

# ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СЕТЯХ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Мукешимана К.<sup>1</sup>, аспирант, [mucam2@mail.ru](mailto:mucam2@mail.ru)

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, д. 5, корп. 2, 197376, Санкт-Петербург, Россия

## Аннотация

Нечеткая логика по своей основной характеристике моделирования человеческого мышления является одним из методов искусственного интеллекта. Данный метод может быть использован для моделирования мониторинга и управления процессами. Нечеткая логика способствовала развитию нескольких направлений. В промышленном обслуживании нечеткая логика используется для того, чтобы разрешить диагностические проблемы, автоматически классифицировать сигналы вибрации, соответствие различных режимов деятельности машин. В данной статье проведен сравнительный анализ методов автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) в современных промышленных областях, преимущественный анализ применения методов нечеткой логики в современных системах управления технологическими процессами, а также представлен пример использования нечёткой модели при оценке качества передачи данных в IIoT (Industrial Internet of Things) сетях.

**Ключевые слова:** нечеткая логика, технологические процессы, системы управления, промышленный интернет вещей, искусственный интеллект, промышленный контроль.

**Цитирование:** Мукешимана К. Применение модели нечёткой логики для оценки качества передачи данных в сетях индустриального интернета вещей // Компьютерные инструменты в образовании. 2019. № 1. С. 29–42. doi: 10.32603/2071-2340-2019-1-29-42

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня современные промышленные системы становятся все более сложными, а управление ими все более изощренным. В то же время надежность, доступность и безопасность стали очень важными параметрами; они являются настоящими проблемами для современного производства.

Автоматизация технологических процессов современного производства выдвигает на первое место решение ряда важнейших проблем, касающихся чаще всего промышленного оборудования и агрегатов, которые являются более сложными объектами управления с большим числом входных и выходных параметров, а также объектов со слож-

ными взаимосвязями в технологическом комплексе и наличием взаимосвязанных технологических процессов [1, 2].

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) предназначена для автоматизации сбора данных о сложных обезвреженных комплексах технологического оборудования и управления производственным процессом, поддержания оптимального режима работы технологических аппаратов и учета промежуточных данных, формирования и выдачи бухгалтерской и архивной документации, диагностики измерительной техники [2].

Гибкая модульная структура АСУ ТП позволяет обеспечить для каждого технологического объекта оптимальный уровень автоматизации, достаточный для эффективного и безопасного проведения производственного процесса.

С внедрением решения интернета вещей (IoT) на предприятиях (индустриальный интернет вещей — IIoT) управление подобными системами с большим количеством взаимосвязанных устройств стало очень сложным и оказалось в центре внимания многих исследователей. Для оптимального управления и сбора данных в АСУ ТП используются SCADA — системы (Supervisory Control And Data Acquisition), которые являются пакетами программ для сбора, обработки, отображения, передачи и архивирования информации об объекте управления в реальном времени.

Конечным результатом автоматизации системы управления технологическим и производственным процессами является повышение эффективности продукции предприятия [3, 4].

Данная статья излагает анализ возможностей и преимущества применения нечетких контроллеров в сетях индустриального интернета вещей (IIoT).

## 2. КОНЦЕПЦИЯ IIoT

Под индустриальным или промышленным интернетом вещей (Industrial Internet of Things, IIoT) понимается система, в которой объединяются различные компьютерные сети и подключенные промышленные и производственные объекты датчиками и программным обеспечением для сбора, обработки и передачи данных. В данной системе имеется возможность удаленного управления и контроля в автоматизированном режиме, без участия человека.

Принцип работы IIoT-технологии очень простой: на конечной части индустриального оборудования устанавливаются сенсоры (датчики), счетчики, актуаторы, регуляторы и другие механизмы, которые отвечают за сбор данных из внешнего мира. Их называют подключаемым оборудованием. Информация поступает в среду сбора данных, состоящую из локальных сетей (Ethernet, WiFi, ZigBee, Bluetooth) и сетевых шлюзов (коммутаторов, маршрутизаторов). Среда передачи данных использует фиксированную спутниковую, мобильную или смешанную связи. Далее данные передаются в платформу промышленного интернета. IIoT платформы служат управлением приложениями, связью с устройствами [5].

В состав структуры платформы входят центр хранения и обработки данных (ЦХОД), система управления устройствами (SCADA, АСУТП) и инструменты интеллектуального анализа данных (data mining). (рис. 1) [6, 7]. IIoT решение можно внедрять в различные области (рис. 1):

- энергетика — для эффективного распределения энергии,
- строительство — для автоматизации и безопасности,

- производство — для оптимизации производственных и технологических процессов,
- транспорт — для управления и обслуживания,
- здравоохранение — для удаленной диагностики и профилактики,
- финансы и торговля — для страховой телематики и мониторинга инкассации,
- добыча полезных ископаемых — для удаленного мониторинга, оптимизации процесса и безопасности.

