

АБДУЛЛАЕВ Н.Т.,

д.т.н., доцент, Азербайджанский Технический Университет, г. Баку, Азербайджанская Республика,
e-mail: nabdullayev.46@mail.ru

ПАШАЕВА, К.Ш.,

к.т.н., доцент, Бакинская Высшая Школа Нефти, г. Баку, Азербайджанская Республика,
e-mail: is_kamalya@yahoo.com

МУСЕВИ У.Н.,

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности, г. Баку,
Азербайджанская Республика

НЕЧЕТКАЯ ЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПАРАЗИТАРНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОГО ТРАКТА

DOI: 10.25881/ITP.2021.96.89.006

Аннотация.

Диагностика заболеваний при неточности признаков и симптомов является основанием для проектирования нечеткой логической медицинской системы. Нечеткие логические выводы представляют собой способ обработки информации на базе экспертных правил, задаваемых в нечетком виде. Рассматривается возможность использования нечеткой экспертной системы в медицинской диагностике в области паразитарных заболеваний желудочно-кишечного тракта. Рассматривается нечеткая диагностическая система для диагностирования энтеробиоза, как одного из самых распространенных детских паразитарных заболеваний желудочно-кишечного тракта. С этой целью выявлены основные симптомы заболевания энтеробиозом. Разработан алгоритм функционирования нечеткой экспертной системы для диагностики паразитарных заболеваний желудочно-кишечного тракта. Используется база знаний нечеткой экспертной системы диагностики, состоящей из структурированной информации. Затем осуществляется процесс преобразования входных данных в лингвистические переменные с помощью функции принадлежности в нечеткой базе знаний. С этой целью выбран треугольный тип фаззификатора. Определен интервал нечетких значений лингвистических переменных. Разработана структура нечетких правил для диагностирования энтеробиоза. На следующем этапе с помощью механизма нечеткого вывода входные данные отображаются в их соответствующие весовые коэффициенты и связанные с ними лингвистические переменные для определения их принадлежности. На последнем этапе дефаззификации осуществляется процесс преобразования нечетких выходных данных в четкое значение с помощью механизма вывода.

Проверка работы предложенной системы реализована на примере конкретного пациента и уточнена тяжесть его заболевания.

Предложенная нечеткая логическая система обеспечивает достаточно быстрый метод диагностики и может служить подтверждением первичного диагноза врача-эксперта.

Ключевые слова: нечеткая логика, медицинская диагностика, желудочно-кишечный тракт, симптомы болезни, алгоритм функционирования, дефаззификация, центр тяжести.

Для цитирования: Абдуллаев Н.Т., Пашаева К.Ш., Мусеви У.Н. Нечеткая логическая система для повышения точности диагностирования паразитарных заболеваний желудочно-кишечного тракта. Врач и информационные технологии. 2021; 1: 63–74. doi: 10.25881/ITP.2021.96.89.006.

ABDULLAYEV N.T.,

DSc, Associate Professor, Azerbaijan Technical University, Baku, Republic of Azerbaijan,
e-mail: nabdullayev.46@mail.ru

PASHAYEVA K.SH.,

PhD, Associate Professor, Baku Higher School of Oil, Baku, Azerbaijan, e-mail: is_kamalya@yahoo.com

MUSEVI U.N.,

Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Republic of Azerbaijan

FUZZY LOGIC SYSTEM FOR INCREASING DIAGNOSTIC ACCURACY PARASITIC DISEASES OF THE GASTROINTESTINAL TRACT

DOI: 10.25881/ITP.2021.96.89.006

Abstract.

