

Реализация нейро-нечетких систем управления

С. М. Морозов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
frostsergei01@gmail.com

Аннотация. В работе представлен нейро-нечеткий подход к реализации интеллектуальных систем автоматического управления. На основе нейро-нечетких технологий осуществляется разработка обучаемых систем управления с высокой степенью интерпретируемости. Рассмотрены возможности обучения таких систем для функционирования в новых условиях. При этом системы позволяют интерпретировать действия, благодаря которым осуществляется управление. Приведены примеры применения нейро-нечеткого управления: виртуальный ассистент и автоматическая калибровка устройства.

Ключевые слова: *нейро-нечеткие вычисления, системы автоматического управления, встраиваемые системы, настройка устройств, автоматизация технических процессов, виртуальные ассистенты*

I. ВВЕДЕНИЕ

Системы управления используются во многих областях нашей деятельности. Автоматическое управление выполняет важную задачу – автоматизирует действия, выполняемые людьми, освобождая нашу жизнь от тяжёлой, рутинной работы.

Для решения задач автоматического контроля сложных вычислительных комплексов, необходимы сложные технические средства, поэтому развитие современных технологий приводит к модернизации и усложнению систем управления.

Одним из средств реализации систем управления является искусственный интеллект. Системы, основанные на этой технологии, позволяют осуществлять автоматическое управление, такое как контроль турбин, управление производством, учет ресурсов, и др. Для реализации систем управления существуют подходы, основанные на использовании искусственного интеллекта.

II. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ

Основой любой системы управления является обратная связь, с помощью которой анализируется текущее состояние системы. Если система вышла из своего нормального состояния, то благодаря обратной связи можно оказать на неё стабилизирующее воздействие, в этом случае речь идет об отрицательной обратной связи. Для возбуждающего действия в системах используется положительная обратная связь (например, для реализации генераторов).

Самым известным примером использования обратной связи является операционный усилитель, на основе которого можно реализовать как положительную, так и отрицательную обратную связь. Операционный усилитель

без применения обратной связи можно использовать в качестве компаратора, однако обратная связь расширяет диапазон возможностей его применения. Отрицательная обратная связь в операционном усилителе используется для создания различных узлов: повторителя, сумматора сигналов и др. Положительная обратная связь применяется редко, например, как способ реализации триггера Шмитта для обеспечения гистерезиса.

Существует несколько основных подходов, основанных на искусственном интеллекте, которые используются для организации обратной связи в системе. Самыми известными средствами реализации интеллектуальной обратной связи являются нечеткая логика и нейронные сети, которые представляют собой нечеткие [1] и нейронные [2] системы управления соответственно.

Использование нечеткого контроллера для обратной связи приводит к созданию нечеткой системы управления. Такие системы реализуют набор нечетких правил для осуществления регулирования, с помощью этих правил легко спроектировать систему. Однако нечёткие правила определяются экспертами на стадии проектирования, поэтому степень интеллектуальности таких систем низка.

Нейронные системы управления используют нейронные сети для реализации регулятора. Эти системы способны к обучению в процессе работы, однако использование нейронных сетей приводит к низкой степени интерпретируемости таких систем.

Объединение этих двух подходов приводит к появлению нейро-нечетких систем управления [3], которые объединяют достоинства приведенных ранее систем: способность к обучению и хорошую интерпретируемость.

III. АВТОМАТИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА УСТРОЙСТВ

Одной из задач, которую может выполнить нейро-нечеткая система управления, является настройка встраиваемых систем [4]. Их калибровка очень важна, если устройство формирует аналоговые сигналы с высокой точностью. Например, если от устройства требуется сформировать сигнал тока с точностью до 3 мкА, то иногда требуются механизмы повышения точности сигналов в цепи, поскольку погрешности электронных компонентов могут серьезно повлиять на формируемый сигнал.

В общем случае нейро-нечеткий вычислитель выполняет считывание всех внешних сигналов, сравнивает их с эталонными сигналами и осуществляет воздействие

на параметры системы на основе этого сравнения. Таким образом, задача калибровки реализуется на основе классификации сигналов.

Рассмотрим пример нейро-нечеткой системы для этой цели. В качестве настраиваемого устройства использован поверочный стенд. Структура системы представлена на рис. 1. Алгоритм калибровки (обратной связи) представлен на рис. 2.

