

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» <https://resources.today>
Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling

2021, №1 Том 8 / 2021, No 1, Vol 8 <https://resources.today/issue-1-2021.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/10ECOR121.pdf>

DOI: 10.15862/10ECOR121 (<http://dx.doi.org/10.15862/10ECOR121>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Савченко Д.В., Резникова К.М., Смышляева А.А. Нечеткая логика и нечеткие информационные технологии // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы», 2021 №1, <https://resources.today/PDF/10ECOR121.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/10ECOR121

For citation:

Savchenko D.V., Reznikova K.M., Smyshlyayeva A.A. (2021). Fuzzy logic and fuzzy information technology. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, [online] 1(8). Available at: <https://resources.today/PDF/10ECOR121.pdf> (in Russian) DOI: 10.15862/10ECOR121

Савченко Денис Валерьевич

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Магистрант
E-mail: savchenko.dv@students.dvfu.ru

Резникова Ксения Михайловна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Магистрант
E-mail: a-da_97@mail.ru

Смышляева Анна Андреевна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Магистрант
E-mail: anyac957@mail.ru

Нечеткая логика и нечеткие информационные технологии

Аннотация. С введением понятия нечеткой логики Лотфи Заде мир информационных технологий кардинально изменился, ведь теперь существует не два состояния системы, как в булевой логике, но еще и промежуточные состояния.

В двадцатом веке мир столкнулся с тем, что существовавшие системы допускали ошибки из-за точности вычислений, что неприменимо к решению задач реального мира, но применимо к решению математических задач. Необходимо было создавать системы, которые имитировали бы мышление человека для решения сложных задач и принятия решений в условиях неопределенности и постоянно меняющихся условий.

В статье дается понятие нечеткой логики, показывается различие нечеткой логики и булевой логики. Авторы представляют историю возникновения понятий нечеткой логики, нечеткого множества, нечеткой системы. Указывают этапы развития нечеткой логики и основные результаты развития нечеткой логики на этих этапах. В статье представлена архитектура нечеткой системы, поясняются основные этапы прохождения данных в этой системе для решения определенной задачи. Авторы представили решение небольшой задачи принятия решения, а именно отбора боксеров в сборную, на основе нечеткой логики, используя функционал программного продукта MATLAB и расширения Fuzzy Logic Modeler.

В статье дается понятие жестких и мягких вычислений, их отличий друг от друга. Авторами приводятся основные технологии мягких вычислений, основанные на нечеткой логике, описываются их алгоритмы работы.

Далее приводятся примеры использования нечеткой логики в современном мире, такие как системы управления, нечеткие экспертные системы, автоматические системы. Тем самым авторы акцентируют внимание на роли нечеткой логики и нечетких технологий в повседневной жизни.

Ключевые слова: нечеткая логика; нечеткое множество; экспертная система; автоматическая система; автоматизированная система управления; мягкие вычисления; нечеткие системы; нейронные сети; генетические алгоритмы; вероятностные вычисления

Введение

В некоторых случаях поиск оптимального решения практической задачи на основе классической математики затруднен из-за сложности аналитического описания задачи. Если и удастся составить аналитическое описание, на решение задачи может потребоваться масса времени и материальных затрат. В то же время человек может находить оптимальные решения задачи, пользуясь субъективными представлениями и абстрактными сведениями о задаче. Человек постоянно использует неточные знания для принятия решений в задачах, где классическая математика не может быть применена. Для приближения математики к реальному миру была создана нечеткая логика.

Появление нечеткой логики позволило создавать системы управления, которые могут применять нестрогие рассуждения, принимать решения в условиях неопределенности, а также пытаться моделировать приемы человеческого мышления для принятия сложных решений. Такими системами являются автоматические и автоматизированные системы управления, использующие нечеткую логику, системы поддержки принятия решений, системы искусственного интеллекта, экспертные системы.

В современном мире практически каждый человек так или иначе взаимодействует с системами, основанными на нечеткой логике. Это может быть как бытовой прибор, к примеру утюг, холодильник, кондиционер или стиральная машина, так и сложный промышленный процесс, к примеру, система управления предприятием пищевой промышленности, система автопилотирования самолета, автомобиля.

Понятие нечеткой логики

Нечеткая логика представляет собой форму многозначной логики, в которой значения истины переменных могут быть действительными числами и варьироваться в интервале от 0 до 1. Это главное отличие от булевой логики, где есть только два состояния переменной: 0 – ложь, а 1 – истина.

Нечеткая логика обеспечивает основы для приблизительного рассуждения с использованием неточных решений, а также позволяет использовать лингвистические переменные, к примеру, как показано на рисунке 1.

Как видно, в примере в булевой логике нулем закодировано понятие «Холодный», а 1 – понятие «Горячий». В то же время нечеткая логика может отражать различные состояния между крайними состояниями, то есть «Холодным» и «Горячим». Это может быть не только состояние «Теплый» в числовом варианте 0.7, но и, к примеру, «Прохладный» с кодом 0.3.¹

¹ <https://vc.ru/loginom/201212-nechetkaya-logika-matematicheskie-osnovy>.