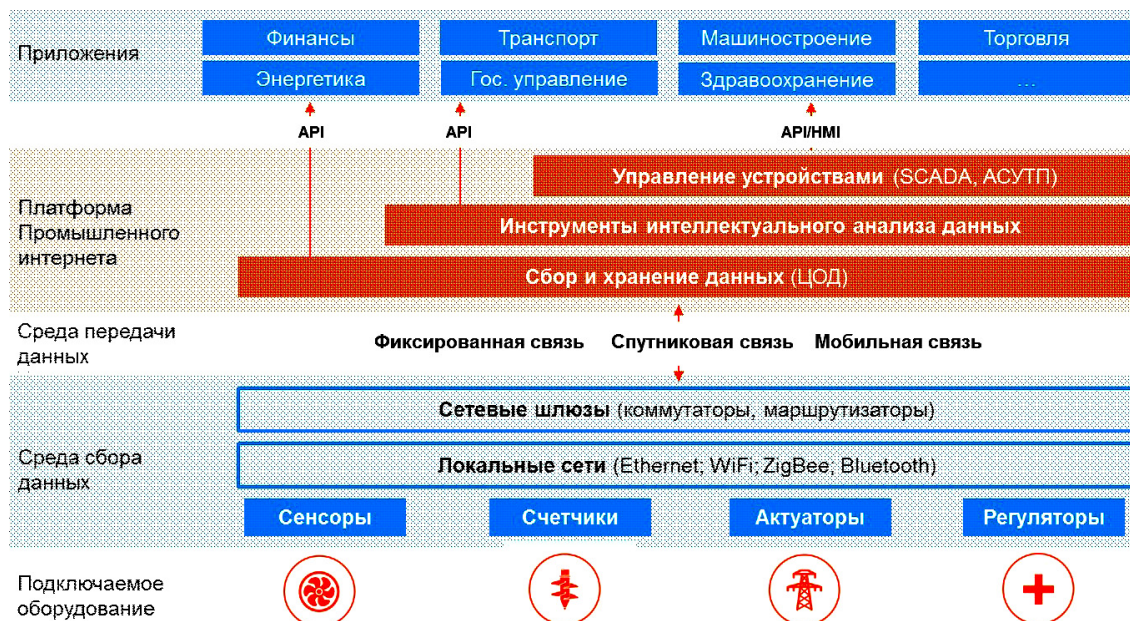


Рис. 1. Технологическая архитектура промышленного интернета вещей

Рассмотрим примеры внедрения решения IIoT в различных отраслях.

1. В энергетике, например, из-за дефекта газовой турбины возникает проблема прекращения выработки электроэнергии. Эта проблема решается внедрением технологии промышленного интернета, которая состоит из следующих шагов:

- снабжение парогазовой установки электронными датчиками, сенсорами и метками,
- подключение датчиков и сенсоров к сетевой инфраструктуре,
- онлайн сбор и обработка данных,
- построение пространственно-временных моделей,
- проведение предикативного анализа данных, полученных с датчика, сенсоров и меток.

В результате внедрения появляется возможность управления рисками, в том числе прогнозирования возможных отключений в работе турбины, и выявление факторов, связанных с качеством строительства и эксплуатации газовых турбин, что призвано обеспечить непрерывную выработку электроэнергии.

2. В машиностроении основной проблемой являются временные издержки и/или затоваривание складов. Это связано с отсутствием или избытком комплектующих и сырья на складах, что приводит к снижению эффективности производственной системы. Внедрение IIoT технологии обеспечивает:

- подключение отдельных элементов системы к сетевой инфраструктуре,
- автоматизированный сбор и обработку данных, полученных от подключенного оборудования,
- интеграцию производственных цепочек со смежными производствами,
- автоматическое принятие решения о необходимости поставки сырья и комплектующих со смежных производств,
- максимальное повышение эффективности производственной системы путём своевременной поставки сырья и комплектующих и снижения временных издержек.

### 3. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ И СИСТЕМ НЕЧЁТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

Теория нечёткой логики впервые появилась в 1965 году после публикации фундаментального труда «Fuzzy sets» американским математиком Лотфи Заде.

Основная идея нечеткой логики состоит в том, чтобы моделировать явления или процессы так, как это делал бы человек, то есть вводить их в алгоритмы, состоящие в основном из правил типа ЕСЛИ “утверждение”, ТО “результат”, то есть моделировать человеческое мышление. Действительно, человек имеет тенденцию делать выводы о некоторых ситуациях на основе неточных или неполных данных и действовать на основе набора неявных правил рассуждения [8].

Нечеткое регулирование является важной частью технологий управления. Обычные процедуры не заменяются, но по существу дополняются в зависимости от области применения. Наибольшего успеха в промышленном и коммерческом применении нечетких методов удалось добиться путем использования нечетких контроллеров.

Как и традиционный контроллер, нечеткий контроллер преобразует входные величины в выходные значения, которые затем воздействуют на заданный процесс или систему.

#### 3.1. Теория нечетких множеств

В классической теории множеств есть только две приемлемых ситуации для элемента: принадлежать или не принадлежать подмножеству. Заслуга Заде состояла в том, чтобы попытаться вырваться из этой логической двузначности путем введения понятия взвешенного членства: разрешить постепенное членство элемента в подмножестве, то есть разрешить элемент «в той или иной мере» принадлежать этому подмножеству.