Diagnosing diseases with inaccurate signs and symptoms is the basis for designing a fuzzy logic medical system. Fuzzy inference is a method of processing information based on expert rules set in a fuzzy form. The article discusses the possibility of applying a fuzzy expert system for diagnosing gastrointestinal parasitic diseases. The authors consider a fuzzy logic system for diagnosing enterobiasis, one of the most common paediatric gastrointestinal parasitic diseases. For this purpose, the authors revealed the key symptoms of enterobiasis and developed an algorithm for the functioning of a fuzzy expert system to diagnose gastrointestinal parasitic diseases. The algorithm applied the knowledge base of a fuzzy expert diagnostic system, where the base provides structured information. The process then converted the input data into linguistic variables, conducted using the membership function in the fuzzy knowledge base. A triangular fuzzifier type was selected to complete the converting process, after which the study determined the interval of fuzzy values of the linguistic variables. The structure of fuzzy rules for diagnosing enterobiasis was then developed. In the next step, the fuzzy inference engine directed the input data to be mapped into their respective weights and associated linguistic variables to determine their belonging. The last step of defuzzification was the process of converting the fuzzy output to a crisp value using an inference engine.

The operation of the proposed system was implemented using the example of a patient where the developed system specified the severity of his disease.

The proposed fuzzy logistic system provides a reasonably fast diagnostic method and can serve as a confirmation of the primary diagnosis of a specialized doctor.

Keywords: *fuzzy logic, medical diagnostics, gastrointestinal tract, disease symptoms, functioning algorithm, defuzzification, center of gravity.*

How to cite: *Abdullaev N. T., Pashayeva K. Sh., Musevi U. N. Fuzzy Logic system for improving the accuracy of diagnosing parasitic diseases of the gastrointestinal tract. Medical doctor and information technology. 2021; 1: 63–74. (In Russ.). doi: 10.25881/ITP.2021.96.89.006.*

ВВЕДЕНИЕ

Информационные составляющие, характеризующиеся нечеткостью, определяются особенностями медицинской предметной области. Среди них в первую очередь следует назвать [1]:

- Субъективные сведения, сообщаемые больным, которые могут искажаться под воздействием рефлексивной системы пациента;
- Данные объективно-субъективного обследования больного врачом (субъективность определяется опытом и знаниями медицинских работников, определяющих направление физикального осмотра);
- Результаты заключений по проведенным инструментальным и лабораторным исследованиям (на различной аппаратуре);
- Образные визуальные представления (рефлексия «правополушарного» врача) на основе прецедентов и литературных знаний;
- Гипотезы (выбор с учетом полученных данных и собственной рефлексии врача).

Нечеткость и вероятность моделируют разные типы неопределенности (uncertainty) и взаимно дополняют друг друга. Нечеткие и вероятностные вербальные определения могут быть представлены в виде лингвистической шкалы [2; 3]:

- очень похоже или скорее всего (очень вероятно);
- нельзя исключить или весьма вероятно;
- можно заподозрить (предположить) или вероятно наличие;
- сомнительно, но не исключено или мало вероятно;
- крайне мало похоже или очень мало вероятно.

Нечеткие логические выводы представляют собой способ обработки информации на базе экспертных правил, задаваемых в нечетком виде. Нечеткие логические выводы создают модель приближенных рассуждений человека. Мера доверия или уверенности представляет собой неформальную оценку эксперта, присоединяемую к его заключению в форме «вероятно это так», почти наверняка это так» или «это совершенно невероятно».

Главные преимущества нечетких систем:

- возможность оперировать нечеткими входными данными;

- возможность нечеткой формализации критериев оценки и сравнения;
- возможность осуществления качественных оценок как входных, так и выходных данных;
- возможность быстрого моделирования динамических систем с заданной степенью точности.

Несмотря на повышенную тенденцию использования нечеткой экспертной системы в медицинской диагностике, не так часто можно встретить такие системы в области паразитарных заболеваний.

В [4] автор предлагает нечеткую экспертную систему для диагностики малярии. Она проста в использовании, портативная, недорогая и делает диагностику малярии более быстрой и точной. Она поддерживает практикующих врачей и помогает исследователям малярии справляться с расплывчатостью, неточностью и трудоемкостью традиционной лабораторной диагностики малярии, а также предоставлять точные выходные данные на основе входных данных.

