

Автоматический синтез интеллектуальных регуляторов на основе алгоритма самоорганизации робастных баз знаний

В.В. Игнатьев ¹✉¹ Южный федеральный университет, г. Таганрог, 347900, Россия

Ссылка для цитирования

Игнатьев В.В. Автоматический синтез интеллектуальных регуляторов на основе алгоритма самоорганизации робастных баз знаний // Программные продукты и системы. 2025. Т. 38. № 4. С. 644–651. doi: 10.15827/0236-235X.152.644-651

Информация о статье

Группа специальностей ВАК: 2.3.1

Поступила в редакцию: 17.04.2025

После доработки: 13.05.2025

Принята к публикации: 30.05.2025

Аннотация. В данной статье приводится описание разработанной программы, автоматизирующей синтез интеллектуальных регуляторов на основе алгоритма самоорганизации робастных баз знаний. Описан принцип реализации рассматриваемых интеллектуальных регуляторов, которые предназначены для достижения эффективного управления техническими объектами. Целевыми объектами управления являются такие, которые могут быть описаны линейными или нелинейными математическими моделями первого, второго, третьего порядка, в том числе с запаздыванием, и функционирующие в условиях неопределенности. В качестве неопределенностей рассматриваются несколько ее типов – изменение параметров объектов управления, внешние возмущения и лингвистическая неопределенность. Все перечисленные типы учитываются в программе. Она разработана на основе нового математического аппарата, выраженного в соответствующих методах и алгоритмах, реализованных в интеллектуальном регуляторе, обеспечивающем желаемое качество управляющих воздействий на объект, который функционирует в условиях неопределенности. Основу программы составляют научные решения по гибриднему проектированию базы правил интеллектуального регулятора, в котором классический регулятор является источником знаний для нечеткого регулятора. На основе полученных знаний происходит синтез нечеткого регулятора с его обучением с помощью нейросети и генетического алгоритма. Сгенерированная новая система нечеткого вывода позволяет получать желаемое управление рассматриваемыми классами объектов. Продемонстрированы результаты работы созданной программы для неустойчивого нелинейного технического объекта третьего порядка. Полученные результаты моделирования позволяют говорить о возможности применения программы для проектирования базы правил интеллектуального регулятора, которая синтезируется автоматически с учетом его структуры. Исходный код программы написан на языке программирования MATLAB и полностью совместим со всеми инструментами данной среды для проектирования систем нечеткой логики, используемых автором в интеллектуальных регуляторах.

Ключевые слова: интеллектуальные регуляторы, автоматический режим, синтез, алгоритм, базы знаний, самоорганизация, управление

Введение. Передовые научные исследования в области развития технологий ИИ для промышленности в целом и для производственных процессов в частности направлены в первую очередь на разработку принципиально новых методов, моделей, алгоритмов, математического аппарата для улучшения качественных и количественных критериев управления. Этот темп настолько высок, что теоретическая база подобных исследований очень часто так и остается на уровне отдельного моделирования (что, несомненно, важно), не переходя в прикладную область, пусть и в предварительном виде, например, как отдельные программные приложения или продукты, позволяющие тестировать результаты этих научных изысканий.

В этом смысле данная научная работа актуальна, так как рассматриваемая программа позволяет удобно протестировать работу и классического, и нечеткого регуляторов в составе интеллектуального, который она позволяет син-

тезировать в автоматическом режиме с помощью алгоритма самоорганизации робастных баз знаний из работы [1].

Научная новизна исследования заключается в заложенном в основу работы программы математическом аппарате, выраженном в соответствующих авторских методах и алгоритмах. В борьбе за эффективность управляющих воздействий для объекта они позволяют для заданных классов технических объектов преодолевать такие барьеры, как изменение параметров объектов управления, внешние возмущения и лингвистическая неопределенность [2].

Обзор современных подходов по теме исследования

В отличие от большого разнообразия научных исследований, посвященных разработке методов на основе интеллектуальных технологий для повышения эффективности управления

в автоматических системах, программ для реализации этих методов немного.

Так, в [3] описана программа на основе MATLAB для проектирования и моделирования адаптивного регулятора на основе интерпретируемой нечеткой модели. В частности, представлен регулятор для линейных ММО-систем с частично известной динамикой. Инструментарий программы позволяет реализовать пошаговую процедуру синтеза нечеткого регулятора, гарантирующего устойчивость замкнутого контура управления благодаря применению строгого критерия абсолютной устойчивости в частотной области, применимого к изменяющимся во времени нелинейностям, свойственным адаптивным системам.

