

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

PRODUCT QUALITY MANAGEMENT. STANDARDIZATION. INDUSTRIAL MANAGEMENT

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 006.029 (004.89)
DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-1-107-113



ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОИСКА НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОСНОВНЫХ ПОДХОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Побединский В.В.¹, Полякова М.А.², Казанцева Т.В.³, Казанцева Н.К.³, Иовлев Г.А.¹

¹ Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

³ Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). Настоящее время характеризуется революцией в информационных технологиях, и человечество переживает период «информационного взрыва», когда нарастающие массы информации происходят лавинообразно. Возникла глобальная проблема обработки информации, которая имеет свои специфические особенности в области стандартизации, в частности поиск необходимых нормативных документов, численность которых может составлять сотни и даже миллионы файлов в различных базах данных. Используемые для поиска в известных системах ключевые слова не дают строго точной идентификации документа и его полного соответствия требованиям запроса, так как с точки зрения теории нечетких множеств они несут свойство неопределенности. В данном случае будет более корректно для разработки системы поиска использовать положения нечеткой логики как одной из концепций интеллектуальных систем. Несмотря на массовое использование таких систем в различных областях, в поисковых системах нормативных документов они не применялись, поэтому проблема эффективного поиска документов остается в полной мере нерешенной, что говорит об актуальности проведения дополнительных исследований. **Цель работы.** Создание интеллектуальной системы поиска нормативных документов на основе положений нечеткой логики, при которой решались следующие задачи: 1) обоснование теоретического подхода для решения задачи интеллектуального поиска документов; 2) постановка задачи в содержательном виде; 3) разработка нечетких функций принадлежности входных и выходных переменных; 4) разработка базы правил нечеткой продукции; 5) реализация нечеткой системы в среде MATLAB; 6) разработка подпрограммы оценки соответствия запросу в среде Simulink. **Используемые методы.** Теория алгоритмов и программ, теория нечетких множеств, теория нечеткой логики, система MATLAB. **Новизна.** Впервые предложен алгоритм и система поиска нормативных документов, основанная на использовании основных положений нечеткой логики. **Результат.** Предложена реализованная в программной среде MATLAB система поиска нормативных документов с использованием нечеткой логики. **Практическая значимость.** Алгоритм и его программная реализация в среде Simulink являются в достаточной мере универсальными и могут использоваться для поиска нормативных документов любого типа.

Ключевые слова: нормативный документ, система поиска, теория нечетких множеств, нечеткая продукция, нечеткая система, запрос

© Побединский В.В., Полякова М.А., Казанцева Т.В., Казанцева Н.К., Иовлев Г.А., 2024

Для цитирования

Интеллектуальная система поиска нормативных документов с использованием основных подходов нечеткой логики / Побединский В.В., Полякова М.А., Казанцева Т.В., Казанцева Н.К., Иовлев Г.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №1. С. 107-113. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-1-107-113>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

AN INTELLIGENT SYSTEM BASED ON MAIN APPROACHES OF FUZZY LOGIC FOR SEARCHING FOR REGULATORY DOCUMENTS

Pobedinskiy V.V.¹, Polyakova M.A.², Kazantseva T.V.³, Kazantseva N.K.³, Iovlev G.A.¹

¹ Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia

² Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

³ Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). The present time is characterized by a revolution in information technology and humanity is experiencing a period of the "information explosion", when the mass of information increases in an avalanche. There is a global problem of processing information, which has its own specific features in the field of standardization, in particular, the search for necessary regulatory documents, whose number can amount to hundreds or even millions of files in various databases. Keywords used for searching in well-known systems do not provide strictly accurate identification of the document and its full compliance with the requirements of the query, because from the point of view of fuzzy set theory they carry the property of uncertainty and in this case, it would be more correct to use the provisions of fuzzy logic as one of the concepts of intelligent systems for the development of a search system. Despite the widespread use of such systems in various fields, they have not been used in terms of search engines for regulatory documents, so the problem of the efficient document search remains fully unresolved, which indicates the relevance of additional research. **Objectives.** The research aims at creating an intelligent system based on fuzzy logic to search for regulatory documents. The following tasks are to be solved: 1) substantiation of a theoretical approach to solving the problem of the intelligent document search; 2) formulation of the problem in a meaningful way; 3) development of fuzzy functions for the membership of input and output variables; 4) development of a database of rules for fuzzy products; 5) implementation of a fuzzy system in the MATLAB environment; 6) development of a query compliance assessment subroutine in the Simulink environment. **Methods Applied.** Theory of algorithms and programs, fuzzy set theory, fuzzy logic theory, and the MATLAB system. **Originality.** This paper originally proposes an algorithm and a fuzzy logic system for searching for regulatory documents. **Result.** The paper describes a proposed fuzzy logic system implemented in the MATLAB software environment for searching for regulatory documents. **Practical Relevance.** The algorithm and its software implementation in Simulink are quite versatile and can be used to search for regulatory documents of any type.