В статье [5] представлена нечеткая экспертная система по борьбе с малярией (FESMM), которая предоставляет платформу поддержки принятия решений исследователям малярии, врачам и другим практикующим врачам в эндемичных по малярии регионах. Разработанный FESMM состоит из четырех компонентов, которые включают компоненты базы знаний, фазификации, механизма вывода и дефазификации. Метод нечеткого вывода, используемый в этом исследовании, — это квадрат корней суммы (RSS), который использовался для вывода данных из разработанных нечетких правил. Треугольная функция принадлежности использовалась, чтобы показать степень участия каждого входного параметра, а техника дефазификации, используемая в этом исследовании, — это центр тяжести (ЦТ). Нечеткая экспертная система была разработана на основе клинических наблюдений, медицинского диагноза и знаний экспертов.

Авторы [6] используют нейро-нечеткую систему для автоматизации исследования стула. Внедрили алгоритм принятия решений, основанный на знаниях, чтобы предложить как диагноз, так и соответствующую терапию. Схема

рассуждений и автоматизированный осмотр стулов интегрированы в одну систему с удобным пользовательским интерфейсом.

Fatumo и др. [7] разработали и внедрили медицинскую диагностическую экспертную систему для различных видов осложнений малярии и брюшного тифа под названием XpertMalTyph. Система основана на программировании JESS (Java Expert System Shell). В качестве инструмента реализации использовался язык программирования Java, а его серверная страница Java делает экспертную систему веб-приложением. В качестве движка базы данных использовался MySQL, интегрированный с JESS. Различные используемые модули были интегрированы из единого веб-интерфейса.

Nkuma-Udah и др. [8] представили экспертную систему медицинской диагностики для точной диагностики малярии и определения связанных с ней заболеваний в развивающихся странах на примере Нигерии. Экспертная система была разработана с использованием CLIPS. Врачи и пациенты протестировали систему и дали отзывы о возможных важных дополнениях к приложению системы. Система собирала информацию только в виде симптомов для постановки диагноза: с помощью этого инструмента невозможно провести клиническое обследование.

Saha и др. [9] представили автоматизированную систему медицинской диагностики кишечных паразитозов. Авторы объединили технику распознавания паразитов с преобразованием Хафа (Hough transform), чтобы извлечь черты паразита на микроскопических изображениях. Вероятностная нейронная сеть, используемая для распознавания паразитов, достигла 100% скорости распознавания. Однако их система была ограничена стадией классификации, но может быть расширена до предложений по диагностике и лечению.

Широко известно, что заболевания желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), связанные с паразитами, являются очень опасными. Достаточно отметить, что каждый год умирает более миллиона человек от этих заболеваний [10; 11]. Это связано не только с быстрыми развивающимися свойствами, но и с очень хорошей функцией адаптации паразитов, а также и в близости симптомов, описывающих эти

заболевания. Помимо этого, паразитарные заболевания относятся к числу заболеваний, где нужно получить быстрый диагностический результат, но иногда традиционные методы анализа дают результаты более чем через 24 часа, и это может быть решающим фактором в человеческой смерти.

Метод проведения работы. Предложенная нечеткая диагностическая система для диагностирования энтеробиоза учитывает все возможные варианты диагностирования, прост в использовании и дает быстрый ответ.

Отметим, что симптомы часто повторяются для разных заболеваний и эти симптомы в основном лингвистические. С другой стороны, несмотря на близость симптомов, каждая болезнь требует разные процедуры лечения.

Энтеробиоз является самым распространенным заболеванием среди детей (Рис. 1). По имеющимся в педиатрии эпидемиологическим данным, энтеробиозом страдает 20% детей дошкольного возраста и 50–90% школьников. Энтеробиоз у детей является повсеместно распространенной паразитарной инфекцией. В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что энтеробиоз способствуют более частому возникновению целого ряда соматических заболеваний у детей и обострению хронической патологии [12]. В таблице 1 приведены основные симптомы заболевания.

