

DOI: 10.24412/3034-4042-2025-2-83-88

Дата поступления рукописи в редакцию: 16.03.2025 г.

Дата принятия рукописи в печать: 30.03.2025

ИГНАТЬЕВА Александра Сергеевна,

Соискатель кафедры систем автоматического управления, Южный федеральный университет,
e-mail: alexandra_25@mail.ru

ШАДРИНА Валентина Вячеславовна,

К.т.н, доцент, заведующая кафедрой систем автоматического управления, Южный федеральный университет,
e-mail: vvshadrina@sfnedu.ru

ИГНАТЬЕВ Владимир Владимирович,

К.т.н., ведущий научный сотрудник, Южный федеральный университет,
e-mail: vvignatev@sfnedu.ru

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА И СУБТРАКТИВНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Аннотация. В работе рассматривается модель управления техническим объектом на основе интеллектуального регулятора, спроектированного на основе ПИ-регулятора и нечеткого регулятора. Основная идея такого регулятора заключается в возможности получения желаемого управления техническим объектом в условиях неопределенности. Так как база правил таких регуляторов может на практике содержать тысячи управляющих правил предложен метод её оптимизации на основе субтрактивной кластеризации, который заключается в сокращении количества исходных данных для синтеза базы правил регулятора. За счет кластеризации исходных данных сокращается и количество функций принадлежности входных лингвистических переменных регулятора, следовательно, и заключений. Это позволяет сократить объем базы правил. В работе представлены результаты кластеризации, сгенерированная на основе данной кластеризации FIS-структура регулятора и полученная поверхность нечеткого вывода.

Ключевые слова: модель, технический объект, управление, интеллектуальный регулятор, субтрактивная кластеризация, оптимизация.

IGNATYeva Alexandra Sergeevna,

Applicant of the department of automatic control systems, Southern Federal University

SHADRINA Valentina Vyacheslavovna,

Ph.D., associate professor, head of the department of automatic control systems Southern Federal University

IGNATYEV Vladimir Vladimirovich,

Ph.D., leading researcher, Southern Federal University

MODEL OF CONTROL OF A TECHNICAL OBJECT BASED ON AN INTELLIGENT CONTROLLER AND SUBTRACTIVE CLUSTERING

Annotation. The paper considers a model of technical object control based on an intelligent controller designed on the basis of a PI controller and a fuzzy controller. The main idea of such a controller is the ability to obtain the desired control of a technical object under uncertainty. Since the rule base of such controllers can in practice contain thousands of control rules, a method for its optimization based on subtractive clustering is proposed, which consists in reducing the amount of initial data for synthesizing the controller rule base. Due

to the clustering of the initial data, the number of membership functions of the input linguistic variables of the controller is reduced, and, consequently, conclusions. This allows reducing the size of the rule base. The paper presents the clustering results, the FIS structure of the controller generated on the basis of this clustering, and the resulting fuzzy inference surface.

Key words: *model, technical object, control, intelligent controller, subtractive clustering, optimization.*

Вопросы оптимизации интеллектуальных регуляторов являются одними из ключевых при проектировании современных систем автоматизации, так как от этого зависит эффективность управления объектом или процессом. Одним из развивающихся направлений в этой области является оптимизация базы правил интеллектуальных регуляторов [1].

Например, в работе [2] в системе управления используются перекрывающиеся кластеры с системой нечеткого вывода Такаги-Сугено. Это сделано для обеспечения надежности в контурах интеллектуального управления. В частности, алгоритмы кластеризации используются для настройки функций принадлежности, что позволяет достичь высокую точность и эффективность работы системы управления.

Другим примером является работа [3], в которой метод кластеризации нечетких С-средних (FCM) используется для анализа грозовой активности, изменения которой связаны с изменениями сигнала атмосферного электрического поля. Для обнаружения грозовой активности применяются нечеткие множества и кластеризация.

В работе [4] требуется определить число кластеров (для разных задач) без априорного предположения об их числе. Авторами разработан метод оптимизации на основе нечеткого кластерного анализа, который позволяет это сделать.