Keywords: regulatory document, search system, fuzzy set theory, fuzzy product, fuzzy system, query

For citation

Pobedinskiy V.V., Polyakova M.A., Kazantseva T.V., Kazantseva N.K., Iovlev G.A. An Intelligent System Based on Main Approaches of Fuzzy Logic for Searching for Regulatory Documents. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 1, pp. 107-113. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-1-107-113>

Введение

Настоящее время характеризуется революцией в информационных технологиях, и человечество переживает период «информационного взрыва», когда нарастание массы информации происходит лавинообразно. Так, в 2022 году объемы всех данных, накопленных человечеством, составили примерно 97 зеттабайт (1 зеттабайт = миллиард терабайт), а к 2025 году это число возрастет до 180 зеттабайт. Таким образом, ежегодно объем информации в мире увеличивается примерно в пять раз [1, 2]. Такая тенденция вызвала огромную проблему хранения информации, поэтому на сегодня созданы мощные дата-центры, которые позволяют хранить эксабайты (миллионы терабайт) информации. Но в науке и производстве появилась и другая проблема: требуется не только хранение и даже не первичная обработка,

например сортировка, но и выполнение определенного анализа информации, что многократно усложняет проблему. Решить такую масштабную проблему без привлечения современных информационных технологий невозможно, поэтому, например, ключевая тема международной конференции в Минске «Развитие информатизации и государственной системы научнотехнической информации» (РИНТИ-2023) была посвящена использованию методов искусственного интеллекта для решения указанных проблем [2].

Свои специфические особенности обработки информации имеются в области стандартизации, в частности поиск необходимых нормативных документов, численность которых может составлять сотни и даже миллионы файлов в различных базах данных. Поскольку проблема общеизвестна, то появилось большое количество поисковых систем, которые имеют свои назначения, особенности, достоинства и недо-

статки. Кроме классификации по номерам, параметрами поиска в известных системах являются ключевые слова [3-6]. Но они не дают строго точной идентификации документа и его полного соответствия требованиям запроса. Следовательно, с точки зрения теории нечетких множеств [7] они несут свойство неопределенности, и в данном случае будет более корректно для разработки системы поиска использовать положения нечеткой логики, как одной из концепций интеллектуальных систем [7-12]. Несмотря на массовое использование таких систем в различных областях, в части поисковых систем нормативных документов они не применялись, поэтому проблема эффективного поиска документов остается в полной мере нерешенной, что говорит об актуальности проведения дополнительных исследований.

Таким образом, целью работы было создание интеллектуальной системы с использованием нечеткой логики для поиска нормативных документов из различных баз данных.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- 1) обоснование теоретического подхода для решения задачи интеллектуального поиска документов;
- 2) постановка задачи в содержательном виде;
- 3) разработка нечетких функций принадлежности входных и выходной переменных;
- 4) разработка базы правил нечеткой продукции;
- 5) реализация нечеткой системы в среде MATLAB;
- 6) разработка подпрограммы оценки соответствия запросу в среде Simulink.

Материалы и методы исследования

Для решения поставленных задач в работе использовались теория алгоритмов и программ, теория нечетких множеств (ТНМ), нечеткая логика. Программная реализация предложенного алгоритма была выполнена в среде системы компьютерной математики и моделирования MATLAB+FuzzyLogicDesigner. Подпрограмма оценки соответствия документа запросу для использования в основном алгоритме поиска разработана в среде Simulink [13].