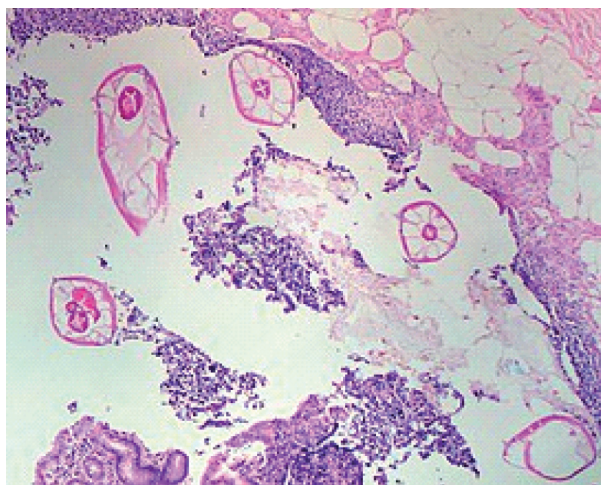


Рис. 1 – Энтеробиоз.

Таблица 1

Симптомы Энтеробиоза	
1.	Интенсивность инвазии
2.	Нарушения перистальтики кишечника
3.	Голодание
4.	Стресс
5.	Боли, вздутие и урчание в животе
6.	Рвота, тошнота
7.	Дисбактериоз
8.	Потеря аппетита
9.	Аллергия
10.	Спазм, зуд и болезненность толстого кишечника
11.	Бессонница
981	

НЕЧЕТКИЙ НАБОР

Нечеткое множество — это любой набор, который позволяет его членам иметь различные степени функции принадлежности в интервале $[0, 1]$. Нечеткое множество можно применять в генеалогических исследованиях, когда человек ищет жизненно важные записи. Нечеткая функция принадлежности $\mu_A(x)$ указывает степень принадлежности к некоторому элементу x универсального множества X . Нечеткое множество сопоставляет каждый элемент x со степенью принадлежности от 0 до 1 в различных формах, таких как треугольная, трапецеидальная, сигмоидальная и гауссовская [13; 14].

В данной работе используется треугольная функция принадлежности, которая рассчитывается следующим образом:

$$\begin{cases} 0 & \text{if } x \leq a \\ \frac{x-a}{c-a} & \text{if } x \in [a, c] \\ \frac{b-x}{c-b} & \text{if } x \in [c, b] \\ 0 & \text{if } x \geq c \end{cases} .$$

Алгоритм функционирования нечеткой экспертной системы для диагностики паразитарных заболеваний ЖКТ в пошаговом режиме имеет следующий вид:

Шаг 1: Введите в систему признаки и симптомы по жалобам пациента, где m — количество признаков и симптомов.

Шаг 2: Найдите в базе знаний болезни, признаки и симптомы, которые определены.

Шаг 3: Получите весовые коэффициенты (wf) (соответствующие степени интенсивности) $wf = 1, 2, 3, 4$; где 1 — низкий, 2 — средний, 3 — высокий, 4 — очень высокий уровень.

Шаг 4: Примените нечеткие правила.

Шаг 5: Пошагово сопоставьте нечеткие входные данные с соответствующими весовыми коэффициентами, чтобы определить степень их принадлежности.

Шаг 6: Определите оценку базы правил (не минимальные значения).

Шаг 7: Определите решающую (заключительную) силу правила P .

Шаг 8: Вычислите степень истинности R каждого правила, оценив ненулевое минимальное значение.

Шаг 9: Вычислите интенсивность заболевания.

Шаг 10: Пошаговый вывод нечеткой диагностики.

БАЗА ЗНАНИЙ

Знания — ключевой фактор в работе интеллектуальных систем. База знаний — это особый вид базы данных для управления знаниями, которая предоставляет средства для сбора, организации, обмена, поиска и использования информации. Другими словами, база знаний действует как хранилище информации в экспертной системе. База знаний нечеткой экспертной системы диагностики состоит из структурированной информации. Структурированные знания связаны с фактами, правилами и событиями паразитарных болезней и нечеткими правилами, которые будут использоваться для определения скорости заболевания.