Интересные исследования в области кластерного анализа выполнены в работе [5], где проверка качества нечеткой кластеризации выполняется на основе разных индексов достоверности кластеров. Задача прикладного характера решается в работе [6], где для обеспечения мониторинга состояния системы, отвечающей за контроль характеристик эксплуатационного поведения ветроэнергетической системы с целью исключения ее неисправностей, применяется нечеткая кластеризация.

Из анализа видно, что к подобным исследованиям среди научного сообщества проявляется большой интерес. В связи с этим, направление исследований данной статьи является

актуальным, так как в ней рассматривается модель управления техническим объектом с реализованным методом оптимизации базы правил интеллектуального регулятора на основе субтрактивной кластеризации.

Представленные в настоящей статье результаты являются продолжением цикла исследований авторов методов оптимизации моделей управления техническим объектом на основе интеллектуального регулятора и нечеткого кластерного анализа [7]. В частности, исследуемая модель представляет собой объект управления и интеллектуальный регулятор с заранее рассчитанными параметрами. Интеллектуальный регулятор спроектирован на основе совместной работы ПИ-регулятора и нечеткого регулятора. Дополнительно используется нейросеть с последующей генерацией FIS-структуры (выполняется обучение нечеткого регулятора на основе данных ПИ-регулятора по специально разработанному алгоритму обучения). База управляющих правил нечеткого регулятора строится автоматически по данным значений сигналов отклонения, интеграла отклонения и управления, полученных с ПИ-регулятора.

Далее для оптимизации базы правил нечеткого регулятора применяется метод на основе субтрактивной кластеризации, после которого снова выполняется его обучение, но уже на основе кластеризованных данных.

Научная новизна исследования заключается в сокращении за счет кластеризации количества всех значений сигналов отклонения, интеграла отклонения и управления ПИ-регулятора, соответственно, как и значений таких же сигналов при проектировании нечеткого регулятора (на основании этих значений формируются функции принадлежности, их параметры и заключения).

Это позволяет в значительной степени сократить количество функций принадлежности нечеткого регулятора и существенно уменьшить объем нечетких правил без потери качества управления. Синтезированная модель управления техническим объектом на основе представленного метода представлена на рис. 1.