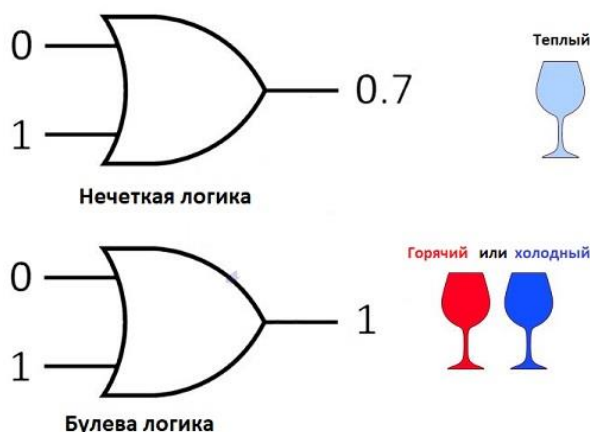


Рисунок 1. Отличие нечеткой и булевой логики²

Исходя из этого системы управления, использующие нечеткую логику, являются более гибкими в принятии важных решений и могут предложить пользователю-человеку наиболее оптимальный вариант.

История возникновения нечеткой логики

Понятия нечеткой логики и математической теории нечетких множеств были предложены американским профессором Лотфи Заде, работавшем в Калифорнийском университете в Беркли в 1965 году. Основными причинами формирования новой теории стали нечеткие приближенные рассуждения при описании человеком различных систем, объектов и процессов.

Принято выделять три периода развития нечеткой логики и нечетких систем. Первый период – конец 60-х, начало 70-х гг. – характеризуется развитием теоретических аспектов нечетких множеств и нечеткой логики в целом. Значительный вклад в нечеткую логику в этот период внесли Лотфи Заде, Э. Мамдани и Ричард Беллман.³

Второй период (70–80-е годы) характеризуется появлением первых прикладных решений в области нечеткого управления сложными техническими системами, а именно созданием первого парогенератора с нечетким управлением. Также в этот период уделяется внимание вопросам создания экспертных систем, основанных на нечеткой логике, и разработке контроллеров, основанных на нечеткой логике (нечетких контроллеров). Первый нечеткий контроллер был создан Мамдани и Ассилиан в 1975 году для управления паровым двигателем. Созданные нечеткие экспертные системы для поддержки принятия решений широко применяются в экономике и медицине [1–3].

Третий период начался в конце 80-х годов и продолжается по настоящее время. Этот период обусловлен появлением пакетов прикладных программ для построения нечетких экспертных систем, разработкам, связанным с искусственным интеллектом и системами поддержки принятия решений. Расширяется область применения нечеткой логики: она начинает применяться в транспортной промышленности, аэрокосмической промышленности, сельском хозяйстве, в финансовой сфере, автоматические нечеткие системы внедряют в бытовые приборы. Также нечеткая логика находит применение в сфере финансов, анализа и

² <http://digitrode.ru/articles/1242-cho-to-takoe-nechetkaya-logika-fuzzy-logic-princip-raboty-primery-primeneniye.html>.

³ https://kpfu.ru/staff_files/F850320868/Osnovy_nechetkoj_logiki.pdf.

принятия управленческих решений. В 1982 году Остергад и Холмблад разработали первый промышленный контроллер, основанный на нечетких лингвистических правилах «Если-то». Этот контроллер был внедрен в систему управления процессом обжига цемента на заводе в Дании.⁴

Наибольшее распространение по миру нечеткая логика получила после доказательства в конце 80-х годов американским профессором Бартоломеом Коско теоремы о нечеткой аппроксимации (Fuzzy Approximation Theorem), согласно которой любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике. То есть с помощью правил-высказываний вида «Если-то» можно отразить произвольную взаимосвязь между входом и выходом, не прибегая к сложным дифференциальным и интегральным исчислениям.⁵

Большое признание и распространение в бизнесе и финансах нечеткая логика получила после того, как экспертная система на основе нечетких правил для прогнозирования финансовых индикаторов предсказала обвал фондовой биржи. На данный момент существует большое количество систем, основанных на нечеткой логике.⁶

Архитектура нечеткой логической системы

Нечеткая система – это система, для описания которой используется нечеткая логика и аппарат нечетких множеств. Существует три способа описания нечеткой системы:

1. Нечеткая спецификация параметров системы, т. е. функционирование системы может быть описано алгебраическим или дифференциальным уравнением, в котором параметры – это нечеткие числа.
2. Лингвистическое или нечеткое описание входных и выходных переменных системы. Нечеткое описание получается от датчиков или экспертов.
3. Нечеткое описание в виде совокупности правил «Если – то».

Система нечеткой логики состоит из следующих модулей:

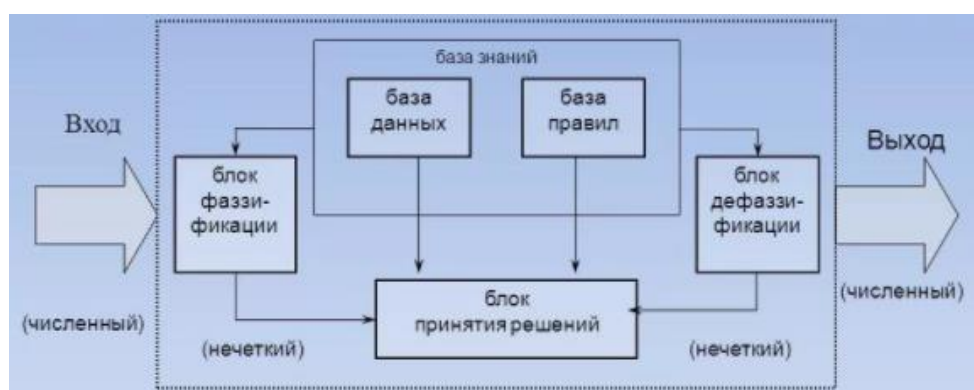


Рисунок 2. Архитектура нечеткой системы⁷

⁴ <https://loginom.ru/blog/fuzzy-logic>.