В работе [4] авторами представлена процедура проектирования адаптивного нечеткого ПИД-регулятора на основе критерия абсолютной устойчивости. Объектом применения разработанного метода является линейный стационарный динамический объект с одним входом и одним выходом, с частично известной передаточной функцией. Регулятор работает в режиме прямой адаптации с обратной связью по выходу и нелинейной эталонной моделью, что обеспечивает лучшие параметры отклика замкнутого контура, чем система с линейным ПИД-регулятором. В процессе адаптации гарантируется устойчивость замкнутого контура. Представленная процедура проектирования обобщает и существенно расширяет результаты, представленные в литературе, и позволяет автоматизировать процесс поиска нелинейного адаптивного нечеткого регулятора.

В статье [5] рассмотрен надежный нечеткий регулятор с реализацией на ПЛИС для привода асинхронного двигателя на основе матричного преобразователя, обеспечивающего меньшие пульсации крутящего момента и устранение пиковых выбросов с хорошими переходными и установившимися характеристиками. В основу регулятора заложена стратегия прямого управления крутящим моментом с пространственно-векторной модуляцией для регулирования потока статора и электромагнитного момента. Регулятор на основе матричного преобразователя разработан в среде MATLAB/Simulink и испытан при различных входных/выходных условиях. Для проверки результатов моделирования был создан лабораторный прототип на базе платы Altium Nano Board 3000, оснащенной Xilinx Spartan с использованием ПЛИС. На практике показано, что предложенная схема управления обеспечивает стабильную и надежную

систему привода со значительным снижением гармоник на входе и повышает производительность привода асинхронного двигателя.

В прикладную область также перевели свои научные изыскания авторы работы [6], в которой для интеллектуального управления движением транспортного средства представлен процесс настройки ПИД-регулятора в реальном времени на основе нейронной сети обратного распространения. Технологии ИИ используются для решения задач достижения целевых скоростей и повышения эффективности управления транспортным средством. Из-за ограничений традиционных ПИД-регуляторов при управлении нелинейной и изменяющейся во времени динамикой (например, изменение дорожных условий и поведения транспортного средства, что часто приводит к значительным расхождениям между желаемой и фактической скоростью, а также к снижению эффективности из-за ручной настройки параметров) применен новый алгоритм ПИД-регулирования, который интегрирует нейронные сети обратного распространения для повышения надежности и адаптивности. Нейронная сеть сначала обучается для захвата нелинейных динамических характеристик автомобиля, после чего, уже обученная, объединяется с ПИД-регулятором для формирования гибридной стратегии управления. Выходной слой нейронной сети напрямую корректирует параметры ПИД-регулирования, оптимизируя производительность для конкретных сценариев вождения посредством самообучения и корректировки веса. Проведены экспериментальные исследования и реальные испытания, которые показали, что предложенные решения значительно превосходят традиционные методы, в частности, улучшилось время отклика при ускорении, доказана способность автомобиля своевременно корректировать реакцию на сложные дорожные условия, обеспечивая постоянное поддержание скорости и повышая общую производительность системы.

В исследовании [7] для повышения производительности систем управления на основе нечеткой логики для задач отслеживания траектории авторы использовали среду разработки LabVIEW, известную тем, что в ней возможно реализовать работу виртуальных приборов, функционально и внешне подобных реальным. В работе реализована система на основе нечеткой логики для реализации вычислительно эффективной системы управления на базе ПЛИС в среде LabVIEW. Экспериментальные иссле-

дования включают отслеживание траектории мобильного робота и показывают эффективность предлагаемого нечеткого регулятора по сравнению с традиционным, а также дополнительные преимущества нечетких фреймворков управления.

В [8] авторами разработан и запрограммирован на языке MATLAB самонастраивающийся адаптивный регулятор на основе ANFIS с использованием генетического алгоритма, применяемого для задачи отслеживания траектории БПЛА, обладающего высокой нелинейностью. ANFIS используется для воспроизведения желаемой траектории БПЛА в двумерной вертикальной плоскости, а генетический алгоритм предназначен для упрощения сходимости к оптимальным параметрам ANFIS (с целью уменьшения ошибок обучения и повышения качества работы БПЛА). Полученные результаты моделирования (в сравнении с традиционным ПИД-регулятором) показали преимущества разработанного регулятора и подтвердили его высокую производительность.