Пусть  $X$  — некоторое универсальное множество и  $x$  — любой элемент  $X$ . Нечеткое подмножество  $A$  в  $X$  определяется как набор пар:

$$A = \{(x, \mu_A(x), x \in X)\}, \text{ где } \mu_A : X \rightarrow [0, 1]. \quad (3.1)$$

Таким образом, нечеткое подмножество  $A$  в  $X$  характеризуется функцией принадлежности  $\mu_A$ , которая присвоит каждому элементу  $x \in X$  действительное значение в интервале  $[0, 1]$ ;  $\mu_A$  представляет степень принадлежности  $x$  к подмножеству  $A$ . Возможны следующие три случая:

$$\mu_A(x) = 0, \quad (3.2)$$

$$0 < \mu_A(x) < 1, \quad (3.3)$$

$$\mu_A(x) = 1, \quad (3.4)$$

где  $\mu_A(x) = 0$ , если элемент  $x$  не включен в подмножество  $A$ ,  $0 < \mu_A(x) < 1$ , если  $x$  частично принадлежит  $A$ ,  $\mu_A(x) = 1$ , если  $x$  полностью принадлежит  $A$ .

Такая функция может быть треугольной, трапециевидной, Z-образной, S-образной и П-образной [8, 9].

### 3.2. Система нечеткого логического вывода

Процесс управления с помощью методов и алгоритмов нечеткой логики состоит из трех основных частей (рис. 2).

Наиболее часто используемым инструментом в приложениях с нечеткой логикой являются базы правил. Они представляют собой наборы правил, которые обычно используются параллельно, но в некоторых приложениях могут быть объединены. Базы правил нечеткой логики основываются на базах знаний, построенной на основе человеческого опыта [9].

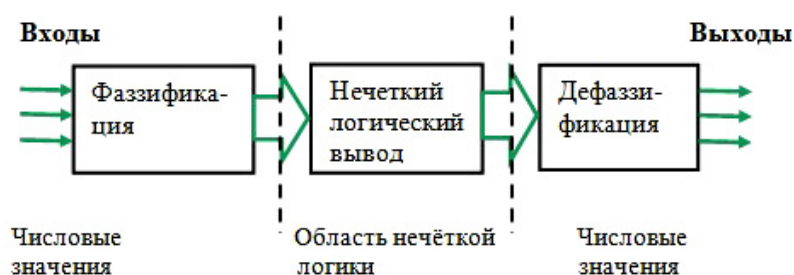


Рис. 2. Процесс обработки нечеткой логики

На первом этапе (фаззификация) числовые значения преобразуются в степени принадлежности к различным нечетким подмножествам. Второй шаг — это модуль логического вывода, который состоит из двух блоков: механизма логического вывода и базы правил. Наконец, этап дефаззификации, который выводит чёткое значение (точное), которое можно использовать для принятия решения и/или управления.

При использовании модели нечеткого логического вывода следует выполнить ряд действий в следующей последовательности [10]:

1. Определение входных данных.
2. Формирование базы правил.
3. Фаззификация.
4. Агрегирование подусловий.
5. Активизация подзаключений.
6. Аккумуляирование заключений.
7. Дефаззификация.
8. Получение выходных значений.

*Фаззификация* — введение нечёткости. Она заключается в получении на основе чётко заданных исходных данных значения функции принадлежности нечётких термов.

Для нечеткой системы фаззификация переменных является важным шагом в процессе её реализации.

Характеристики этого этапа обычно определяются квалифицированными экспертами или операторами в области исследования.



Этап фаззификации позволяет:

1. Определить лингвистические переменные.
2. Установить количество лингвистических термов.
3. Присвоить числовое значение каждому нечеткому терму: определить функцию принадлежности.

*Дефаззификация* — заключительный этап, представляющий собой процесс приведения к чёткости, то есть определение чёткого значения для всех выходных лингвистических переменных. Численный расчет выполняется с помощью одного из существующих методов дефаззификации (рис. 3) [11]:

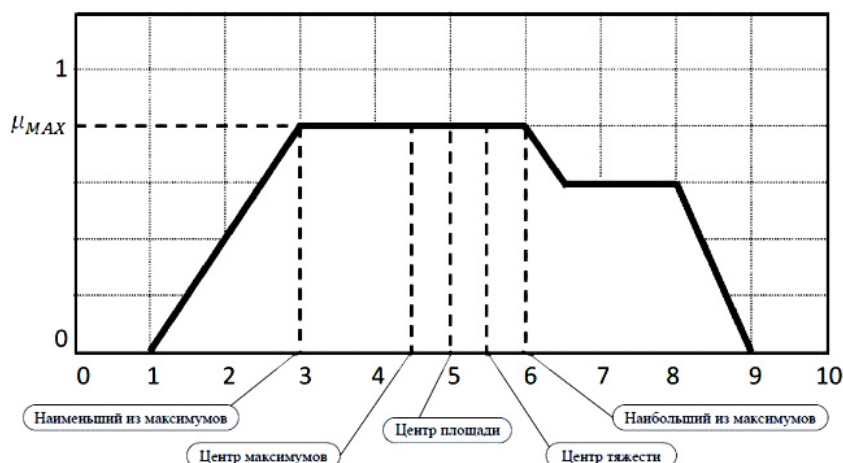


Рис. 3. Основные методы дефаззификации

#### 1. Метод центра тяжести:

$$u = \frac{\int_{y_{min}}^{y_{max}} y\mu(y)dy}{\int_{y_{min}}^{y_{max}} \mu(y)dy}, \quad (3.5)$$

где  $u$  — полученный результат,  $y_{min}$ ,  $y_{max}$  — наименьшая и наибольшая границы интервала выходной переменной,  $\mu(y)$  — функция принадлежности.