⁵ https://studbooks.net/2276027/informatika/nechetkie_sistemy.

⁶ <https://intuit.ru/studies/courses/87/87/lecture/20513>.

⁷ <http://www.myshared.ru/slide/493131/>.

Входные переменные проходят сперва через первый блок, фаззификатор, в котором происходит соответствие между численным значением входной переменной нечеткой системы и значением функции принадлежности соответствующего термина лингвистической переменной. То есть в блоке фаззификации происходит преобразование четкого значения переменной в нечеткое.

База правил хранит в себе правила «Если-то», на основе которых принимается решение в блоке принятия решений.⁸

Преобразование нечеткого множества в четкое число происходит в блоке дефаззификации. Таким образом происходит процесс, обратный фаззификации.⁹

Пример работы системы нечеткой логики

Например, необходимо отобрать боксеров в сборную по двум критериям, которые будут являться входными переменными: уровень ловкости и уровень мастерства. Выходной переменной будет являться результат попадания в сборную. Для построения нечеткой системы был использован пакет прикладных программ MATLAB и пакет расширения Fuzzy Logic Toolbox.

Лингвистическими характеристиками входной переменной «Уровень ловкости» будут «Отличный», «Очень хороший», «Хороший», «Не очень хороший», «Плохой». Для входной переменной «Уровень мастерства»: «Высокий», «Хороший», «Средний», «Низкий», «Плохой».

Лингвистических характеристик выходной переменной «Попадание в сборную» также будет пять: «Точно», «Скорее всего», «Возможно», «Скорее нет», «Точно нет».

После выбора экспертами шкалы, нижнего и верхнего значения каждой лингвистической характеристики для входных и выходной переменной, строятся функции принадлежности, в данном примере функции принадлежности трапецеидальные.

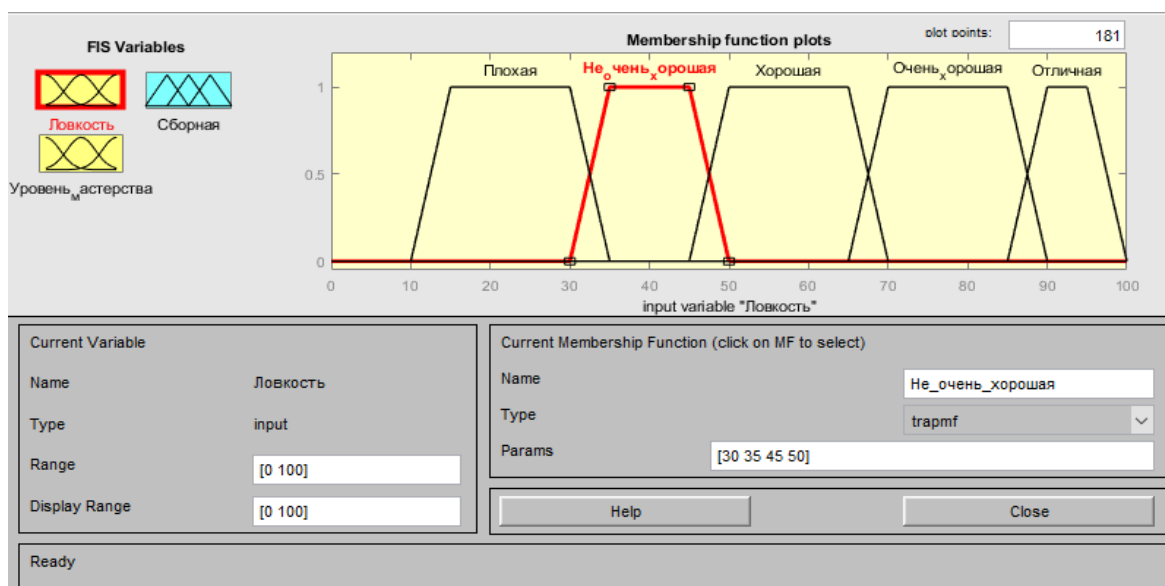


Рисунок 3. Функции принадлежности переменной «Уровень ловкости» (рисунок авторов)

⁸ <http://media.ls.urfu.ru/571/1598/3806/4492/2791/>.

⁹ https://ru.it-brain.online/tutorial/artificial_intelligence/artificial_intelligence_fuzzy_logic_systems.

Как видно из рисунка 3 эксперты решили не рассматривать в кандидаты на сборную боксеров с уровнем ловкости ниже 10.