ФАЗЗИФИКАЦИЯ

Это процесс преобразования четких входных данных в лингвистические переменные с помощью функции принадлежности в нечеткой базе знаний. Существует три типа фаззификаторов: трапецевидный фаззификатор, треугольный фаззификатор и гауссовский фаззификатор. В основном использовано треугольный

фаззификатор для изменения скалярного значения на нечеткое множество, которое находится в диапазоне от 0 до 1. В другом термине фаззификацию можно рассматривать как операцию преобразования четкого набора в нечеткое множество или нечеткого набора в нечеткое «установлен.» Четкий ввод (то есть измеренное значение) переводится в лингвистическую переменную [5].

Чтобы получить степень симптома, воспользуемся формулой:

$$L_s = X_i / X_n . \quad (1)$$

Здесь: L_s — степень симптома, X_i — номер лингвистической переменной, X_n — общее количество лингвистических переменных.

Эта формула используется для подготовки треугольной нечеткой таблицы. Например, если пациент жалуется на сильную головную боль, это оценивается как $3/4 = 0,75$.

ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ

Под лингвистическими переменными мы понимаем переменные, значения которых являются словами или предложениями на естественном или искусственном языке. В этой работе используются следующие лингвистические переменные: 1 — низкий, 2 — средний, 3 — высокий и 4 — очень высокий. При использовании этих лингвистических переменных будут созданы нечеткие IF THEN RULES, которые являются основным выходом нечеткой системы и обычно представлены в форме:

ЕСЛИ x равно a , ТО y равно b (таблица 2).

Структуру нечетких правил для диагностики энтеробиоза дано в таблице 2.

Структуру нечетких правил для диагностики энтеробиоза Интерпретация приведенных выше правил с 001 по 020 заключается в следующем.

001: IF интенсивность инвазии = средний (и нарушения перистальтики кишечника = высокий, и голодание = высокий, и спазм, зуд и болезненность толстого кишечника = очень высокий, и боли, вздутие и урчание в животе = высокий, и рвота, тошнота = высокий, и дисбактериоз = высокий, и потеря аппетита = высокий, и аллергия = высокий, и стресс = высокий, и бессонница = высокий), THEN «Энтеробиоз» = очень высокий;

002: IF интенсивность инвазии = средний (инаршенияперистальтикикишечника=низкий, и голодание = высокий, и спазм, зуд и болезненность толстого кишечника = высокий, и боли, вздутие и урчание в животе = низкий, и рвота, тошнота = высокий, и дисбактериоз = низкий, и потеря аппетита = средний, и аллергия = низкий, и стресс = низкий, и бессонница = высокий), THEN «Энтеробиоз» = высокий;

003: IF интенсивность инвазии = средний (и нарушения перистальтики кишечника = низкий, и голодание = высокий, и спазм, зуд и болезненность толстого кишечника = средний, и боли, вздутие и урчание в животе = низкий, и рвота, тошнота = средний, и дисбактериоз = низкий, и потеря ап петита = низкий, и аллергия = низкий, и стресс = низкий, и бессонница = средний), THEN «Энтеробиоз» = средний;

004: IF интенсивность инвазии = низкий (инаршения перистальтики кишечника = низкий, и голодание = высокий, и спазм, зуд и болезненность толстого кишечника = низкий, и боли, вздутие и урчание в животе = низкий, и рвота, тошнота = низкий, и дисбактериоз = низкий, и потеря аппетита = низкий, и аллергия = низкий, и стресс = высокий, и бессонница = низкий), THEN «Энтеробиоз» = низкий;

005: IF интенсивность инвазии = средний (инаршения перистальтики кишечника = средний, и голодание = очень высокий, и спазм, зуд и болезненность толстого кишечника = низкий, и боли, вздутие и урчание в животе = низкий, и рвота,

Таблица 2 – Интервал нечетких значений

Лингвистические переменные	Нечеткие значение
Низкий	$0.1 \leq x < 0.3$
Средний	$0.3 \leq x < 0.6$
Высокий	$0.6 \leq x < 0.8$
Очень высокий	$0.8 \leq x \leq 1.0$