#### 2. Метод центра максимумов:

$$u = \frac{\int_G ydy}{\int_G dy}, \quad G = \{y|\mu(y) = \text{Max}\mu(y)\}, \quad (3.6)$$

где  $u$  — полученный результат,  $\mu(y)$  — функция принадлежности,  $\text{Max}$  — правая граница выходной переменной.

#### 3. Метод наименьшего из максимумов:

$$u = \text{Min}(y|\mu(y) = \text{Max}\mu(y)), \quad (3.7)$$

где  $u$  — полученный результат,  $\mu(y)$  — функция принадлежности,  $\text{Max}$ ,  $\text{Min}$  — правая и левая границы выходной переменной.

#### 4. Метод наибольшего из максимумов:

$$u = \text{Max}(y|\mu(y) = \text{Max}\mu(y)), \quad (3.8)$$

где  $u$  — полученный результат,  $\mu(y)$  — функция принадлежности,  $\text{Max}$  — правая граница выходной переменной.

**5. Метод центра площади:**

$$u = \int_{\text{Min}}^u \mu(y) dy = \int_u^{\text{Max}} \mu(y) dy, \quad (3.9)$$

где  $u$  — полученный результат,  $\mu(y)$  — функция принадлежности,  $\text{Min}$  и  $\text{Max}$  — левая и правая границы выходной переменной.

**4. МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

При построении модели оценки качества передачи данных в IoT сетях используются функции принадлежности различных видов [12]:

- Z-образная функция. Она описывается следующим выражением:

$$y_Z(x; a, b) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \leq a; \\ \frac{b-x}{b-a} & \text{при } a < x < b; \\ 0, & \text{при } x \geq b. \end{cases}$$

- S-образная функция принадлежности:

$$y_S(x; a, b) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{при } a < x < b; \\ 1, & \text{при } x \geq b. \end{cases}$$

- Треугольная функция принадлежности:

$$y_{\Delta}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{при } a < x < b; \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{при } b < x < c; \\ 1, & \text{при } x \geq c. \end{cases}$$

где  $a, b, c$  — числовые параметры, которые удовлетворяют условию  $a \leq b \leq c$ .

На первом этапе рассматриваются основные параметры процесса оценки качества передачи данных и требования к ним. К этим параметрам относятся:

- Скорости передачи данных — от 10 до 100 кбит/с.
- Задержки — меньше 300 мс.
- Доля потери пакетов — не более  $10^{-6}$ .

Входные, выходные лингвистических переменных и их термы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Термы лингвистических переменных

Входные переменные						Выходная переменная
Скорость передачи (Data_speed) [10;100] кбайт/с		Задержка (Dalay) [0;300]мс		Доля потери (DataLoss) [10-6;10-1]		Качество передачи данных (Quality) [0;100]%
Термы	Тип функции	Термы	Тип функции	Термы	Тип функции	
Низкая (Low)	Z-образная	Маленькая (Small)	Z-образная	Выносимая (Acceptable)	Z-образная	Очень низкое (Very Low)
Средняя (Medium)	Треугольная	Средняя (Medium)	Треугольная	Невыносимая (Unacceptable)	S-образная	Низкое (Low)
Высокая (High)	S-образная	Большая (Large)	S-образная			Среднее (Medium)
						Высокое (High)
						Очень высокое (very Low)

Разработка была выполнена в системе Fuzzy Logic Toolbox. Это пакет прикладных программ среды MatLab, который позволяет создавать системы нечеткого логического вывода и нечеткой классификации в рамках среды MatLab с возможностью их интегрирования в Simulink.

Базовое понятие Fuzzy Logic Toolbox есть FIS-структура (Fuzzy Inference System), которая содержит все необходимые данные для реализации функционального отображения “входы-выходы” на основе нечеткого логического вывода (рис. 4) [12, 13].

При разработке модели используется алгоритм нечеткого логического вывода Мамдани (Mamdani), в котором импликация моделируется минимумом, а агрегация максимумом [14].

Построенная база правил данной системы нечеткого вывода содержит правила нечетких продукций следующего вида:

R1. *If (DataSpeed is Low) and (Delay is Small) and (DataLoss is Acceptable) then (Quality is Medium) (1)*

R2. *If (DataSpeed is Low) and (Delay is Small) and (DataLoss is Unacceptable) then (Quality is Vely Low) (1)*

R3. *If (DataSpeed is Low) and (Delay is Medium) and (DataLoss is Acceptable) then (Quality is Medium) (1)*

R4. *If (DataSpeed is Low) and (Delay is Mediuml) and (DataLoss is Unacceptable) then (Quality is Vely Low) (1)*

R5. *If (DataSpeed is Low) and (Delay is Large) and (DataLoss is Acceptable) then (Quality is Low) (1)*

R6. *If (DataSpeed is Low) and (Delay is Large) and (DataLoss is Unacceptable) then (Quality is Vely Low) (1)*

R7. *If (DataSpeed is Medium) and (Delay is Small) and (DataLoss is Acceptable) then (Quality is High) (1)*

