

Нейро-нечеткая модель для внутрисхемных систем управления

С. М. Морозов, М. С. Куприянов

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

frostsergei01@gmail.com, mikhail.kupriyanov@gmail.com

Аннотация. Важнейшей областью является разработка встраиваемых систем. Внутрисхемные системы управления позволяют улучшить качество выходных или внутренних сигналов, формируемых различными устройствами. Нейро-нечеткие модели обеспечивают интеллектуальную основу для разработки эффективных подсистем управления сигналами. В работе представлена нейро-нечеткая модель, обеспечивающая управление качеством сигналов.

Ключевые слова: *нейро-нечеткие системы; встраиваемые системы; системы управления; цепи обратной связи; точные сигналы*

I. ВВЕДЕНИЕ

В различных областях такие параметры как точность и стабильность являются показателями качества формируемых устройствами сигналов и представляют собой основные характеристики устройств. Существует множество разнообразных подходов для обеспечения высокого качества сигналов.

Некоторые подходы основаны на методах искусственного интеллекта (ИИ), чтобы обеспечить адаптивные свойства систем. Нейро-нечеткая модель – одна из возможных реализаций такого подхода. Свойства нейронных сетей обеспечивают процесс обучения распознавать конкретные ситуации, а возможности нечеткой логики обеспечивают интерпретируемость систем.

II. ИСПОЛЪЗУЕМЫЕ КОНЦЕПЦИИ

В системах управления свойство адаптивности обеспечивается введением обратной связи [1], которая позволяет получать информацию о выходных данных системы.

Обратная связь широко используется в операционном усилителе [2], который может выполнять разные функции в зависимости от вида обратной связи: компаратор, повторитель, усилитель, и т. д.

Нейро-нечеткие системы применяются для реализации различных регуляторов. Например, нейро-нечеткий механизм использовался при создании ПИД-регулятора, основанного на предикторе Смита [3].

III. НЕЙРО-НЕЧЕТКАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ

Цепь обратной связи нейро-нечеткого контроллера включает 3 основные части:

- 1) считыватель выходных сигналов;
- 2) нейро-нечеткое ядро;
- 3) модификатор входных сигналов.

Нейро-нечеткое ядро обрабатывает полученное значение выходного сигнала для вычисления требуемой модификации в цепи.

Следует отметить, что все вышеперечисленные составляющие можно реализовать в одном микроконтроллере: считывать входные сигналы встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП), и в то же время формировать выходной сигнал на аналоговом контакте, который применяет цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Нейро-нечеткий контроллер можно реализовать также как внешнюю программу. В этом случае цепь обеспечивает стороннее устройство информацией о сигналах и получает данные о корректировках.

Нейро-нечеткий подход может быть использован для решения различных задач при проектировании операционных усилителей. Одна из них – повышение точности. Усилитель выполняет конкретные операции, зависящие от вида обратной связи и значений резисторов. Меняя значения резисторов, можно менять режимы усилителя и коэффициенты усиления [4]. Поскольку резисторы имеют погрешность сопротивления, иногда требуется способ её минимизации.

Некоторые микросхемы могут работать как резисторы с изменяемым сопротивлением, например, ЦАПы, реализованные как делитель напряжения. При использовании выходного сигнала в качестве опорного, сопротивление меняется корректировкой значения ЦАП. В этом случае, если нейро-нечеткое ядро имеет информацию о входном сигнале, выходном сигнале и сигнале с ЦАП, находящегося в обратной связи, возможна корректировка значения ЦАП для минимизации погрешности.

Нейро-нечеткая модель используется для того, чтобы сделать обратную связь обучаемой и интерпретируемой. Обработывая выходные значения и сравнивая их с требуемыми, нечеткая логика позволяет классифицировать различия между сигналами, а нейронная сеть, обработывая эти нечеткие значения, формирует значения рекомендуемой подстройки. Таким образом, нейро-нечеткая обратная связь реализует задачу классификации.

Этот подход схож с нейро-нечеткой калибровкой устройства [5]. Такой же подход используется при выполнении корректировок сигналов для операционного усилителя.

Другой задачей, при решении которой применяется нейро-нечеткая обратная связь, является депассивация

батареи [6]. Она также осуществляется в цепи, использующей нейро-нечеткую обратную связь. Для депассивации можно использовать переменное сопротивление или скважность. Это требуется для сохранения батареи в рабочем состоянии и получении наибольшей мощности.

Выбор типа нейро-нечеткой системы зависит от особенностей решаемых задач. В большинстве случаев системы не должны быть сложными. В ранее описанных примерах адаптивная сеть с нечетким выводом ANFIS [7] – является приемлемым инструментом для решения задач депассивации и калибровки.