Полученные результаты и их обсуждение

Обоснование теоретического подхода к решению задачи интеллектуального поиска документов. Рассматривая задачу поиска, нужно учесть, что нормативные документы имеют нумерацию, следовательно определенную структуру. Например, они структурированы на стандарты, нормы и правила, технические условия, руководства, рекомендации, инструкции, положения, а также классифицируются по ведомственной принадлежности, уровню применения, области действия, типу и другие категории. С одной стороны, это значительно снижает трудоемкость поиска, так как с точки зрения теории алгоритмов поисковая система может быть организована по динамическому алгоритму, то есть с разделением на

подзадачи и для упрощения в виде линейного алгоритма. Но, с другой стороны, возникает проблема соответствия заданным ключевым словам также огромного количества документов, содержащих эти слова в другом контексте. Неопределенность имеется и в количестве слов, достаточности такого набора слов, количественном содержании в документах, соотношении количества повторений между словами. Следовательно, ключевые слова в данном случае несут свойство неопределенности, а для формализации этого понятия и свойств используется теория нечетких множеств. Для решения широкого круга конкретных задач используется практическое приложение ТНМ – нечеткая логика. Таким образом, можно определить, что для решения задачи следует использовать алгоритм динамического типа, чтобы, поэтапно выполняя поиск, значительно сократить объемы в дальнейшем анализируемых документов, алгоритм предпочтительно линейный, а на заключительном или одном из заключительных этапов предусмотреть подсистему интеллектуального поиска на основе нечеткой логики.

Содержательная постановка задачи. Содержательная постановка задачи предназначена для неформального описания физического смысла, назначения, действий, параметров задачи, что позволяет в дальнейшем выполнить корректные математическое описание и алгоритм решения. Так, в рассматриваемой системе поиск должен выполняться в несколько этапов, спускаясь по заданным уровням иерархической классификации документов. Но возможны случаи, когда признаки поиска на первых этапах могут быть не заданы. Это увеличивает трудоемкость поиска на других этапах. Одним из вариантов может быть поиск по разделу «ключевые слова», который является обязательным для нормативных документов. Следует сказать, что, как правило, пользователь располагает только ключевыми словами, которые и будет задавать. Следовательно, основным параметром задачи поиска будет набор ключевых слов. Следует определить значение и диапазон изменения такого параметра в процессе поиска. Очевидно, это будет число повторений ключевых слов в тексте документа. Но не абсолютное значение, а относительное, например процентное содержание от общего количества слов в документе [14].

Использование одного параметра не дает достаточно точной идентификации, так как повториться может много раз одно или два слова, а весь текст не будет соответствовать запросу, поэтому необходимо определить как минимум еще один параметр. Определим его исходя из следующих соображений. В большинстве поисковых систем предусмотрена функция расширенного поиска, когда задается больше ключевых слов или фраз, поэтому может быть информативен показатель охвата расширенного перечня слов. Очевидно, и этот параметр должен измеряться в процентах от количества слов, но не в тексте документа, а в расширенном списке. Для этого параметра следует определить диапазон изменения количества слов в списке.

Выходной параметр определяется исходя из назначения системы – это должна быть степень соответствия документа параметрам запроса. Наиболее удобно задать его методом шкалирования [7], например по пятибалльной шкале от 0 до 5.

На основании изложенного формируются следующие этапы решения задачи.

Разработка нечетких функций принадлежности. Для разработки нечетких функций принадлежности следует формализовать параметры задачи с использованием лингвистических переменных.

Определение входных переменных. Как было определено выше, первой переменной будет показатель «Повторение ключевых слов» (ПКС),%. В терминах ТНМ и с числовыми параметрами задачи она будет записана следующим образом:

$$\text{ПКС} = \{\text{Мин, М, Ср, Б, Мах}\}, \quad (1)$$

где Мин – минимальное, от 0 до 20; М – малое, от 10 до 40; Ср – среднее, от 30 до 60; Б – большое, от 50 до 80; Мах – максимальное, от 70 до 100.

Вторая входная переменная показывает степень охвата расширенного перечня слов или «Охват перечня слов» (ОПС), %, и записана будет аналогично:

$$\text{ОПС} = \{\text{Мин, М, Ср, Б, Мах}\}, \quad (2)$$

где Мин – минимальное, от 0 до 20; М – малое, от 10 до 40; Ср – среднее, от 30 до 60; Б – большое, от 50 до 80; Мах – максимальное, от 70 до 100.