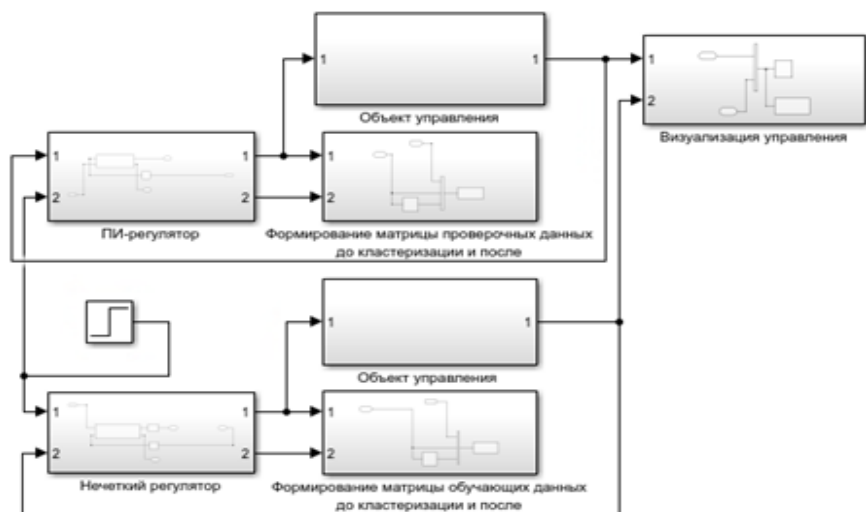
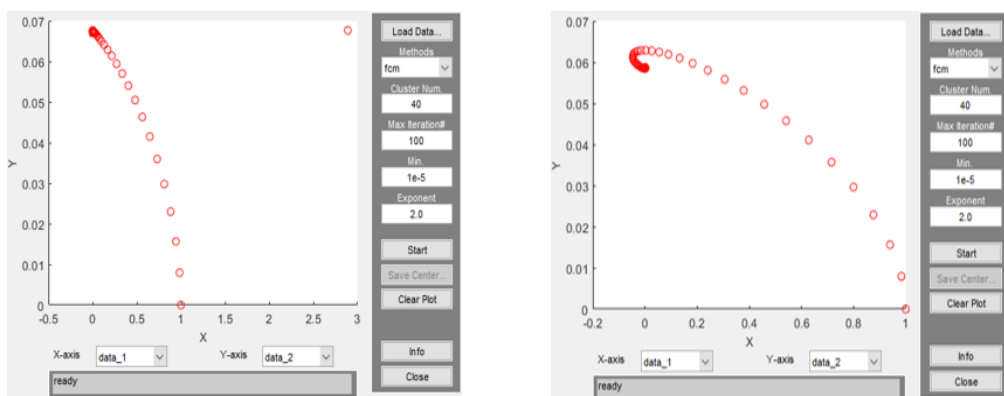
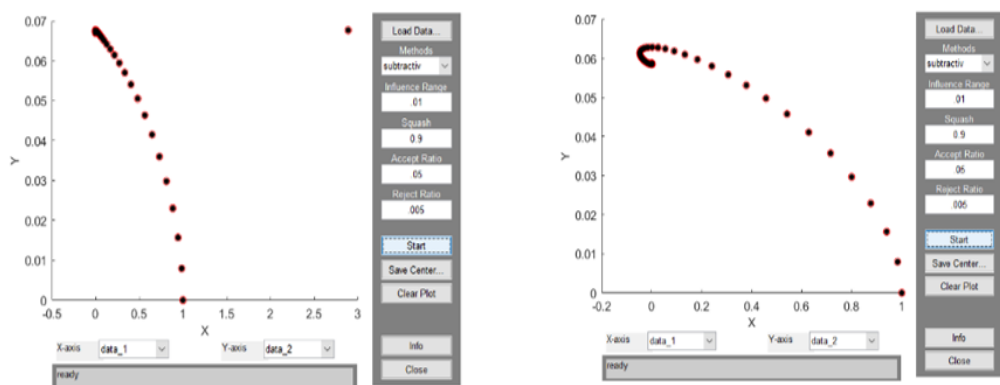


Рисунок 1. Модель управления регуляторов до кластеризации представлены на рис. 2.



а) – значения нечеткого регулятора (обучающие); б) – значения ПИ-регулятора (проверочные)

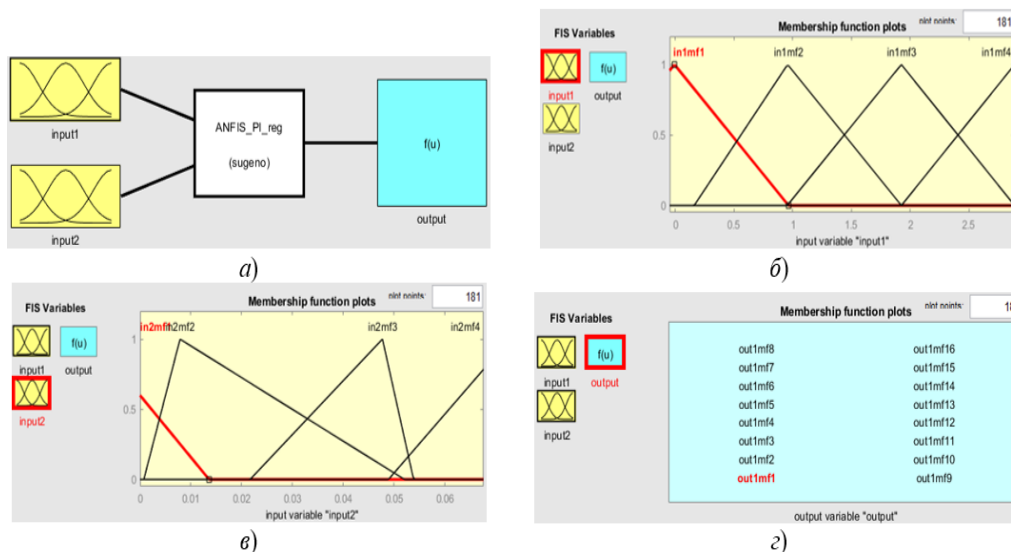
Рисунок 2. Значения сигналов ПИ-регулятора и нечеткого регулятора до кластеризации