До практического применения (внедрения) доведены исследования в работе [9]. Авторами разработана система интеллектуального управления для повышения эффективности бесщеточного двигателя постоянного тока путем коррекции угла поворота. Представлен метод преобразования энергии с использованием разработанного датчика положения вала двигателя, позволяющего корректировать угол поворота транзисторов электронного коммутатора. Для реализации управления используются экспертные знания, а созданная на их основе нечеткая система отвечает за определение коррекции угла поворота рулевого колеса. Результаты практических исследований подтвердили эффективность предложенного метода на основе нечеткого управления.

Подход, основанный на сочетании адаптивной системы нейро-нечеткого вывода и генетического алгоритма для отслеживания глобальной точки максимальной мощности в фотоэлектрических системах при различных условиях затенения, предложен в работе [10]. При частичном затенении фотоэлектрических панелей их эффективность значительно снижается из-за возникновения нескольких пиков или всплесков мощности, а существующие алгоритмы не распознают локальные и глобальные пики, из-за чего извлечение энергии становится неоптимальным. Для решения данной проблемы авторы используют систему ANFIS в сочетании с генетическим алгоритмом для улучшения ха-

рактеристик глобальной точки максимальной мощности в различных условиях затенения. ANFIS позволяет моделировать нелинейности и неопределенности фотоэлектрических систем. Генетический алгоритм в динамическом режиме определяет оптимальные параметры ПИД-регулятора, минимизируя погрешность между фактической и максимальной выходной мощностью, рассчитанной в ANFIS. То есть регулятор способен реагировать на нелинейный и изменяющийся во времени характер DC/DC SEPIC-преобразователя, улучшая время отклика и стабильность в различных рабочих условиях. Предложенный метод был запрограммирован в MATLAB/Simulink. Результаты моделирования подтвердили его эффективность при повышении производительности фотоэлектрических систем в сложной и динамически изменяющейся среде.

Вопросы оптимизации проектирования нечетких регуляторов в строительных конструкциях с использованием алгоритма кристаллической структуры (CryStAl) решаются в [11]. В исследовании используется разработанный метаэвристический метод, позволяющий достичь оптимизированного контроля вибраций в строительной инженерии. В системе активного управления применяются нечеткие регуляторы для обеспечения интеллектуального управления сейсмическими колебаниями конструкций.

Адаптивное управление на основе нейро-нечеткого регулятора с целью улучшения частотной характеристики двухзонной энергосистемы рассмотрено в работе [12]. Изолированные микросети, использующие возобновляемые источники энергии на основе преобразователей, сталкиваются с серьезной проблемой обеспечения стабильности частоты из-за их низкой инерционности. Следовательно, такие сети должны иметь эффективное управление для обеспечения необходимого баланса между выработкой электроэнергии и потреблением нагрузки, а также для поддержания частоты и напряжения системы в допустимых пределах при различных возмущениях. В работе представлен оптимизированный подход к управлению двухзонными энергосистемами. В основе разработки – нелинейный адаптивный регулятор с эталонной моделью ANFIS, способный адаптироваться к различным рабочим параметрам для контура регулирования частоты. Его эффективность оценивается путем анализа динамического отклика двухзонной энергосистемы при несущественных сбоях (небольшие скачкообразные изменения погоды и нагрузки) и зна-

чительных возмущениях (возникновение симметричных коротких замыканий и сброс больших объемов нагрузки). Результаты, полученные в различных рабочих сценариях, показывают, что предлагаемый регулятор демонстрирует лучшие динамические характеристики при регулировании частоты системы, по сравнению с традиционными.

В работе [13] авторами разработан метод управления интеллектуальной системой на основе визуального датчика. Для решения проблемы неопределенности моделей систем управления использовались визуальные датчики и технология интеллектуального управления, а также алгоритмы машинного обучения на основе данных для извлечения изображений из исходного видео. Данный метод управления интеллектуальной системой на основе визуального датчика позволяет обнаружить, отследить и измерить скорость движущихся объектов с помощью сверточной нейросети и устройства получения изображений. Экспериментальные результаты подтверждают, что предложенный авторами алгоритм улучшил общую производительность системы за счет обучения и кластеризации признаков видео.