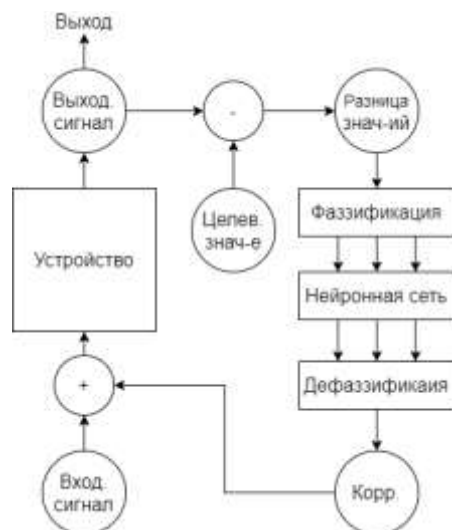


Рис. 1. Структура системы калибровки

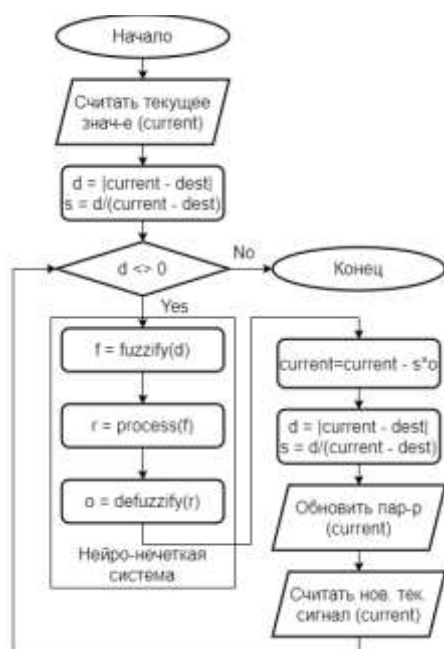


Рис. 2. Алгоритм калибровки

Нейро-нечеткий подход позволяет создать систему калибровки на основе машинного обучения. Пользователь может создать нечеткие правила, которые будут выполнять калибровочный процесс. При этом нечеткие правила должны отвечать ряду общих правил, которые предотвращают превращение отрицательной обратной связи в положительную, так как положительная обратная

связь может привести к тому, что осуществить калибровку за приемлемое время станет невозможно. Например, регулятор должен уметь оказывать на устройство минимальное воздействие, чтобы гарантировать возможность достичь целевое состояние [5].

Следует отметить, что конфигурация нечетких правил влияет на время калибровки. Установлено, что чем больше максимальное воздействие на устройство, тем быстрее выполнится процесс калибровки. Также было установлено, что чем больше нечетких правил в системе, тем дольше будут происходить вычисления. В то же время увеличение количества нечетких множеств сокращает число операций, требуемых для настройки.

Применение нейро-нечеткого регулятора для калибровки стенда позволяет автоматизировать процесс настройки. Автоматизированная настройка стенда может занимать менее 4 минут, в то время как ручная настройка занимает около 10 минут.

Правильно обученная универсальная система может осуществлять настройку устройства. Использование обучаемых механизмов позволяет создавать нечеткие правила для настройки. Эти правила легко модифицируются, поэтому в процессе разработки экспериментальным путем легко получить наиболее эффективный набор нечетких правил.

Такие системы могут быть реализованы как на программной, так и на аппаратной основе. Аппаратное решение позволяет создать завершенное устройство, которое будет выполнять процесс калибровки. Такое решение может быть использовано на автоматизированном производстве. Базой для аппаратного подхода может являться плата на основе микроконтроллера или микропроцессора.

Программный способ позволяет создать модуль, который можно быстро встроить в калибровочный процесс. Например, модуль может быть встроен в существующие приложения, которые используются для взаимодействия с устройством. Этот способ проще, чем аппаратный, поскольку программный подход позволяет использовать средства операционной системы. Аппаратный способ не предполагает применение операционной системы, что ограничивает средства для разработки (например, использование распространенных средств разработки искусственного интеллекта, таких как язык Python и библиотек для него, становится сложной задачей). В то же время, программные системы не всегда способны получить сигналы, необходимые для работы. Если при реализации аппаратного подхода можно подобрать управляющий элемент, реализующий необходимые интерфейсы взаимосвязи, то компьютер имеет ограниченный набор средств коммуникации.

Промежуточным способом является использование простых микрокомпьютеров, которые представляют собой миниатюрные устройства и могут стать базой для законченного устройства. В то же время эти компьютеры могут использовать средства операционных систем. Самым известным примером таких компьютеров является Raspberry Pi, который применяется для реализации

различных устройств. Этот компьютер может использовать операционные системы как на основе Linux (Raspbian), так и Windows 10 IoT.

Каждый из описанных подходов к реализации имеет свои достоинства и недостатки. Аппаратный способ позволяет создать устройство, которое будет выполнять процесс калибровки, однако реализация такого подхода сложнее. Программный способ позволяет использовать широкий набор средств для создания системы искусственного интеллекта.

IV. ВИРТУАЛЬНЫЕ АССИСТЕНТЫ

Ещё одним способом применения указанных подходов являются нейро-нечеткие виртуальные ассистенты. Они могут использоваться для управления сложными вычислительными комплексами, оказывая поддержку должностным лицам, которые контролируют вычислители.