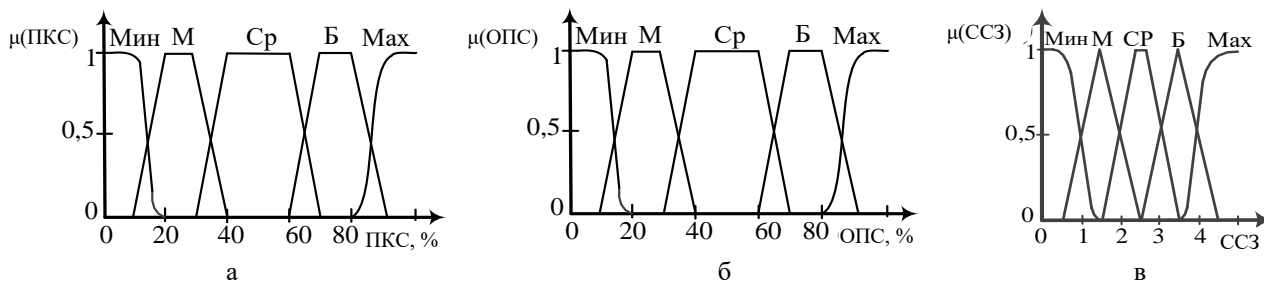


Рис. 1. Переменные задачи интеллектуального поиска нормативных документов: а – «Повторение ключевых слов» (ПКС); б – «Охват перечня слов» (ОПС); в – «Степень соответствия запросу» (ССЗ)

Fig. 1. Variables of the intelligent search for regulatory documents: а is “Keyword repetition” (ПКС); б is “Scope of a list of words” (ОПС); в is “Query relevance” (ССЗ)

Таблица 1. База правил нечеткой продукции
Table 1. The base of fuzzy product rules

Значение ПКС, %	Функция ССЗ при значении ОПС				
	Мин	М	Ср	Б	Мах
Мин	Мин	Мин	М	Ср	Ср
М	Мин	М	Ср	Ср	Ср
Ср	М	М	Ср	Б	Б
Б	М	Ср	Б	Б	Мах
Мах	Ср	Ср	Б	Мах	Мах

Определение выходной переменной. Выходная переменная будет показывать «Степень соответствия запросу» (ССЗ) и ее формула имеет вид

$$\text{ССЗ} = \{\text{Мин, М, Ср, Б, Мах}\}, \quad (3)$$

где Мин – минимальное, от 0 до 1,5; М – малое, от 0,5 до 2,5; Ср – среднее, от 1,5 до 3,5; Б – большое, от 2,5 до 4,5; Мах – максимальное, от 3,5 до 5.

В графическом виде переменные задачи показаны на рис. 1.

Разработка базы правил нечеткой продукции. Для выполнения нечеткого вывода использован наиболее распространенный способ Мамдани, для которого требуется разработать базу правил нечеткой продукции. Правила нечеткой продукции имеют следующий вид:

ЕСЛИ ПКС = «Минимальное» И
ОПС = «Минимальное» ТО ССЗ = «Минимальное».

ЕСЛИ ПКС = «Малое» И
ОПС = «Большое» ТО ССЗ = «Среднее».

Аналогично строятся правила и для других соотношений переменных.

В практике нечеткой логики база правил может быть необязательно полной, включающей все сочетания переменных, но для большей точности для данной задачи база правил разработана в полном объеме и приведена в табл. 1.

Реализация нечеткой системы в среде MATLAB.
 Нечеткая система реализована в среде FuzzyLogicDesigner приложения MATLAB [12]. На рис. 2 приведена последовательность процедур нечеткого вывода и по-

лучения результирующей функции степени соответствия запросу $CC3 = f(ПКС, ОПС)$. Созданная нечеткая система сохранена в файле Standart.fis.