Управление скоростью электромобиля (с приводом от двигателя постоянного тока) с помощью ПИД-регулятора дробного порядка (определяются методом муравьиной оптимизации) на основе ANFIS представлено в работе [14]. Предложенный регулятор демонстрирует устойчивость к внешним возмущениям и обеспечивает требуемое управление скоростью электромобиля. Системное моделирование, проектирование регуляторов и численное моделирование выполнены в MATLAB/Simulink.

Приведенный обзор показывает разнообразие различных методов построения интеллектуальных регуляторов и систем управления с применением технологий ИИ. Данные исследования выбраны, так как содержат результаты именно практической реализации и прикладного применения разработанных научных решений. На основании этого можно заключить, что разработка представленной в настоящей статье программы, имеющей практический вектор применения, является не менее важным результатом в области проектирования интеллектуальных систем автоматизации.

Описание разработанной программы

Программа предназначена для автоматизации генерации базы правил интеллектуальных

регуляторов, модель которых в общем виде представлена на рисунке 1.

Данная модель представляет собой совокупность двух контуров управления, работающих в определенной последовательности (контур с классическим регулятором – объект управления → контур с нечетким регулятором – объект управления), и является базовой в исследованиях автора по разработке интеллектуальных гибридных регуляторов. С учетом того, что рассматриваемая в статье программа для автоматического синтеза интеллектуальных регуляторов разработана для подобных регуляторов, данная статья является продолжением и развитием исследований автора.

Рассмотрим поэтапно работу предложенной программы и ее основной функционал.

Шаг 1. Считывание данных с классического регулятора (с учетом уже рассчитанных параметров объекта управления, интеграции систем уравнений и проч.).

Шаг 2. Формирование матриц значений сигналов отклонения, интеграла (производной) отклонения, управляющего воздействия.

Шаг 3. Построение графиков изменения каждого из сигналов (для визуализации процесса записи матриц).

Шаг 4. Синтез системы нечеткого вывода FIS. Продукционные правила формируются автоматически на основе матриц значений сигналов отклонения, интеграла (производной) отклонения, управляющего воздействия классического регулятора.

Шаг 5. Создание ANFIS для обучения нечеткого регулятора с оптимизацией путем использования функции *ga* пакета MatLab (2021a) с параметрами генетического алгоритма, заданными по умолчанию (выполняется отдельно).

Шаг 6. Синтез новой системы нечеткого вывода (программа ссылается на новую FIS автоматически).

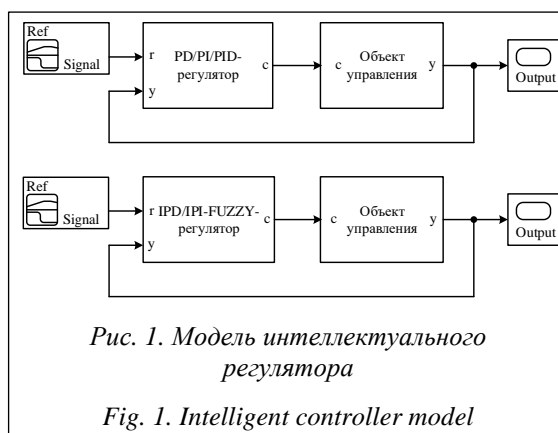


Рис. 1. Модель интеллектуального регулятора

Fig. 1. Intelligent controller model

Шаг 7. Построение графиков переходных процессов.

Для демонстрации работы программы выбран неустойчивый нелинейный технический объект третьего порядка [15], математическая модель которого выделена в тексте программного кода красной линией.

```
end
subplot(2,1,1);
plot(t, psi*180/pi, 'LineWidth',1.5)
hold on
grid on;
legend('PD-controller', 'Neyro-controller')
subplot(2,1,2);
plot(t, u*180/pi, 'LineWidth',1.5)
grid on;
legend('PD-controller', 'Neyro-controller')
```

```
function dx = ship_model( v, x, x1_ref )
%v - скорость судна
%Математическая модель судна
K=0.05;a1=3.4;a=1.06;b=1.24;%Базовые
параметры модели
dx(1)=x(2);
dx(2)=x(3);
dx(3)=-a1/v*x(3)-
K*v*(a*x(2)^3+b*x(2))+K*v*x1_ref;
end
```

Пример со сформированными матрицами для перевода в правила представлен на рисунке 2. В частности, для данного эксперимента использовался интеллектуальный регулятор, состоящий из классического ПД-регулятора и нечеткого. Полные матрицы ввиду большой их размерности не показаны, но представлены фрагмент программы с их параметрами и часть матрицы значений сигнала производной отклонения. Матрицы со значениями сигналов отклонения и управляющего воздействия будут аналогичны представленной на рисунке 3.