R8. *If (DataSpeed is Medium) and (Delay is Small) and (DataLoss is Unacceptable) then (Quality is Low) (1)*

R9. *If (DataSpeed is Medium) and (Delay is Mediuml) and (DataLoss is Acceptable) then (Quality is Medium) (1)*



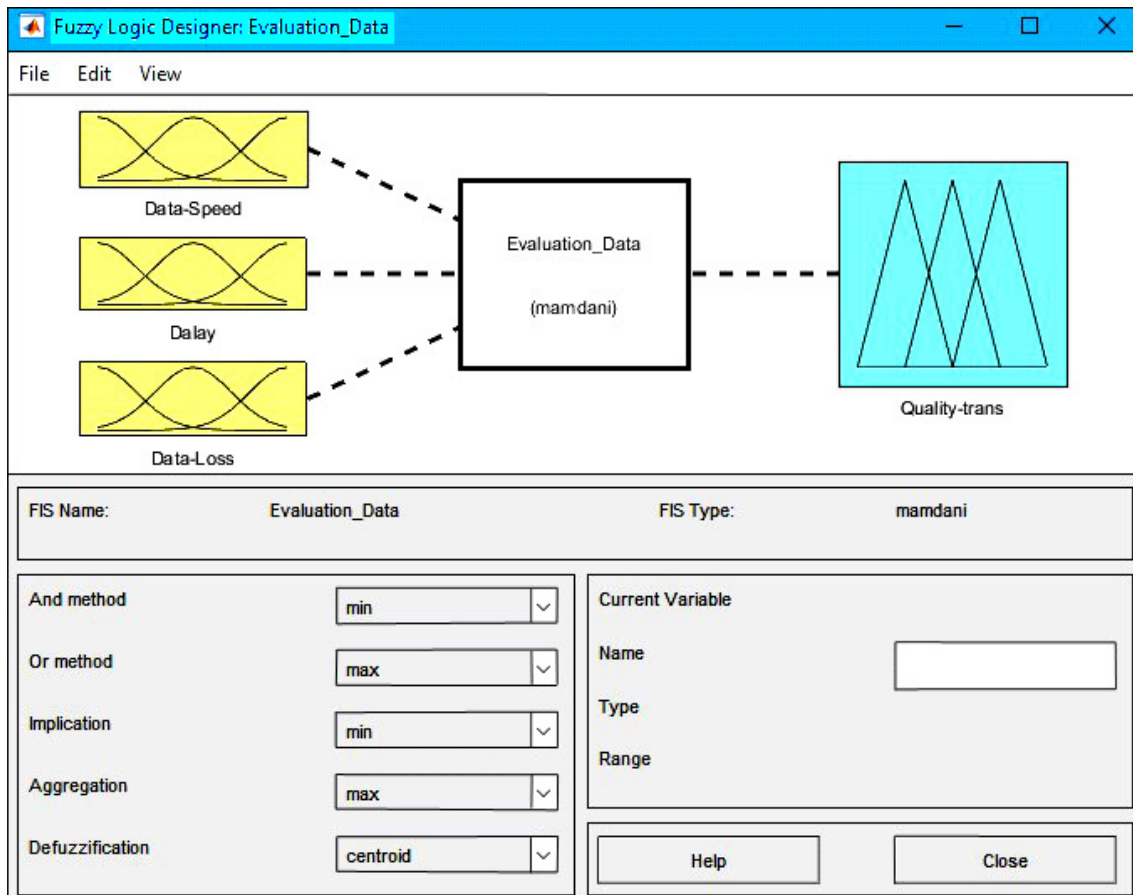


Рис. 4. FIS-структура модели

*R10. If (DataSpeed is Medium) and (Delay is Medium) and (DataLoss is Unacceptable) then (Quality is Low) (1)*

*R11. If (DataSpeed is Medium) and (Delay is Large) and (DataLoss is Acceptable) then (Quality is Medium) (1)*

*R12. If (DataSpeed is Medium) and (Delay is Large) and (DataLoss is Unacceptable) then (Quality is Very Low) (1)*

*R13. If (DataSpeed is High) and (Delay is Small) and (DataLoss is Acceptable) then (Quality is Very High) (1)*