На рисунке 4 показаны функции принадлежности входной переменной «Уровень мастерства», где эксперты решили не рассматривать кандидатов с уровнем мастерства ниже 15:

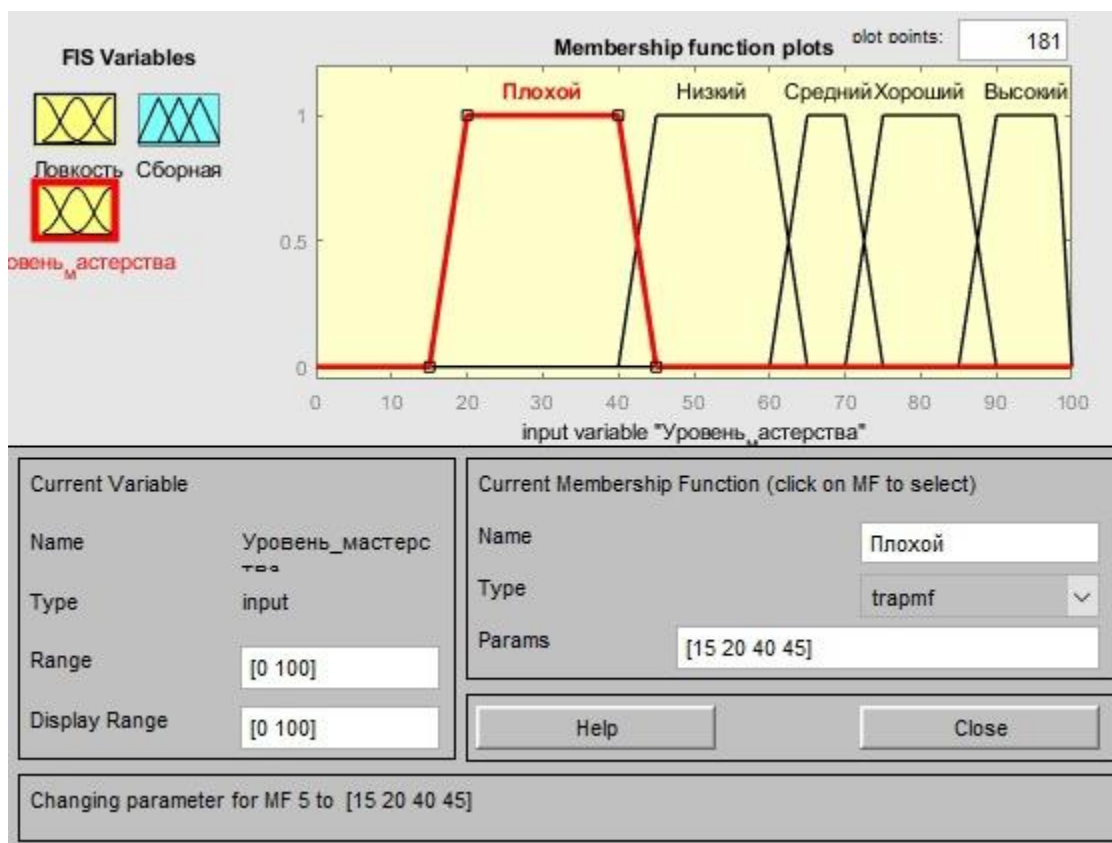


Рисунок 4. Функции принадлежности переменной «Уровень мастерства» (рисунок авторов)

На рисунке 5 эксперты определили функции принадлежности отбора боксеров в сборную:

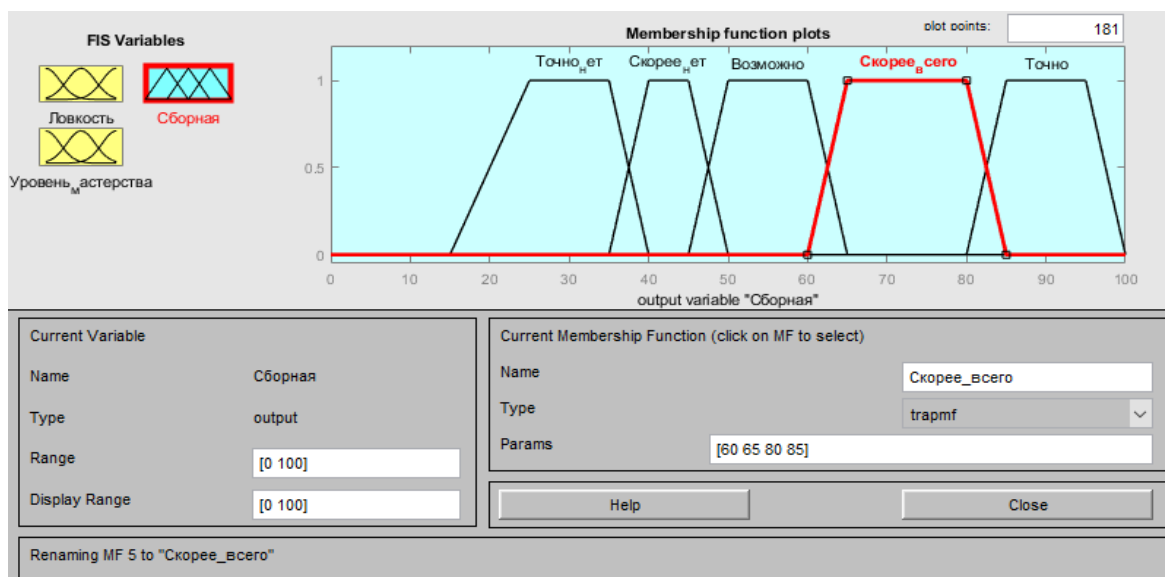


Рисунок 5. Функции принадлежности переменной «Попадание в сборную» (рисунок авторов)