Представим фрагмент программы с синтезированным нечетким регулятором.

Параметры продукционных правил:

```
MF23='out1mf23':'constant', [-
0.023254587107803]
MF24='out1mf24':'constant', [0.103019892
860437]
MF25='out1mf25':'constant', [-
2.444663966206824]

[Rules]
1 1, 1 (1) : 1
1 2, 2 (1) : 1
1 3, 3 (1) : 1
1 4, 4 (1) : 1
1 5, 5 (1) : 1
```

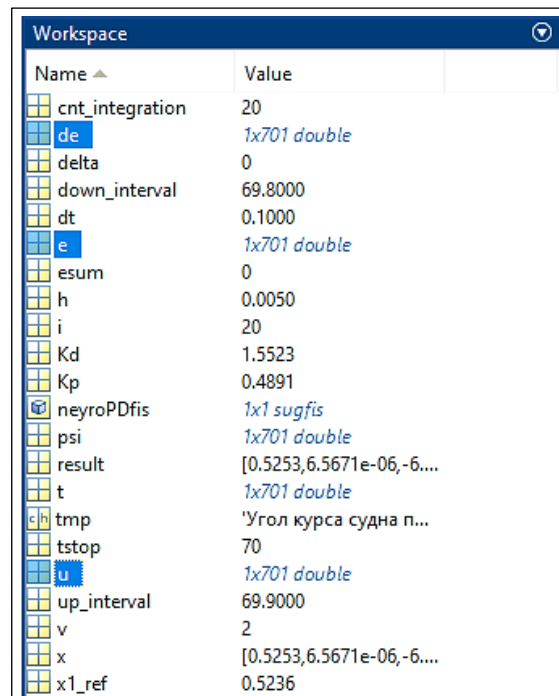


Рис. 2. Фрагмент программы с параметрами матриц значений классического регулятора

Fig. 2. Program fragment with classical controller value matrix parameters

Параметры заключений:

```
[Output1]
Name='output'
Range=[-0.0644059013804702
0.254218788271808]
NumMFs=25
MF1='out1mf1':'constant', [0]
MF2='out1mf2':'constant', [0.00252045805
144962]
MF3='out1mf3':'constant', [0.05368061207
2266]
MF4='out1mf4':'constant', [-
0.0118730350537869]
MF5='out1mf5':'constant', [-
0.0705194419999085]
```

В результате для объекта управления, представленного математической моделью на рисунке 2, получены графики переходных процессов для разных итераций обучения нечеткого регулятора (<http://www.swsys.ru/uploaded/image/2025-4/15.jpg>).

Программа позволяет включать в модель интеллектуального регулятора любую FIS-структуру, генерируемую автоматически или вручную, менять параметры объекта управления, регуляторов. В частности, параметры FIS для представленных результатов моделирования следующие:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	-5.5988e-06	-4.6561e-05	-1.5488e-04	-3.5338e-04	-6.4221e-04	-0.0010	-0.0015	-0.0020	-0.0026	-0.0031

Рис. 3. Фрагмент программы с матрицей значений сигнала производной отклонения

Fig. 3. Program fragment with deviation derivative signal value matrix

Property	Value
Name	"fuzzyPDshipControlneiro"
AndMethod	"prod"
OrMethod	"probor"
ImplicationMethod	"prod"
AggregationMethod	"sum"
DefuzzificationMethod	"wtaver"
Inputs	"1×2fisvar"
Outputs	"1×1fisvar"
Rules	"1×25fisrule"
DisableStructuralChecks	0

Обсуждение результатов

Рассмотренная в статье программа для автоматического синтеза интеллектуальных регуляторов на основе алгоритма самоорганизации робастных баз знаний и продемонстрированные фрагменты ее работы показывают, что разработанные ранее модели, методы, алгоритмы для синтеза интеллектуального регулятора с целью получения желаемого управляющего воздействия на объект в условиях неопределенности, успешно интегрированы в единую систему. Это в значительной степени упрощает процесс моделирования и сокращает время на разработку подобных систем. В программе могут использоваться модели с различными типами неопределенности (изменение параметров объектов управления, внешние возмущения и лингвистическая неопределенность). В рассмотренной программе реализован математический аппарат на основе алгоритма самоорганизации робастных баз знаний для устранения данных типов неопределенностей.