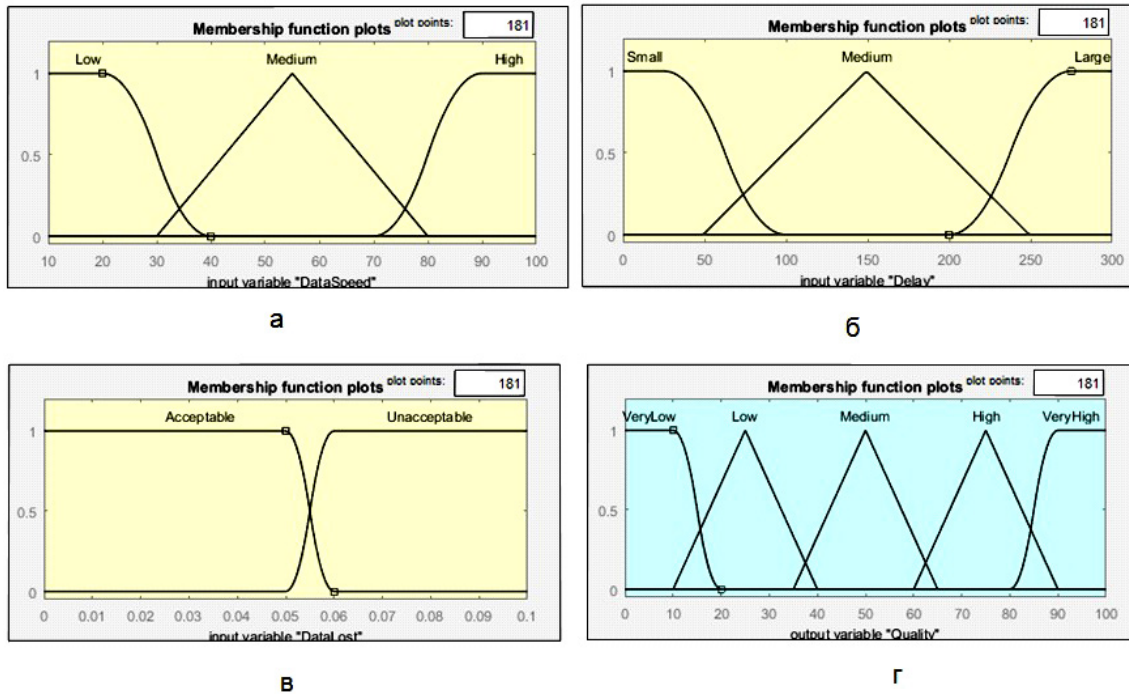
*R14. If (DataSpeed is High) and (Delay is Small) and (DataLoss is Unacceptable) then (Quality is Medium) (1)*

*R15. If (DataSpeed is High) and (Delay is Medium) and (DataLoss is Acceptable) then (Quality is High) (1)*

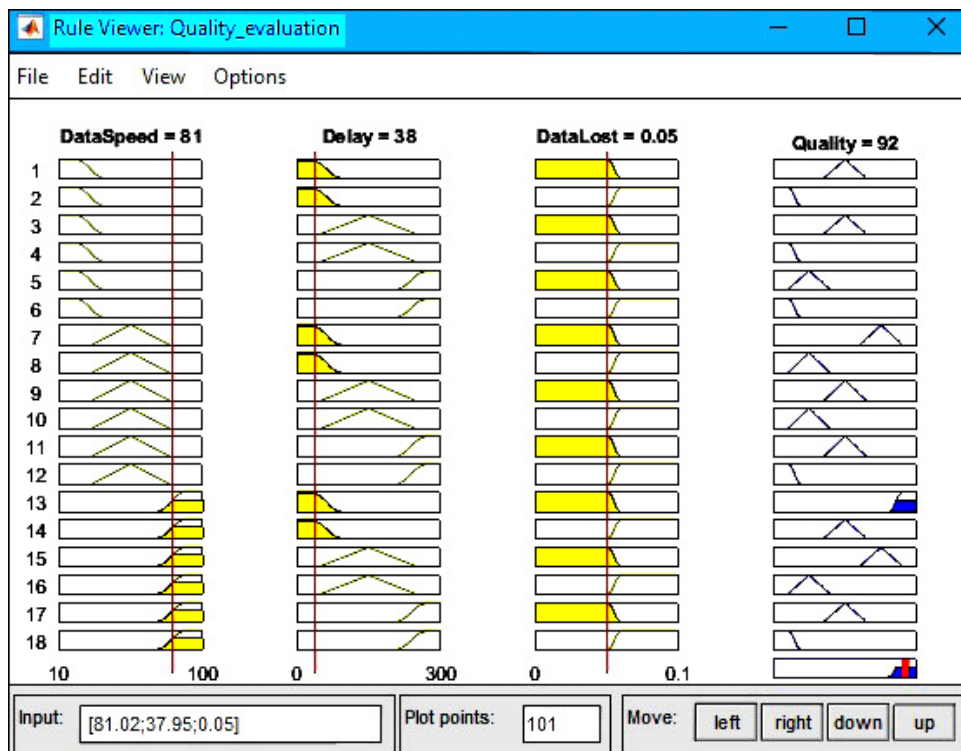
*R16. If (DataSpeed is High) and (Delay is Medium) and (DataLoss is Unacceptable) then (Quality is Low) (1)*

*R17. If (DataSpeed is High) and (Delay is Large) and (DataLoss is Acceptable) then (Quality is Very Medium) (1)*

*R18. If (DataSpeed is High) and (Delay is Small) and (DataLoss is Unacceptable) then (Quality is Very Low) (1)*



**Рис. 5.** Графики функций принадлежности для термов входных и выходных лингвистических переменных: а) скорость передачи данных, б) задержка данных, в) доля потери данных, г) качество передачи данных