База правил содержит в себе 25 лингвистических выражений «Если-то», также используется логический оператор «И», так как входных переменных две. Несколько правил «Если-то»:

1. Если «Уровень ловкости» Отличный и «Уровень мастерства» Высокий, то «Попадание в сборную» Точно.
2. Если «Уровень ловкости» Отличный и «Уровень мастерства» Хороший, то «Попадание в сборную» Точно.
3. Если «Уровень ловкости» Отличный и «Уровень мастерства» Средний, то «Попадание в сборную» Скорее всего.
4. Если «Уровень ловкости» Отличный и «Уровень мастерства» Низкий, то «Попадание в сборную» Возможно.
5. Если «Уровень ловкости» Отличный и «Уровень мастерства» Плохой, то «Попадание в сборную» Скорее нет.

На выходе расширение Fuzzy Logic Toolbox предлагает интерактивное окно, показанное на рисунке 6, с возможностью изменения значений входных переменных и просмотра результата, то есть четкого значения выходной переменной. Также есть возможность отобразить поверхность, наглядно демонстрирующую зависимость выбора бойцов в сборную от их характеристик. Поверхность показана на рисунке 7 [4–6].

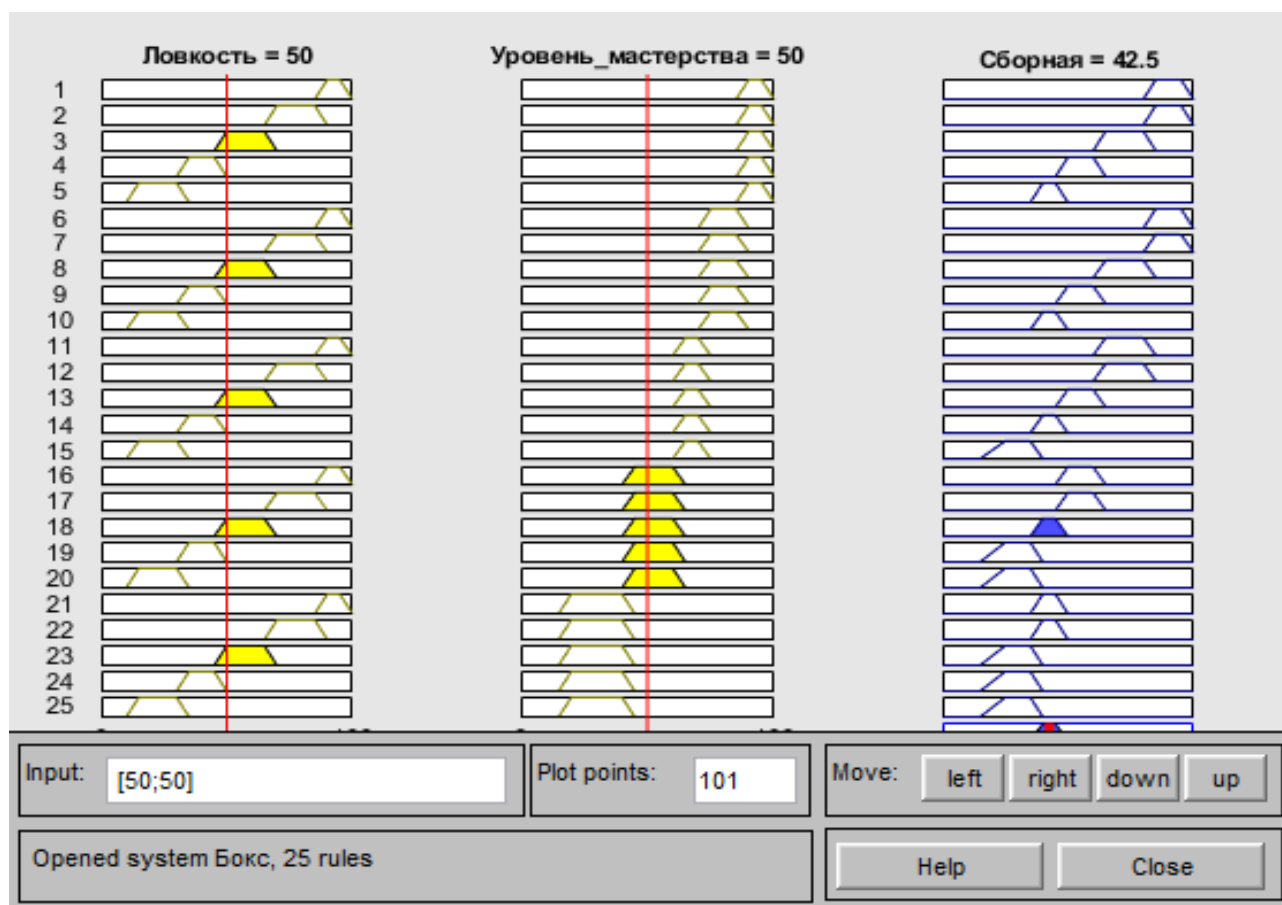


Рисунок 6. Окно вывода отбора в сборную (рисунок авторов)