В этом случае контроль системы осуществляется по большому набору параметров. Для работы вычислительного комплекса, состоящего из большого набора устройств, связанных между собой, требуется предусмотреть возможные нештатные ситуации. Это может быть как неполадка в отдельном узле, так и нарушение связи между узлами.

Рассмотрим виртуального ассистента для управления комплексами по учету энергоносителей. Комплекс состоит из определенного количества приборов учета, которые связаны между собой. Нейро-нечеткий регулятор должен выполнять разносторонний анализ текущих показаний и отслеживать динамику изменения параметров для всех приборов. В зависимости от результатов анализа предпринимаются определенные действия, например, оповещение пользователей о поломке узла. Приборы учета (корректоры газа, тепловычислители, сумматоры электроэнергии) вычисляют большое количество параметров, на основе которых осуществляется учет. Продвинутое оборудование может фиксировать ряд предопределенных нештатных ситуаций, однако иногда нужен анализ текущих параметров. Анализ параметров за определенный период также можно использовать для управления комплексом (например, для определения ложного появления нештатных ситуаций).

Использование нейро-нечеткого регулятора позволяет решить несколько проблем. Во-первых, при использовании нечеткой логики проще описать условия, которые не являются нормальными и требуют действий по исправлению. Во-вторых, нейронные сети обеспечивают обучаемость системы управления, что даёт возможность определить новые нештатные ситуации и обеспечить их обработку. Эти факторы позволяют создать универсальное ядро виртуального ассистента, которое можно обучить для работы с любыми типами вычислителей. Такое ядро может быть как локальным (настраиваемым для конкретной системы), так и общедоступным (реализующим универсальный набор нечетких правил).

Для разработки виртуального ассистента возможно совмещение аппаратного и программного подходов. Самым известным способом реализации является размещение основного функционала ассистента на

сервере, а его клиентской части на различных носителях: как программных, так и аппаратных. Такой подход использован для реализации ассистента Alexa (Amazon) [6, 7]. Его основной функционал реализован на сервере, к которому подключаются все приложения, вне зависимости от их воплощения. Одним из способов использования этих ассистентов являются умные колонки, которые по интернету подключаются к необходимым сервисам. Можно выделить [8] основные компоненты колонки: процессор, память, Wifi и Bluetooth чип, компоненты для работы со звуком, индикация, кнопки и контроллер питания. Функционал колонки сводится к распознаванию речи, передаче данных на сервер, сохранению данных в памяти и озвучиванию результата работы.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные подходы можно использовать для реализации интеллектуальных систем автоматического управления в различных областях. Нейро-нечеткие вычисления позволяют создать эффективные регуляторы, использующиеся для решения разнообразных задач.

Нейро-нечеткие системы управления можно успешно применять в задачах калибровки устройств и реализации виртуальных ассистентов. Использование нейро-нечетких механизмов позволяет создать гибко настраиваемую систему, легко модифицируемую для работы в новых условиях.

Дальнейшие исследования можно направить на самоорганизацию описанных нейро-нечетких регуляторов, использующих самоорганизацию для поиска наиболее оптимального набора нечетких правил при решении различных задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Herbert Martins Gomes, "Fuzzy logic for structural system control" // Latin American Journal of Solids and Structures vol 9, pp. 111-129, 2012.
- [2] António Eduardo de Barros Ruano, "Applications of neural networks to control systems", School of Electronic Engineering Science, University of Wales, Bangor, February 1992.
- [3] John Milton, "Time delays and the control of biological systems: An overview" // IFAC-PapersOnLine 48(12):87-92, December 2015.
- [4] Морозов С.М. Метод самоорганизации нейро-нечетких систем для настройки устройств и классификации // XXIV Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям (SCM-2021). Сборник докладов. Санкт-Петербург. 26–28 мая 2021 г. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», с. 145-148.
- [5] Sergey M. Morozov, Neuro-fuzzy Approach for the Calibration of High-Precision Embedded Systems // 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2021, Budva, Montenegro, June 7-10, p. 747.
- [6] Young-Bum Kim, The Scalable Neural Architecture behind Alexa's Ability to Select Skills [Электронный ресурс] URL: <https://www.amazon.science/blog/the-scalable-neural-architecture-behind-alexa-s-ability-to-select-skills> [дата обращения: 13.06.2021]
- [7] Alexandre Gonfalonieri, How Amazon Alexa works? Your guide to Natural Language Processing (AI) [Электронный ресурс] URL: <https://towardsdatascience.com/how-amazon-alexa-works-your-guide-to-natural-language-processing-ai-7506004709d3> [дата обращения: 13.06.2021]
- [8] Lee Teschler, Teardown: Inside Amazon's Echo Dot [Электронный ресурс] URL: <https://www.microcontrollertips.com/teardown-inside-amazons-echo-dot/> [дата обращения: 13.06.2021]