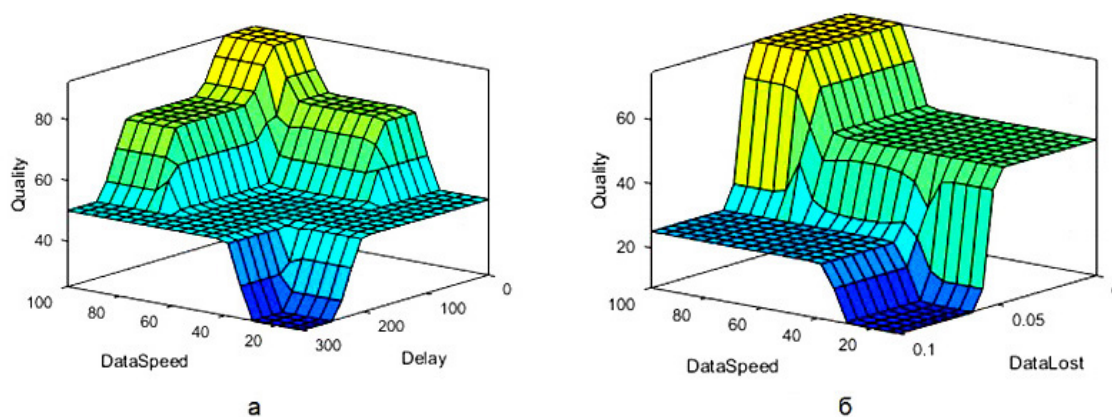


**Рис. 6.** Окно программы просмотра правил

Для проверки системы в действии необходимо открыть окно просмотра правил и установить значения переменных (рис. 6). Программа просмотра правил не позволяет редактировать правила и функции принадлежности термов переменных и используется после разработки системы нечеткого вывода на этапе ее анализа и оценки [13].

*Пример.* Если входная лингвистическая переменная «Скорость передачи данных» принимает значение 81 кбит/с, входная лингвистическая переменная «Задержка» — 38 мс и входная лингвистическая переменная «Доля потери пакетов» —  $10^{-5}$ , то выходная лингвистическая переменная принимает значение 92 %, что соответствует очень высокой оценке качества передачи данных.

Графический интерфейс программы просмотра поверхности изображен на рис. 7. Программа просмотра поверхности вывода имеет главное меню, которое позволяет пользователю вызывать другие графические средства работы с системой нечеткого вывода FIS, загружать и сохранять структуру FIS во внешних файлах. С помощью программы просмотра поверхности вывода можно посмотреть зависимости выходной переменной от двух выбранных входных переменных.



**Рис. 7.** Зависимость, отображающая влияния входных переменных на значение выходной переменной: а) от скорости передачи данных и задержки, б) от скорости передачи данных и доли потери информации

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье рассмотрены основные принципы, фундаментальные характеристики и направления практического внедрения решения Индустриального Интернета Вещей. Были проанализированы основные принципы и методы управления технологическими процессами в современных предприятиях. Рассмотрены и исследованы основные понятия теории нечетких множеств; проанализированы основные понятия нечеткой логики и алгоритмы нечеткого логического вывода.

Практическая часть работы предлагает пример использования нечетких алгоритмов и методов в IIoT сетях. Разработана нечеткая модель для оценки качества передачи данных с использованием алгоритма Мамдани. Для построения нечеткой модели оценки качества передачи данных в сетях современной промышленности использовался пакет Fuzzy Logic Toolbox вычислительной системы MatLab, предназначенный для проектирования и исследования сложных систем на нечеткой логике. Достоинством использова-

ния данного программного средства является наличие достаточного объема документации и иных информационных источников, в которых описаны способы его применения в различных областях, в том числе в области индустриального интернета вещей.

Результаты моделирования свидетельствуют о том, что применение нечеткой логики в сложных системах автоматического управления позволяет добиться упрощения структуры программного обеспечения.

### Список литературы

1. Клюев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. М.: Энергия, 2015. 512 с.
2. Фельдбаум А. А. Вычислительные устройства в автоматических системах. М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 2017. 800 с.
3. Кузнецов А. Genesis for Windows — графическая scada-система для разработки АСУ ТП // Современные технологии автоматизации. 1997. № 3.
4. Батков А. М., Тарханов И. Б. Системы телеуправления. М.: Машиностроение, 2012. 192 с.
5. Industrial Internet of Things — IIoT. Промышленный интернет вещей.  
URL: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IIoT\\_-\\_Industrial\\_Internet\\_of\\_Things\\_\(Промышленный\\_интернет\\_вещей\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IIoT_-_Industrial_Internet_of_Things_(Промышленный_интернет_вещей)) (дата обращения 10.01.2019).
6. Индустриальный интернет: цифровые технологии как драйвер роста российской экономики. URL: [https://www.company.rt.ru/projects/IIoT/presentation\\_april\\_2016.pdf](https://www.company.rt.ru/projects/IIoT/presentation_april_2016.pdf) (дата обращения 25.02.2019).
7. Емельянов С. В. Информационные технологии и вычислительные системы: Интернет-технологии. Математическое моделирование. Системы управления. Компьютерная графика. М.: Ленанд, 2012. 96 с.
8. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. 2-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. 2017. 798 с.
9. Zadeh L. A. Fuzzy sets // Information and Control. 1965 (8) P. 338–353. doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
10. Zadeh L. A. Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes // IEEE Transactions on Systems. 1973. № 1. P. 28–45. doi: 10.1109/TSMC.1973.5408575
11. Korchenko A. Method of parameter fuzzification based on linguistic standards for cyber attacks detection // Ukrainian Scientific Journal of Information Security. 2014. Vol. 20. Issue 1. P. 21–28.
12. MathWorks — MATLAB and Simulink for Technical Computing, Fuzzy Logic Toolbox, Documentation Center. URL: <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/index.html> (дата обращения 12.02.2019).
13. Гайдук А. Р., Беляев В. Е., Пьявченко Т. А. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2011. 464 с.
14. Mamdani E.H., Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller // International Journal of Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. №. 1. P. 1–13.