Таблица 3 – Структуру нечетких правил для диагностики энтеробиоза

Лингвистические переменные	IF											THEN
	Интенсивность инвазии	Нарушения перистальтики кишечника	Голодание	Спазм, зуд и болезненность толстого кишечника	Боли, вздутие и урчание в животе	Рвота, тошнота	Дисбактериоз	Потеря аппетита	Аллергия	Стресс	Бессонница	
001	0,5	0,75	0,75	1,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	очень высокий
002	0,5	0,25	0,75	0,75	0,25	0,75	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	высокий
003	0,5	0,25	0,75	0,5	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	средний
004	0,25	0,25	0,75	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	низкий
005	0,5	0,5	1,0	0,25	0,25	0,5	0,5	1,0	0,5	0,25	0,25	очень высокий
006	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	0,75	средний
007	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,5	0,25	0,25	низкий
008	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	средний
009	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,75	0,25	0,25	0,5	0,75	0,5	высокий
010	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	средний
011	0,25	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,5	0,5	0,5	низкий
012	0,75	1,0	1,0	0,75	0,75	0,75	0,75	1,0	0,25	0,5	0,75	очень высокий
013	0,5	0,5	1,0	0,25	0,25	0,5	0,5	1,0	0,5	0,25	0,25	очень высокий
014	0,5	0,25	0,75	1,0	0,75	1,0	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	очень высокий
015	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	0,75	0,25	0,25	0,5	0,25	0,75	высокий
016	0,75	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,5	высокий
017	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,5	0,25	0,5	0,5	0,25	0,25	средний
018	0,5	0,5	0,25	0,5	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	высокий
019	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	очень высокий
020	0,5	0,5	0,75	0,5	0,25	0,75	0,75	0,25	0,5	0,5	0,5	средний

тошнота = средний, и дисбактериоз = средний, и потеря аппетита = очень высокий, и аллергия = средний, и стресс = низкий, и бессонница = низкий), THEN « Энтеробиоз» = очень высокий;

006: IF интенсивность инвазии = средний (и нарушения перистальтики кишечника = низкий, и голодание = средний, и спазм, зуд и болезненность

толстого кишечника = средний, и боли, вздутие и урчание в животе = низкий, и рвота, тошнота = средний, и дисбактериоз = низкий, и потеря аппетита = низкий и аллергия = средний, и стресс = средний, и бессонница = высокий), THEN «Энтеробиоз» = средний;

007: IF интенсивность инвазии = низкий и нарушения перистальтики кишечника = средний,

018: IF интенсивность инвазии = средний (и нарушения перистальтики кишечника = средний, и голодание = низкий, и спазм, зуд и болезненность толстого кишечника = средний, и боли, вздутие и урчание в животе = средний, и рвота, тошнота = высокий, и дисбактериоз = высокий, и потеря аппетита = высокий, и аллергия = высокий), THEN «Энтеробиоз» = высокий;

019: IF интенсивность инвазии = средний (и нарушения перистальтики кишечника = высокий, и голодание = высокий, и спазм, зуд и болезненность толстого кишечника = высокий, и боли, вздутие и урчание в животе = высокий, и рвота, тошнота = высокий, и дисбактериоз = высокий, и потеря аппетита = высокий, и аллергия = высокий), THEN «Энтеробиоз» = очень высокий;

020: IF интенсивность инвазии = средний (и нарушения перистальтики кишечника = средний, и голодание = высокий, и спазм, зуд и болезненность толстого кишечника = средний, и боли, вздутие и урчание в животе = низкий, и рвота, тошнота = средний, и дисбактериоз = высокий, и потеря аппетита = низкий, и аллергия = средний, и стресс = средний, и бессонница = средний), THEN «Энтеробиоз» = средний.

НЕЧЕТКИЙ ДВИГАТЕЛЬ ИНФЕРЕНЦИИ

Механизм вывода — это компьютерная программа, которая пытается получить ответы из базы знаний. Это «мозг», который экспертные системы используют для анализа информации в базе знаний с конечной целью формулирования новых выводов. В механизме нечеткого вывода нечеткие входные данные отображаются в их соответствующие весовые коэффициенты и связанные с ними лингвистические переменные для определения степени их принадлежности. Оператор агрегации используется для расчета степени выполнения правила.