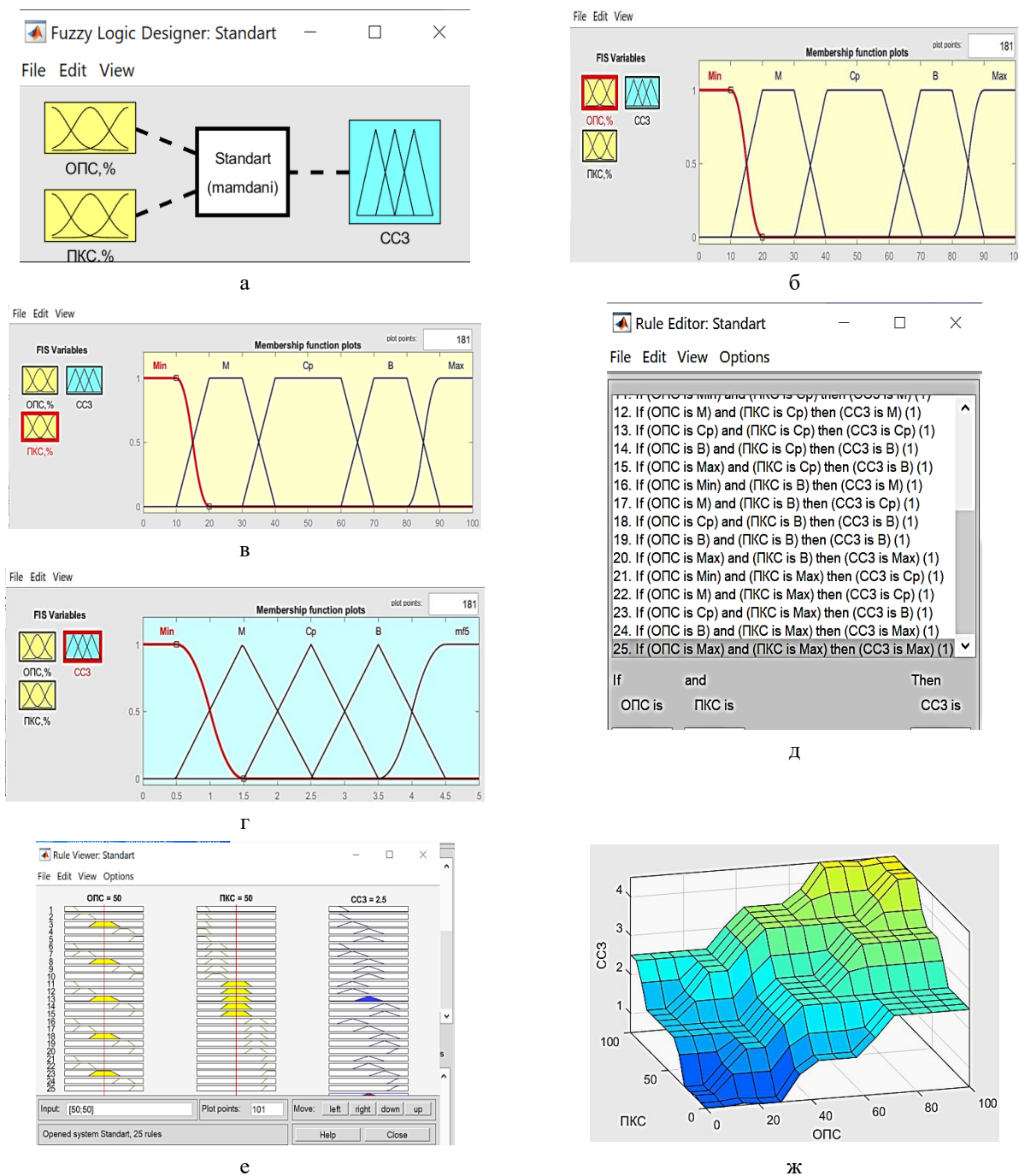


Рис. 2. Процедура нечеткого вывода и получения результирующей функции $CC3 = f(ПКС, ОПС)$: а – схема нечеткого вывода; б – задание лингвистическая переменная ОПС; в – задание лингвистической переменной ПКС; г – задание выходной лингвистической переменной CC3; д – создание базы правил; е – просмотр правил и результатов нечеткого вывода в приложении RuleViewer; ж – график результирующей функции $CC3 = f(ПКС, ОПС)$

Fig. 2. The procedure for fuzzy inference and obtaining resulting function $CC3 = f(ПКС, ОПС)$: a is a fuzzy inference scheme; б is setting linguistic variable ОПС; в is setting linguistic variable ПКС; г is setting output linguistic variable CC3; д is creating a database of rules; е is viewing the rules and results of fuzzy inference in the Rule Viewer application; ж is a graph of resulting function $CC3 = f(ПКС, ОПС)$

Разработка подпрограммы оценки соответствия запросу в среде Simulink. Для практического применения нечеткой системы разработана подпрограмма оценки соответствия запросу, которая может использоваться в основном алгоритме для заключительного этапа оценки текста документа. Реализация этого модуля «Ozenka» выполнена в среде Simulink [12] (рис. 3). Программа работает следующим образом. В основном алгоритме выполняется анализ документов и рассчитываются значения переменных ПКС, ОПС. Затем они подаются на вход модуля «Ozenka». В данном случае для ввода исходных данных использованы блоки Constanta, в которые эти данные задаются пользователем.