а) – значения нечеткого регулятора (обучающие); б) – значения ПИ-регулятора (проверочные)

Рисунок 3. Значения сигналов ПИ-регулятора и нечеткого регулятора после субтрактивной кластеризации

FIS-структура синтезированного нечеткого регулятора после выполнения субтрактивной кластеризации и обучения представлена на рис. 4.



а) – сгенерированная FIS, б) – термы входной переменной отклонения, в) – термы входной переменной интеграла отклонения, г) – искомые значения выходной переменной (заключения)

Рисунок 4. FIS-структура

полученной FIS-структуры представлена на рис. 5.

Поверхность нечеткого вывода для

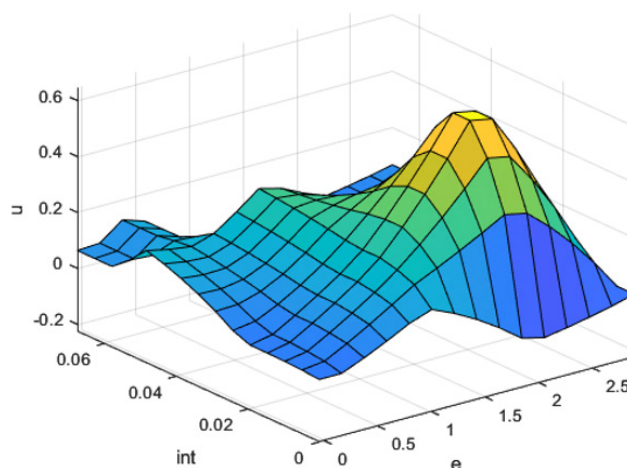


Рисунок 5. Поверхность нечеткого вывода

входной лингвистической переменной (интеграла отклонения) стало равным четырем.

Следует отметить, что до кластеризации количество функций принадлежности каждой входной лингвистической переменной было равно пяти. Количество управляющих правил равно двадцати пяти – данные из работы [8]. После применения рассмотренного метода оптимизации на основе субтрактивной кластеризации, как видно из рис. 4, количество функций принадлежности входной лингвистической переменной (отклонения),

Количество искомых значений выходной переменной (заключений) стало равным шестнадцати. То есть, база управляющих правил уменьшилась, количество правил стало равным шестнадцати.

Это позволяет говорить о положительном эффекте, достигаемом с помощью предложенного

метода, который заключается в сокращении базы правил интеллектуального регулятора. В дальнейших работах авторов будут представлены результаты моделирования, подтверждающие отсутствие потери качества желаемого управления при применении субтрактивной кластеризации для модели, представленной на рис. 1.

Список литературы:

[1] N. Jafarzade, O. Kisi, M. Yousefi, M. Baziar, V. Oskoei, N. Marufi, A. Mohammadi. Viability of two adaptive fuzzy systems based on fuzzy c means and subtractive clustering methods for modeling Cadmium in groundwater resources // *Heliyon*, Volume 9, Issue 8, 2023. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18415>.

[2] Zand J.P., Katebi J., Yaghmaei-Sabegh, S. A hybrid clustering-based type-2 adaptive neuro-fuzzy forecasting model for smart control systems // *Expert Systems with Applications*. Volume 239, 2024, 122445. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122445>.

[3] X. Yang, H. Xing, X. Ji, W. Xu, W. Pedrycz. Fuzzy clustering for electric field characterization and its application to thunderstorm interpretability // *Digital Communications and Networks*, 2024. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2024.03.010>.

[4] J. Zhou, J. Chen, H. Li. An optimized fuzzy K-means clustering method for automated rock discontinuities extraction from point clouds // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Volume 173, 2024, 105627. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2023.105627>.