IV. НЕЙРО-НЕЧЕТКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Нейро-нечеткая обратная связь для подстройки параметров цепи – основа нейро-нечеткой системы управления. Общая модель системы управления представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структура общей нейро-нечеткой системы управления

Важно отметить, что некоторые части этой системы могут быть убраны или соединены друг с другом. Например, процессор, обеспечивающий обратную связь, также может реализовывать нейро-нечеткое ядро, а преобразователи могут отсутствовать, если не требуются. Для реализации нейро-нечеткого контроллера удобно использовать отдельное устройство [5], например, ПК.

В большинстве случаев нейро-нечеткая система должна решать задачу классификации. Это решение обеспечивает интерпретируемость системы. Архитектура нейро-нечеткого вычислителя для обработки одного параметра представлена на рис. 2.

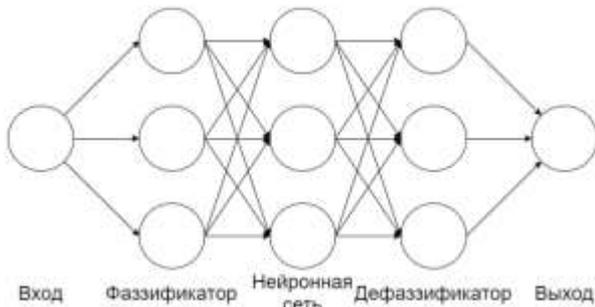


Рис. 2. Структура нейро-нечеткого ядра

Такой подход использует predetermined rules of fuzzification and defuzzification. При необходимости эти правила также могут быть сгенерированы алгоритмами, основанными на ИИ. Кластеризацию, обучение без учителя или обучение с подкреплением

можно использовать, чтобы генерировать нечеткие переменные для слоев фаззификации и дефаззификации, что позволяет учесть знания экспертов, требуемые для разработки системы. Это шаг в сторону самоорганизующихся систем, которые применяются, чтобы модифицировать структуру системы для получения лучших результатов. Модифицированная модель представлена на рис. 3.

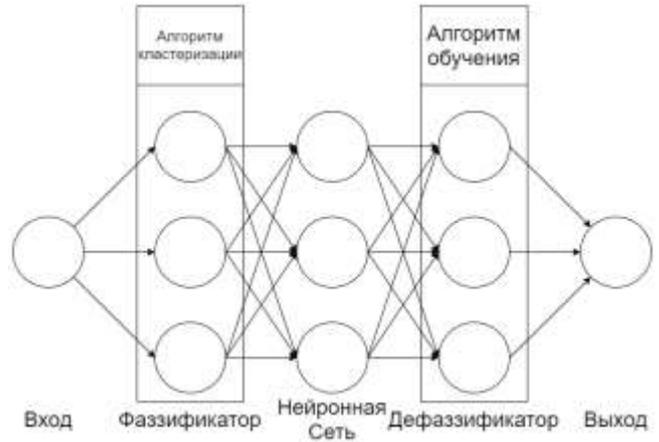


Рис. 3. Модифицированная структура нейро-нечеткого вычислителя

Одна из возникающих задач во встроенных системах – управление напряжением. Регулировать напряжение могут различные схемы. Типовая схема представлена на рис. 4, в которой значение напряжения умножается на заданное число, зависящее от номиналов резисторов, находящихся в отрицательной обратной связи.

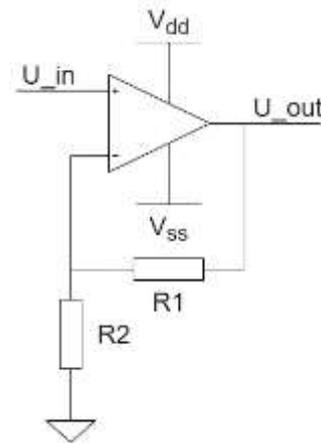


Рис. 4. Схема усилителя

Схема использует два резистора, обеспечивающие регулировку, чтобы поддерживать требуемый уровень напряжения. Уравнение выходного напряжения [4]:

$$U_{out} = U_{in} * (1 + \frac{R_1}{R_2}) \quad (1)$$

Результаты зависят от реальных сопротивлений резисторов, а не от номинальных. Схема должна использоваться, если нужно обеспечить наиболее точные сигналы. Можно использовать прецизионные компоненты, но это приведет к повышению цены устройства.

Чтобы увеличить точность усиления, требуется корректировка значения сопротивления. Для этого могут быть использованы определенные виды ЦАП. Цепи для модификации значений ЦАП должны задействоваться при управлении ими. Модифицированная схема, использующая ЦАП, показана на рис. 5. Любой из резисторов на рис. 4 можно заменить на ЦАП.