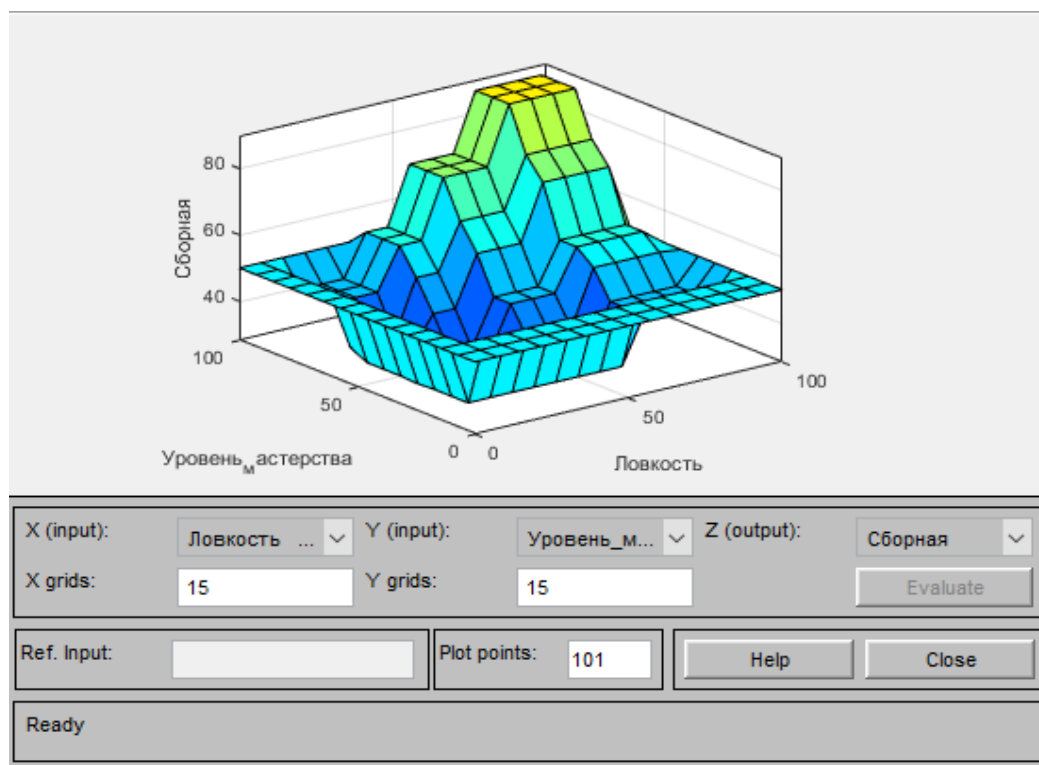


Рисунок 7. Поверхность отбора в сборную (рисунок авторов)

Таким образом для принятия решения отбора боксеров в сборную была построена простая математическая модель на основе трех переменных: двух входных и одной выходной. А также получен результат с помощью инструмента Fuzzy Logic Toolbox.¹⁰

Использование нечеткой логики в информационных технологиях

С введением понятия нечеткой логики, нечетких множеств начались попытки применения нечеткой логики в информационных технологиях. Позже Лотфи Заде предложил понятия мягких и жестких вычислений.

Под мягкими вычислениями понимается основанная на нечеткой логике методология использования неточных и математически строго необоснованных методов и алгоритмов для решения задач. При этом решение этих задач не может быть произведено на основании строгих подходов, позволяющих получить точный результат за приемлемое время.

Под жесткими вычислениями понимают традиционный подход в решении задач, требующий четко сформулированной аналитической модели. Традиционные вычислительные методы, жесткие вычисления, подходят больше для математических задач, хотя могут применяться и для решения реальных задач. Но основной недостаток жестких вычислений заключается в потреблении большого количества времени и затрат на вычисления. Поэтому для решения реальных задач используют более современные методы, то есть мягкие вычисления.

Методы мягких вычислений похожи на биологические процессы, чем жесткие вычисления, основанные на численном анализе или формальных логических системах. Главным принципом мягких вычислений является терпимость к неточности, неопределенной и частичной истинности для достижения удобства манипулирования, робастности, лучшего

¹⁰ https://portal.tpu.ru/SHARED/e/EXCEIBOT/academic/ISTab/Lab1_dop.pdf.

согласия с реальностью и низкой стоимости решения. Исходной моделью для мягких вычислений является человеческое мышление [7; 8].

Мягкие вычисления включают в себя четыре основные части: нечеткие системы, нейронные вычисления, генетические алгоритмы и вероятностные вычисления.¹¹

Нечеткие системы объединяют в себе системы нелинейного контроля за процессами производства, нечеткие экспертные системы, самообучающиеся системы, системы исследования рискованных и критических ситуаций, системы распознавания образов, системы финансового анализа, исследование данных, системы совершенствования стратегий управления, системы поддержки принятия решений.¹²

Нейронные вычисления – технология создания систем обработки информации, способных автономно генерировать методы, правила и алгоритмы обработки данных в виде адаптивного ответа в условиях конкретной информационной среды. Ярким примером таких систем обработки информации является нейронная сеть. Преимуществом нейронных вычислений является то, что в процессе решения задачи обработки информации, нейронные вычисления не требуют подготовки новых алгоритмов и правил обработки информации. Такая система должна быть способна составлять правила и модифицировать их в процессе решения задачи в условиях изменчивости.