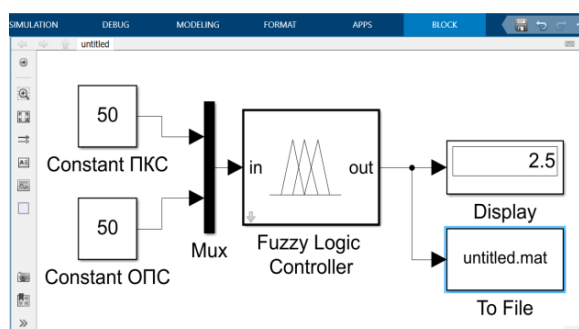


Рис. 3. Подпрограмма оценки соответствия запросу «Ozenka» в Simulink-формате

Fig. 3. The subroutine for assessing compliance with the query "Ozenka" in the Simulink format

Сигналы из блоков Constant поступают на мультилексор Mux, где они формируются в вектор для последовательной передачи в блок FuzzyLogicController. Здесь выполняется расчет оценки и ее значение передается на виртуальный дисплей – это блок Display. На рис. 3 в блоках Constant показаны значения исходных данных переменных ПКС и ОПС по 50%, а на дисплее выведено расчетное значение степени соответствия запросу, равное 2,5, что является точным соответствием объективной оценки.

Заключение

1. Предложена нечеткая система для интеллектуального поиска нормативных документов из различных баз данных.

2. Для практического использования результатов нечеткая система программно реализована в среде приложений MATLAB+FuzzyLogicDesigner и в виде отдельной подпрограммы в Simulink-формате оценки текста для основного алгоритма поиска.

3. Задача оценки соответствия текста параметров запроса решена в общем виде, поэтому является достаточно универсальной и в зависимости от заданного набора ключевых слов может быть рекомендована для поиска и оценки документов любого типа.

Список источников

1. Statista. URL: <https://www.statista.com>. (дата обращения: 12.12.2023).
2. Белта. URL: <https://www.belta.by>. (дата обращения: 12.12.2023).
3. Интегрированная система информационных ресурсов. URL: <http://isir.ras.ru> (дата обращения: 12.12.2023).
4. Национальная электронная библиотека. URL: <http://www.natlib.ru/> (дата обращения: 12.12.2023).
5. Электронная библиотека «Научное наследие России». URL: <http://nasledie.enip.ras.ru/index.html> (дата обращения: 12.12.2023).
6. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. URL: <https://www.rst.gov.ru/> (дата обращения: 12.12.2023).
7. Piegat A. Fuzzy Modeling and Control. Heidelberg, Physica-Verlag, 2001. 760 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.
8. Федун Б.Е. Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня для антропометрических объектов (примеры для пилотируемых летательных аппаратов). М.: Де Либри, 2018. 246 с.
9. Нечеткое моделирование процесса естественной рекультивации нарушенных земель / Побединский В.В., Анянова Е.В., Ковалев Р.Н., Иовлев Г.А. // Resources and Technology. 2022. Т. 19. №1. С. 114-128.
10. Интеллектуальная система определения темпа потока при проектировании дорожных покрытий / Побединский В.В., Булдаков С.И., Кручинин И.Н., Ляхов С.В., Анастас Е.С., Карабутова И.А. // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. №4. С. 31-41.
11. Корчунов А.Г. Моделирование трансформации показателей качества металлических изделий в процессах обработки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2009. №1. С. 76-78.
12. Хултен Джеф. Разработка интеллектуальных систем / пер. с англ. В.С. Яценкова. М.: ДМКПресс, 2019. 284 с.
13. MATLAB Release Notes for R20013b. MathWorks. URL: <https://www.mathworks.com>. (дата обращения: 15.10.2023).
14. Применение алфавитного подхода для определения количества информации, содержащейся в стандартах / Казанцева Т.В., Казанцева Н.К., Полякова М.А., Пиджакова Е.Н., Александров В.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2022. Т. 20. №4. С. 83-94.