При разработке разных подходов или методов в области проектирования систем автоматизации важно учитывать прикладной аспект их применения. В этой связи рассмотренная в настоящей статье программа является развитием научных положений автора и позволяет экспериментировать с управлением в условиях неопределенности для заданных классов технических объектов, значительно сокращая время на проектирование интеллектуального регулятора с автоматическим формированием его базы правил.

В разработанной программе реализована основная процедура синтеза базы правил, в которой исключается противоречивость и избыточность данных. Эти проблемы являются одними из наиболее важных, которые непосредственно и отрицательно влияют на качество управляющих воздействий на объект. Автоматизация процедуры синтеза интеллектуальных регуляторов должна стать отдельным направлением исследований при проектировании передовых систем управления с применением интеллектуальных технологий, особенно когда речь идет о возможности интеллектуального управления производственным объектом в режиме реального времени. Следует отметить, что представленная разработка не является законченным программным приложением и должна быть усовершенствована. В частности, предполагается полностью автоматизировать процедуру оптимизации нечеткого регулятора с помощью нейросети и генетических алгоритмов.

Заключение

Основным результатом проведенных исследований является программа, в которой на основе алгоритма самоорганизации робастных баз знаний реализована автоматическая процедура синтеза интеллектуальных регуляторов для управления техническими объектами в условиях неопределенности. Ее особенность состоит в возможности одновременно сочетать сразу четыре области научных исследований – классическую теорию управления, нечеткую логику, нейросети и генетические алгоритмы. Отдельно стоит отметить автоматическую процедуру синтеза регулятора, что является ключевым преимуществом программы. Очевидно, что представленную программу необходимо совершенствовать на основе проведения новых экспериментов и применительно к реальным техническим объектам, функционирующим на разных производствах и с учетом возникающих неопределенностей.

Список литературы

1. Игнатъев В.В. Алгоритм самоорганизации робастных баз знаний без привлечения эксперта в системах управления с интеллектуальными регуляторами // Тр. Междунар. науч.-технич. конгресса «ИС&ИТ-2020». 2020. С. 362–377.
2. Игнатъев В.В. Компенсация разных типов неопределенностей при управлении техническим объектом с помощью интеллектуальных регуляторов // Программные продукты и системы. 2023. Т. 36. № 3. С. 423–431. doi: 10.15827/0236-235X.143.423-431.
3. Wiktorowicz K., Kluska J. Interpretable fuzzy model reference adaptive controller for linear MIMO systems: MATLAB implementation and simulation toolkit. *Software X*, 2025, vol. 31, art. 102310. doi: 10.1016/j.softx.2025.102310.
4. Kluska J., Zabinski T. PID-like adaptive fuzzy controller design based on absolute stability criterion. *IEEE Transactions on Fuzzy Sys.*, 2020, vol. 28, no. 3, pp. 523–533. doi: 10.1109/TFUZZ.2019.2908772.
5. Meghwal R., Yadav V.K., Vardia M. Robust fuzzy controller design with FPGA implementation for matrix converter, based induction motor drive. *e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 2024, vol. 10, art. 100752. doi: 10.1016/j.prime.2024.100752.
6. Zhou L., Hu Q., Peng X., Liu Q. Real-time proportional-integral-derivative (PID) tuning based on back propagation (BP) neural network for intelligent vehicle motion control. *Comput., Materials and Continua*, 2025, vol. 83, no. 2, pp. 2375–2401. doi: 10.32604/cmc.2025.061894.
7. Nada A.A., Parque V., Bayoumi M.A. Accelerating the performance of Fuzzy-FPGA based control in LabVIEW for trajectory tracking problems. *IFAC-PapersOnLine*, 2023, vol. 56, no. 2, pp. 3386–3391. doi: 10.1016/j.ifacol.2023.10.1486.
8. Selma B., Chouraqui S., Selma B. A genetic algorithm-based neuro-fuzzy controller for unmanned aerial vehicle control. *IJAMC*, 2022, vol. 13, no. 1, pp. 1–23. doi: 10.4018/IJAMC.292505.
9. Sikora A., Zielonka A., Wozniak M. et al. Fuzzy control system to improve the efficiency of the brushless direct current motor by correcting the control angle. *IJEPES*, 2025, vol. 169, art. 11076. doi: 10.1016/j.ijepes.2025.110762.
10. Guler N., Hazem Z.B., Gunes A., Saidi F. Adaptive neuro-fuzzy inference system-genetic algorithm approach for global maximum power point tracking in PV systems under different shading conditions. *Greentech*, 2025, vol. 3, no. 4, art. 100239. doi: 10.1016/j.grets.2025.100239.
11. Azizi M., Talatahari S., Sareh P. Design optimization of fuzzy controllers in building structures using the crystal structure algorithm (CryStAl). *Advanced Engineering Inform.*, 2022, vol. 52, art. 101616. doi: 10.1016/j.aei.2022.101616.
12. Elborlisy M.S., Hamad S.A., El-Sousy F.F.M. et al. Neuro-fuzzy controller based adaptive control for enhancing the frequency response of two-area power system. *Heliyon*, 2025, vol. 11, no. 10, art. e42547. doi: 10.1016/j.heliyon.2025.e42547.
13. Diao H., Yin L., Liang B., Chen Y. An intelligent system control method based on visual sensor. *Measurement: Sensors*, 2023, vol. 29, art. 100857. doi: 10.1016/j.measen.2023.100857.
14. George M.A., Kamat D.V., Kurian C.P. Electric vehicle speed tracking control using an ANFIS-based fractional order PID controller. *JKSU-ES*, 2024, vol. 36, no. 4, pp. 256–264. doi: 10.1016/j.jksues.2022.01.001.
15. Игнатъев В.В., Соловьев В.В., Шадрин В.В. Управление неустойчивым нелинейным техническим объектом на основе интеллектуального регулятора // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 11-12. С. 100–106.