Генетический алгоритм представляет собой метод решения задач оптимизации и моделирования с помощью случайного подбора, вариации и комбинирования искомым параметров, используя механизмы, напоминающие эволюцию в биологии. Генетический алгоритм – это разновидность эволюционных вычислений, которые в процессе решения оптимизационных задач используют методы естественной эволюции: наследование, мутацию, кроссинговер и отбор. Главное отличие генетического алгоритма в том, что в нем делается акцент на использование скрещивания. Скрещивание в свою очередь аналогично по своей сути скрещиванию биологическому и является операцией рекомбинации решений-кандидатов. Генетический алгоритм обрабатывает закодированную форму параметров задачи, осуществляет поиск решения исходя из некоторой популяции, а не из единственной точки. Этот алгоритм использует целевую функцию для решения задачи и применяет вероятностные правила выбора.

Частными случаями генетического алгоритма являются искусственные иммунные сети, муравьиный алгоритм. Искусственные иммунные сети (ИИС) популярны в основном в сфере информационной безопасности, так как принцип работы ИИС и ее свойства ориентированы на решение задачи обнаружения различных инцидентов, что особо важно в информационной безопасности.

В системах ИИС используются такие понятия, как антиген и антитела. Антигеном называют сетевые пакеты или системные вызовы. Антитела вырабатываются ИИС для реакции на специфические антигены, которые являются искомыми инцидентами. В зависимости от антигена выделяется три типа антител: пропускающие, блокирующие и уничтожающие. Сетевые пакеты, поступающие на устройство, могут быть признаны ИИС вредоносными, тогда пакет будет удален, а прием подобных пакетов системой будет заблокирован. Также сетевые пакеты могут быть признаны безопасными, в таком случае пакет пропускается в систему.¹³

¹¹ <https://ru.gadget-info.com/difference-between-soft-computing>.

¹² <https://pandia.ru/text/80/048/15911.php>.

¹³ <https://pandia.ru/text/80/048/15911.php>.

Муравьиный алгоритм моделирует многоагентную систему, в которой агенты называются муравьями. Муравьи просто устроены: им нужно небольшое количество памяти для выполнения своих обязанностей, на каждом шаге работы агенты-муравьи выполняют несложные вычисления. Каждый муравей хранит в памяти массив пройденных им узлов. Этот массив называют списком запретов или памятью муравья. При выборе узла для следующего шага, муравей обращается к своей памяти и не рассматривает пройденные узлы как возможные узлы для перехода. Кроме списка запретов муравей при выборе узла для следующего перехода руководствуется также так называемой привлекательностью ребер, которые он может пройти. Привлекательность ребра зависит от расстояния между узлами, то есть от веса ребра, а также от следов феромонов муравьев, прошедших по этим ребрам ранее, на прошлых итерациях. Следы будут ослабевать, если муравьи на следующих итерациях не будут проходить по конкретному ребру, и наоборот, если муравьи на следующих итерациях будут проходить по ребру с сохранившимся следом, этот след будет усиливаться.¹⁴

Вероятностные вычисления – подход, при котором программы получают доступ к генератору случайных чисел. Яркий пример вероятностных вычислений – вероятностная машина Тьюринга.

Применение технологий на основе нечеткой логики

На текущий момент существует большое множество различных систем, основанных на нечеткой логике, которые используются как в различных приборах, так и для принятия сложных решений в разрезе различных областей.

К примеру, в медицине в основном используются нечеткие экспертные системы для диагностики различных заболеваний. Большая часть нечетких экспертных систем используется для распознавания раковых заболеваний на ранних стадиях: система «OncoFinder» анализирует сигнальные внутриклеточные пути для подбора наиболее подходящей терапии для лечения различных раковых заболеваний; компьютерная система «CaDet» – система поддержки принятия решения для выявления раковых заболеваний на ранних стадиях; система «HD-СТС» с помощью цифрового микроскопа и программы обработки изображений анализирует образец крови, отделяя возможно злокачественные клетки от клеток крови. Также система «HD-СТС» обеспечивает изображение опухолевых клеток в высоком разрешении. Экспертные системы «IBM Watson», «NEF Class» – помогают врачам в более точном диагностировании заболеваний человека. Система «VisualDx» – это система поддержки принятия решений, помогает в диагностике различных заболеваний, а также включает в себя поиск необходимых лекарств и способов лечения пациента.

В машиностроении нечеткая логика используется в авиационных системах антиюзовой автоматики, в системах прямого управления моментом асинхронного двигателя, в системах оценки качества передачи данных в сетях индустриального интернета вещей, а также в системах автоматического управления. В качестве наглядных примеров можно привести беспилотные автомобили, автомобили с компьютерным зрением, системы автопилота самолетов, различные системы наведения [9–11].

