al. Intelligent system for identification of wheelchair user's posture using machine learning techniques[J].IEEE Sensors Journal,2019,19(5):1-8.
7. Abolfazl M. Human-robot interaction in rehabilitation and assistance: a review[J]. Current robotics reports,2020, 1(3) : 131-144.