Software & Systems

doi: 10.15827/0236-235X.152.644-651

2025, 38(4), pp. 644–651

Automatic synthesis of intelligent controllers based on a self-organizing robust knowledge base algorithmVladimir V. Ignatyev ¹✉¹ Southern Federal University, Taganrog, 347900, Russian Federation**For citation**Ignatyev, V.V. (2025) 'Automatic synthesis of intelligent controllers based on a self-organizing robust knowledge base algorithm', *Software & Systems*, 38(4), pp. 644–651 (in Russ.). doi: 10.15827/0236-235X.152.644-651**Article info**

Received: 17.04.2025

After revision: 13.05.2025

Accepted: 30.05.2025

Abstract. This paper presents a newly developed program for the automatic synthesis of intelligent controllers based on a self-organization algorithm for robust knowledge bases. It also describes the implementation principles of the intelligent controllers under consideration, which are designed to achieve effective control of technical objects. The target control

objects are systems describable by linear or nonlinear mathematical models of the first, second, or third order, including those with time delays, operating under uncertainty conditions. The research considers several uncertainty types: variations in control object parameters, external disturbances, and linguistic uncertainty. The program accounts for all these types. The system is developed using a novel mathematical framework, expressed through corresponding methods and algorithms implemented in the intelligent controller. The system delivers desired quality of control actions for objects operating under conditions of uncertainty. The program's foundation consists of scientific solutions for hybrid design of the intelligent controller's rule base, where the classical controller serves as the knowledge source for the fuzzy one. Using the acquired knowledge, the system synthesizes a fuzzy controller and trains it through neural networks and genetic algorithms. The resulting fuzzy inference system enables effective control of the considered classes of objects. The author demonstrates the performance of the developed program on an unstable nonlinear technical object of third order. The simulation results indicate the program's potential for designing intelligent controller rule bases that are synthesized automatically according to their structure. The source code, developed in the MATLAB programming language, is fully compatible with the author's preferred fuzzy logic design tools for intelligent control systems within this platform.