В последнее время автоматические системы, основанные на нечеткой логике, широко применяются в сегменте бытовой техники: парогенераторы и утюги с функцией определения типа ткани и автоматическим регулированием температуры подошвы, умные стиральные машины с определением типа ткани и автоматическим выбором типа стирки, а также возможностью регулирования необходимого количества моющего средства и воды. Сюда же

¹⁴ <https://wiki.loginom.ru/articles/soft-computing.html>.

можно отнести умные чайники, подогревающие воду до определенной температуры, кондиционеры и так далее [12].

Заключение

Введение понятия нечеткой логики навсегда изменило восприятие информационных систем и расширило области их применения. Благодаря особенностям нечеткой логики, учитывающей промежуточные состояния в условиях изменчивости системы, удалось приблизить результаты вычислений к результатам человеческого мышления.

Спектр систем, основанных на нечетких технологиях, очень широкий – от видеокамер и бытовых стиральных машин до средств наведения ракет и управления боевыми вертолетами. Практический опыт разработки систем нечеткого логического вывода показывает, что сроки и стоимость их проектирования значительно меньше, чем при использовании традиционного математического аппарата, при этом обеспечивается соответствующий уровень качества разработанных программных продуктов, что приводит к удовлетворению потребностей пользователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Smidth F.L. Computing with a human face // New Scientist – 1982.
2. Zade L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information Sciences – Т. 8 – С. 199–249.
3. Mamdani E.H. Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plant // Proc. IEE. – 1974. – Т. 12 – С. 1585–1588.
4. Киселёва Э.А. Обзор нечеткой логики в управлении / Киселёва Э.А., Краева А.А., Савинова Ю.С. // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral» – 2019. – Т. 3.
5. Демидова Л.А. Многокритериальный анализ альтернатив на основе схемы Беллмана-Заде и мультимножеств / Демидова Л.А., Кираковский В.В. // Известия вузов – Спецвыпуск – 2006.
6. Carlsson Christer Fuzzy Logic in Management / Carlsson Christer, Fedrizzi Mario, Fuller Robert – 2004.
7. Колоденкова А.Е. Мягкие вычисления как путь к преодолению НЕ-факторов в задачах оценки жизнеспособности проектов // УБС – 2013. – Т. 46.
8. Ярушкина Н.Г. Мягкие вычисления в процессах бизнес-реинжиниринга и САПР / Ярушкина Н.Г., Шишкин В.В. // Вестник УлГТУ – 1998. – Т. 1.
9. Афанасьев М.Я. Применение методов нечеткой логики в автоматизированных системах технологической подготовки производства / Афанасьев М.Я., Филиппов А.Н. // Приборостроение. – 2010. – Т. 6.
10. Тугенгольд А.К. Нечеткая система управления состоянием многооперационного станка / Тугенгольд А.К., Изюмов А.И., Волошин Р.Н., Соломыкин М.Ю. // Advanced Engineering Research. – 2017. – Т. 2.
11. Yasunobu S. Predictive fuzzy control and its applications for automatic container crane operation system / Yasunobu S., Hasegawa T. // Tokyo: in Proc. 2nd. IFSA Congress, – 1987.
12. Ярушкина Н.Г. Интеграция нечетких моделей для анализа временных рядов / Ярушкина Н.Г., Перфильева И.Г., Афанасьева Т.В. // Известия Самарского научного центра РАН. – 2010. – Т. 4–2.

Savchenko Denis Valerievich

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: savchenko.dv@students.dvfu.ru

Reznikova Kseniya Mikhailovna

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: a-da_97@mail.ru

Smyshlyaeva Anna Andreevna

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: anyac957@mail.ru

Fuzzy logic and fuzzy information technology

Abstract. With the introduction of the concept of fuzzy logic by Lotfi Zadeh, the world of information technology has changed dramatically, because now there are not two states of the system, as in Boolean logic, but also intermediate states.

In the twentieth century, the world was faced with the fact that existing systems made mistakes due to the accuracy of calculations, which is not applicable to solving real-world problems, but is applicable to solving mathematical problems. It was necessary to create systems that would mimic human thinking to solve complex problems and make decisions in an environment of uncertainty and constantly changing conditions.

The article gives the concept of fuzzy logic, shows the difference between fuzzy logic and Boolean logic. The authors present the history of the concepts of fuzzy logic, fuzzy set, and fuzzy system. Indicate the stages of development of fuzzy logic and the main results of the development of fuzzy logic at these stages. The article presents the architecture of a fuzzy system, explains the main stages of passing data in this system to solve a specific problem. The authors presented a solution to a small decision-making problem, namely, the selection of boxers in the national team, based on fuzzy logic, using the functionality of the MATLAB software product and the Fuzzy Logic Modeler extension.

The article gives the concept of hard and soft computing, their differences from each other. The authors present the main soft computing technologies based on fuzzy logic, and describe their algorithms.

The following are examples of the use of fuzzy logic in the modern world, such as control systems, fuzzy expert systems, automatic systems. Thus, the authors focus on the role of fuzzy logic and fuzzy technologies in everyday life.

Keywords: fuzzy logic; fuzzy set; expert system; automatic system; automated control system; soft computing; fuzzy systems; neural networks; genetic algorithms; probabilistic computing