Поступила в редакцию 17.01.2019, окончательный вариант — 28.02.2019.

Computer tools in education, 2019

№ 1: 29–42

<http://ipo.spb.ru/journal>

doi:10.32603/2071-2340-2019-1-29-42

## Application of the Model of Fuzzy Logic to Evaluate the Quality of Data Transfer in Networks of the Industrial Internet of Things

Mukeshimana C.<sup>1</sup>, postgraduate student, [mucam2@mail.ru](mailto:mucam2@mail.ru)

<sup>1</sup>Saint-Petersburg Electrotechnical University,  
5, building 2, st. Professora Popova, 197376, Saint Petersburg, Russia

### Abstract

Fuzzy logic by its main characteristic of simulation of human reasoning, it is classified among the techniques of artificial intelligence. This technique can be used to model the monitoring and control of processes. Fuzzy logic has contributed to the development of several areas. In industrial maintenance, fuzzy logic is used to solve diagnostic problems by automatically classifying vibration signals corresponding to different modes of operation of machines. In this article, a comparative analysis is carried out of the methods of automated control system of technological processes (ACS TP) in modern industrial fields, the preferential analysis of applying fuzzy logic methods in modern process control systems, as well as an example of using a fuzzy model in assessing the quality of data transmission in IIoT networks.

**Keywords:** *Fuzzy logic, technological processes, control systems, industrial internet of things, artificial intelligence, industrial control.*

**Citation:** C. Mukeshimana, "Application of the Model of Fuzzy Logic to Evaluate the Quality of Data Transfer in Networks of the Industrial Internet of Things," *Computer tools in education*, no. 1, pp. 29–42, 2019 (in Russian); doi:10.32603/2071-2340-2019-1-29-42

### References

1. A. S. Klyuev, B. V. Glazov, and A. Kh. Dubrovskii, *Proektirovanie sistem avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov* [Designing automation systems for technological processes], Moscow, Russia: Energiya, 2015 (in Russian).
2. A. A. Fel'dbaum, *Vychislitel'nye ustroystva v avtomaticheskikh sistemakh* [Computing devices in automatic systems], Moscow, Russia, 2017 (in Russian).
3. A. Kuznetsov, "GenesisforWindows — graficheskaya SCADA-sistema dlya razrabotki ASU TP" [GenesisforWindows is a graphic scada – system for the development of automated process control systems], *Contemporary Technologies in Automation*, no. 3, pp. 104–108, 1997 (in Russian).
4. A. M. Batkov, I. B. Tarkhanov, *Sistemy teleupravleniya* [Telecontrol systems], Moscow, USSR: Mashinostroenie, 1972 (in Russian).
5. "Industrial Internet of Things – IIoT" in *Tadviser*, [Online]. Available: [http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IIoT\\_-\\_Industrial\\_Internet\\_of\\_Things\\_\(Промышленный\\_интернет\\_вещей](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:IIoT_-_Industrial_Internet_of_Things_(Промышленный_интернет_вещей) (in Russian).
6. "Industrial'nyi internet: tsifrovye tekhnologii kak draiver rosta rossiiskoi ekonomiki" [Industrial Internet: digital technologies as a growth driver for the Russian economy], [Online]. Available: [https://www.company.rt.ru/projects/IIoT/presentation\\_april\\_2016.pdf](https://www.company.rt.ru/projects/IIoT/presentation_april_2016.pdf) (in Russian).

7. S. V. Emel'yanov, *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy: Internet-tekhnologii. Matematicheskoe modelirovanie. Sistemy upravleniya. Komp'yuternaya grafika* [Information technology and computing systems: Internet technologies. Math modeling. Control systems. Computer graphics], Moscow, Russia: Lenand, 2012 (in Russian).
8. A. Pegat, *Nechetkoe modelirovanie i upravlenie* [Fuzzy modeling and control], 2nd ed, Moscow, Russia: BINOM.Laboratoriya znanii, 2017 (in Russian).
9. L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, no. 3, 1965, pp. 338–353; doi: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X
10. L. A. Zadeh, "Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes," *IEEE Transactions on Systems*, vol. SMC3, no. 1, pp. 28–45, 1973; doi: 10.1109/TSMC.1973.5408575
11. A. Korchenko, "Method of parameter fuzzification based on linguistic standards for cyber attacks detection," *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*, vol. 20, no. 1, pp. 21–28, 2014.
12. "MathWorks — MATLAB and Simulink for Technical Computing, Fuzzy Logic Toolbox, Documentation Center," [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/index.html>
13. A. R. Gaiduk, V. E. Belyaev, T. A. P'yavchenko, *Teoriya avtomaticheskogo upravleniya v primerakh i zadachakh s resheniyami v MATLAB: Uchebnoe posobie* [The theory of automatic control in examples and problems with solutions in MATLAB: Tutorial], Sanct-Petersburg, Russia: Lan', 2011 (in Russian).
14. E.H. Mamdani, S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1–13, 1975.

*Received 17.01.2019, the final version — 28.02.2019.*