[5] F. Eustaquio, T. Nogueira. Evaluating the numerical instability in fuzzy clustering validation of high-dimensional data // *Theoretical Computer Science* Volume 805, 2020, Pages 19-36. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2019.10.039>.

[6] M. Yang, C. Shi, H. Liu. Day-ahead wind power forecasting based on the clustering of equivalent power curves // *Energy*. Volume 218, 2021, 119515. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119515>.

[7] Игнатъева А.С. Нечеткая кластеризация как способ повышения эффективности управления в автоматических системах // *Программные продукты и системы*. 2024. Т. 37. № 4. С. 566-575. doi:10.15827/0236-235X.148.566-575.

[8] В.В. Игнатъев, О.Б. Спиридонов, В.В. Соловьев, Д.А. Белоглазов, А.С. Игнатъева. Моделирование гибридного управления техническим объектом с применением системы нечеткого вывода типа Сугено // *Труды конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'18»*. Научное издание в 3-х томах. – Таганрог: Изд-во Ступина С.А., 2018. – Т. 2. – 418с. ISBN 978-5-6041321-4-2, ISBN 978-5-6041321-6-6 (Т. 2). С. 29-35.

Spisok literatury:

[1] N. Jafarzade, O. Kisi, M. Yousefi, M. Baziar, V. Oskoei, N. Marufi, A. Mohammadi. Viability of two adaptive fuzzy systems based on fuzzy c means and subtractive clustering methods for modeling Cadmium in groundwater resources // *Heliyon*, Volume 9, Issue 8, 2023. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18415>.

[2] Zand J.P., Katebi J., Yaghmaei-Sabegh, S. A hybrid clustering-based type-2 adaptive neuro-fuzzy forecasting model for smart control systems // *Expert Systems with Applications*. Volume 239, 2024, 122445. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.122445>.

[3] X. Yang, H. Xing, X. Ji, W. Xu, W. Pedrycz. Fuzzy clustering for electric field characterization and its application to thunderstorm interpretability // *Digital Communications and Networks*, 2024. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2024.03.010>.

[4] J. Zhou, J. Chen, H. Li. An optimized fuzzy K-means clustering method for automated rock discontinuities extraction from point clouds // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. Volume 173, 2024, 105627. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2023.105627>.

[5] F. Eustaquio, T. Nogueira. Evaluating the numerical instability in fuzzy clustering validation of

high-dimensional data // *Theoretical Computer Science Volume 805*, 2020, Pages 19-36. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.tcs.2019.10.039>.

[6] M. Yang, C. Shi, H. Liu. Day-ahead wind power forecasting based on the clustering of equivalent power curves // *Energy. Volume 218*, 2021, 119515. [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119515>.

[7] Ignat'eva A.S. Nechetkaia klasterizatsiia kak sposob povysheniia effektivnosti upravleniia v avtomaticheskikh sistemakh // *Programmnye produkty i sistemy*. 2024. T. 37. № 4. S. 566-575. doi:10.15827/0236-235X.148.566-575.

[8] V.V. Ignat'ev, O.B. Spiridonov, V.V. Solov'ev, D.A. Beloglazov, A.S. Ignat'eva. Modelirovanie gibridnogo upravleniia tekhnicheskimi ob'ektami s primeneniem sistemy nechetkogo vyvoda tipa Sugeno // *Trudy kongressa po intellektual'nym sistemam i informatsionnym tekhnologiyam «IS&IT'18»*. Nauchnoe izdanie v 3-kh tomakh. – Taganrog: Izd-vo Stupina S.A., 2018. – T. 2. – 418s. ISBN 978-5-6041321-4-2, ISBN 978-5-6041321-6-6 (T. 2). S. 29-35.





ЮРКОМПАНИ

www.law-books.ru

Юридическое издательство
«ЮРКОМПАНИ»

Издание учебников,
учебных и методических
пособий, монографий,
научных статей.

Профессионально.

В максимально
короткие сроки.

Размещаем
в РИНЦ, Е-Library.