References

1. Statista. Available at: <https://www.statista.com> (Accessed on December 12, 2023).
2. Belta. Available at: <https://www.belta.by>. (Accessed on December 12, 2023).
3. Integrated Information Resource System. Available at: <http://isir.ras.ru> (Accessed on December 12, 2023).

4. National Electronic Library. Available at: <http://www.natlib.ru/> (Accessed on December 12, 2023).
5. Electronic library "Scientific Heritage of Russia". Available at: <http://nasledie.enip.ras.ru/index.html> (Accessed on December 12, 2023).
6. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. Available at: <https://www.rst.gov.ru/> (Accessed on December 12, 2023).
7. Piegat A. Fuzzy modeling and control: monograph. Heidelberg, Physica-Verlag, 2001, 760 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-1824-6>.
8. Fedunov B.E. Bortovye intellektualnye sistemy takicheskogo urovnya dlya antropometricheskikh obektov (primery dlya pilotiruemykh letatelnykh apparatov) [Onboard tactical-level intelligent systems for anthropometric objects (examples for manned aircraft)]. Moscow: De Libri, 2018, 246 p. (In Russ.)
9. Pobedinskiy V.V., Anyanova E.V., Kovalev R.N., Iovlev G.A. Fuzzy modeling of disturbed lands natural revegetation. Resources and Technology. 2022;19(1):114-128. (In Russ.)
10. Pobedinskiy V.V., Buldakov S.I., Kruchinin I.N., Lyakhov S.V., Anastas E.S., Karabutova I.A. An intelligent system for determining the flow rate when designing road surfaces. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost* [Woodworking Industry]. 2021;(4):31-41. (In Russ.)
11. Korchunov A.G. Simulation of the transformation of metalware quality indicators in treatment processes. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2009;(1):76-78. (In Russ.)
12. Hulten G. *Razrabotka intellektualnykh sistem* [Building intelligent systems]. Moscow: DMK Press, 2019, 284 p. (In Russ.)
13. MATLAB Release Notes for R20013b. MathWorks. Available at: <https://www.mathworks.com>. (Accessed on October 15, 2023).
14. Kazantseva T.V., Kazantseva N.K., Polyakova M.A., Pidzhakova E.N., Aleksandrov V.A. Applying an alphabetical approach to determine the amount of information contained in standards. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2022;20(4):83-94. (In Russ.)

Поступила 10.01.2024; принята к публикации 15.02.2024; опубликована 28.03.2024
Submitted 10/01/2024; revised 15/02/2024; published 28/03/2024

Побединский Владимир Викторович – доктор технических наук, профессор, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия.
Email: pobedinskiyv@mail.ru. ORCID 0000-0001-6318-3447

Полякова Марина Андреевна – доктор технических наук, профессор, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
Email: m.polyakova@magtu.ru. ORCID 0000-0002-1597-8867

Казанцева Татьяна Владимировна – старший преподаватель, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия.
Email: t.v.kazantseva@urfu.ru. ORCID 0000-0001-7051-614X

Казанцева Надежда Константиновна – кандидат технических наук, доцент, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия.
Email: n.k.kazantseva@urfu.ru. ORCID 0000-0001-9430-9604

Иовлев Григорий Александрович – кандидат экономических наук, Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия. Email: gri-iovlev@yandex.ru. ORCID 0000-0002-1837-3222

Vladimir V. Pobedinskiy – DrSc (Eng.), Professor, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.
Email: pobedinskiyv@mail.ru. ORCID 0000-0001-6318-3447

Marina A. Polyakova – DrSc (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. Email: m.polyakova@magtu.ru. ORCID 0000-0002-1597-8867

Tatiana V. Kazantseva – Senior Lecturer, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia. Email: t.v.kazantseva@urfu.ru. ORCID 0000-0001-7051-614X

Nadezhda K. Kazantseva – PhD (Eng.), Associate Professor, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia.
Email: n.k.kazantseva@urfu.ru. ORCID 0000-0001-9430-9604

Grigory A. Iovlev – PhD (Economics), Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia.
Email: gri-iovlev@yandex.ru. ORCID 0000-0002-1837-3222