Keywords: intelligent controllers, automatic mode, synthesis, algorithm, knowledge bases, self-organization, control

References

1. Ignatev, V.V. (2020) 'Self-organizing algorithm for robust knowledge bases without expert involvement in control systems with intelligent controllers', *Proc. Int. Sci. and Tech. Congress "IS&IT-2020"*, pp. 362–377 (in Russ.).
2. Ignatev, V.V. (2023) 'Compensation of various types of uncertainties when controlling a technical object using intelligent controllers', *Software & Systems*, 36(3), pp. 423–431 (in Russ.). doi: 10.15827/0236-235X.143.423-431.
3. Wiktorowicz, K., Kluska, J. (2025) 'Interpretable fuzzy model reference adaptive controller for linear MIMO systems: MATLAB implementation and simulation toolkit', *Software X*, 31, art. 102310. doi: 10.1016/j.softx.2025.102310.
4. Kluska, J., Zabinski, T. (2020) 'PID-like adaptive fuzzy controller design based on absolute stability criterion', *IEEE Transactions on Fuzzy Syst.*, 28(3), pp. 523–533. doi: 10.1109/TFUZZ.2019.2908772.
5. Meghwal, R., Yadav, V.K., Vardia, M. (2024) 'Robust fuzzy controller design with FPGA implementation for matrix converter, based induction motor drive', *e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 10, art. 100752. doi: 10.1016/j.prime.2024.100752.
6. Zhou, L., Hu, Q., Peng, X., Liu, Q. (2025) 'Real-time proportional-integral-derivative (PID) tuning based on back propagation (BP) neural network for intelligent vehicle motion control', *Comput., Materials and Continua*, 83(2), pp. 2375–2401. doi: 10.32604/cmc.2025.061894.
7. Nada, A.A., Parque, V., Bayoumi, M.A. (2023) 'Accelerating the performance of Fuzzy-FPGA based control in LabVIEW for trajectory tracking problems', *IFAC-PapersOnLine*, 56(2), pp. 3386–3391. doi: 10.1016/j.ifacol.2023.10.1486.
8. Selma, B., Chouraqui, S., Selma, B. (2022) 'A genetic algorithm-based neuro-fuzzy controller for unmanned aerial vehicle control', *IJAMC*, 13(1), pp. 1–23. doi: 10.4018/IJAMC.292505.
9. Sikora, A., Zielonka, A., Wozniak, M. et al. (2025) 'Fuzzy control system to improve the efficiency of the brushless direct current motor by correcting the control angle', *IJEPES*, 169, art. 110762. doi: 10.1016/j.ijepes.2025.110762.
10. Guler, N., Hazem, Z.B., Gunes, A., Saidi, F. (2025) 'Adaptive neuro-fuzzy inference system-genetic algorithm approach for global maximum power point tracking in PV systems under different shading conditions', *Greentech*, 3(4), art. 100239. doi: 10.1016/j.grets.2025.100239.
11. Azizi, M., Talatahari, S., Sareh, P. (2022) 'Design optimization of fuzzy controllers in building structures using the crystal structure algorithm (CryStAl)', *Advanced Engineering Inform.*, 52, art. 101616. doi: 10.1016/j.aei.2022.101616.
12. Elborly, M.S., Hamad, S.A., El-Sousy, F.F.M. et al. (2025) 'Neuro-fuzzy controller based adaptive control for enhancing the frequency response of two-area power system', *Heliyon*, 11(10), art. e42547. doi: 10.1016/j.heliyon.2025.e42547.
13. Diao, H., Yin, L., Liang, B., Chen, Y. (2023) 'An intelligent system control method based on visual sensor', *Measurement: Sensors*, 29, art. 100857. doi: 10.1016/j.measen.2023.100857.
14. George, M.A., Kamat, D.V., Kurian, C.P. (2024) 'Electric vehicle speed tracking control using an ANFIS-based fractional order PID controller', *JKSU-ES*, 36(4), pp. 256–264. doi: 10.1016/j.jksues.2022.01.001.
15. Ignatev, V.V., Solovev, V.V., Shadrina, V.V. (2021) 'Control of an unstable nonlinear technical object based on an intelligent controller', *Actual Sci. Research in The Modern World*, (11-12), pp. 100–106 (in Russ.).

Авторы

Игнатъев Владимир Владимирович¹, к.т.н.,
ведущий научный сотрудник, vvignatev@sfnu.ru

¹ Южный федеральный университет,
г. Таганрог, 347900, Россия

Authors

Vladimir V. Ignatyev¹, Cand. of Sci. (Engineering),
Leading Researcher, vvignatev@sfnu.ru

¹ Southern Federal University,
Taganrog, 347900, Russian Federation