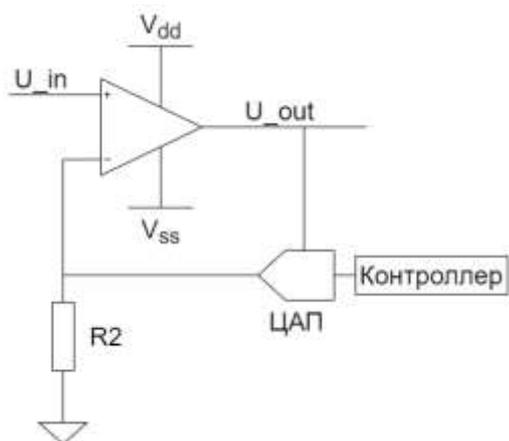


Рис. 5. Модифицированная схема усилителя

Чтобы управлять сигналами, нужно отслеживать входное и выходное напряжения (U_{in} , U_{out}). Это можно сделать, применяя для обработки значений АЦП, используемые в качестве периферии многими микроконтроллерами. Они должны иметь одинаковые опорные напряжения для корректного выполнения сравнения.

Нейро-нечеткий подход применим к любой схеме, использующей операционные усилители и сопротивления: обратный усилитель, сумматор, и т. д. Так как цель нейро-нечеткой системы – подстроить сопротивление резисторов для улучшения коэффициентов усиления, это может использоваться и в других схемах для модификации номиналов компонентов.

Подход, реализующий нейро-нечеткую модель, может существенно увеличить стабильность схемы. Параметры микросхем зависят от окружающей среды. Применение нейро-нечеткой подсистемы может использоваться для адаптации к этим изменениям. Один из примеров – адаптация к необычным температурам. Электронные компоненты имеют характеристики, зависящие от температуры, которая также влияет на резисторы. Представленная система управления позволяет определить разницу в напряжении, которое показывает, что сопротивление изменилось и его нужно скорректировать для новых условий.

Иногда операции зависят от значений входных сигналов. Например, в ряде случаев нужно обучать нейро-нечеткие системы на опорных сигналах высокого качества. Таким образом обеспечиваются лучшие

условия для обучения, так как погрешности минимизируются. Подобный подход можно использовать для контроля тока в цепи.

Для контроля таких параметров как частота система управления должна использовать различные типы преобразователей или способы считывания сигналов, используя нейро-нечеткую модель. В ряде случаев параметры цепей могут генерироваться управляющей микросхемой. В этом случае требуется разработать цепь обратной связи и цепь для обучения. Например, если микроконтроллер применяется для генерации импульсных последовательностей, то таймеры можно использовать как для формирования сигналов, так и для вычисления реальной частоты, используя другой таймер в режиме захвата.

Представленный подход на основе нейро-нечеткой модели может быть использован при разработке различных устройств. Программные подстройки применяются в генераторах для формирования стабильных сигналов высокой точности или в других видах устройств, где нужно генерировать различные сигналы.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нейро-нечеткая модель позволяет выполнять ряд задач, от которых зависит качество формируемых сигналов. Применение нейро-нечеткой обратной связи обеспечивает свойство адаптивности в задачах повышения качества генерируемых сигналов. Она также может быть использована для корректировки значений сопротивления, подстройки параметров в программе или схеме и генерации более стабильных и точных сигналов.

Направление дальнейших исследований связано с построением механизмов самоорганизации нейро-нечеткой модели для повышения ее эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Shreyas Sundaram, "ECE 380: control systems", Department of Electrical and Computer Engineering, University of Waterloo, pp. 77-80.
- [2] B. Carter, Thomas L. Brown, "Handbook of operational amplifier applications", Texas Instruments, 2016.
- [3] A. Dehghani and H. Khodadadi, "Designing a neuro-fuzzy PID controller based on smith predictor for heating system," 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), 2017, pp. 15-20, doi: 10.23919/ICCAS.2017.8204416.
- [4] "The op amp," Analog Devices, 1963, pp. 10-11.
- [5] Sergey M. Morozov, "Neuro-fuzzy approach for the calibration of high-precision embedded systems", 10th Mediterranean Conference on Embedded Computing MECO 2021, pp. 747, June 7–10.
- [6] Sergey M. Morozov, "Neuro-fuzzy approach for batteries depassivation" 2022 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus), January 26, in press.
- [7] J.-S. R. Jang, "ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system," in IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 23, no. 3, pp. 665-685, May-June 1993, doi: 10.1109/21.256541.