В этой работе нечеткое логическое И используется для оценки совокупной силы срабатывания правил. На практике наборы нечетких правил обычно имеют несколько antecedентов, которые объединяются с использованием нечетких логических операторов, таких как И, ИЛИ и НЕ, хотя их определения имеют тенденцию различаться: И просто использует минимальный вес всех antecedентов, а ИЛИ использует максимальное

значение. Существует также оператор НЕ, который вычитает функцию принадлежности из 1, чтобы получить «дополнительную» функцию. Степень истинности (R) правил определяется для каждого правила путем оценки ненулевых минимальных значений с помощью оператора AND. Механизм вывода оценивает все правила в базе правил и объединяет взвешенные последствия всех релевантных (запущенных) в единый нечеткий набор. В данном исследовании использовалась методика логического вывода — квадрат корня суммы (RSS). RSS задается формулой

$$\sqrt{\sum R^2} = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_n^2} \quad (2)$$

$R_1^2 + R_2^2 + \dots + R_n^2$ — это значения различных правил, которые имеют одинаковый вывод в базе нечетких правил, то есть R = значение правила увольнения. RSS объединяет эффекты всех применимых правил, масштабирует функции с соответствующими величинами и вычисляет «нечеткий» центроид составной области.

ДЕФАЗЗИФИКАЦИЯ

Дефаззификация — это процесс преобразования нечетких выходных данных механизма вывода в четкое значение. То есть выходные данные, полученные от машины вывода в этой работе с использованием квадратного корня из суммы, дефаззифицируются, чтобы получить уровень заболевания. Входными данными для процесса дефаззификации является нечеткое множество, а на выходе процесса дефаззификации — одно число (четкий выход). Существует шесть часто используемых методов дефаззификации.

- Центроид площади (Centroid of area — COA)
- Бисектор площади (Bisector of area — BOA)
- Среднее значение максимума (Mean of maximum — MOM)
- Наименьшее из максимума (Smallest of Mean of maximum — SOM)
- Наибольший из максимальных (Largest of maximum — LOM)
- Нечеткие с-средние (Fuzzy c-means — FCM)

В этой работе для дефаззификации используется техника центра тяжести площади, также называемая центром площади или центром

тяжести. Этот метод был разработан Такаги и Сугено (1985). Это наиболее часто используемый метод из-за его простоты и точности. Метод дефаззификации центроидов можно выразить как

$$X^* = \frac{\int \mu_i(x) \cdot x dx}{\int \mu_i(x) dx}$$

где: X^* — дефаззифицированный результат, $\mu_i(x)dx$ — агрегированная функция принадлежности и x — выходная переменная, т.е. центр функции принадлежности.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проверка предложенной системы на основе примера

Проверку предложенной системы диагностики можно провести на основе примера в реальных случаях. Например, от пациента собраны следующие симптомы, которые дают основания для диагноза энтеробиоза.

В таблице 4 дано симптомы пациента.

С помощью предложенной системы можно уточнить тяжесть заболевания.

Для каждой лингвистической переменной соответствующая выходная функция принадлежности в интервале $[0,1]$ вычисляется из возможных правил с использованием квадратного корня из суммы. Выходные данные механизма вывода дефаззифицируются с использованием центра площади, также называемого центром тяжести, для получения четкого значения.

$$\text{Средний} = \sqrt{R_3^2 + R_8^2 + R_{10}^2 + R_{17}^2 + R_{20}^2} =$$

$$\sqrt{(0,25)^2 + (0,25)^2 + (0,5)^2 + (0,25)^2 + (0,25)^2} =$$

$$\sqrt{0,5625} = 0,75$$

$$\text{Высокий} = \sqrt{R_2^2 + R_9^2 + R_{15}^2 + R_{16}^2 + R_{18}^2} =$$

$$\sqrt{(0,25)^2 + (0,25)^2 + (0,25)^2 + (0,25)^2} =$$

$$\sqrt{0,8125} = 0,8291$$

$$\text{Очень высокий} = \sqrt{R_1^2 + R_5^2 + R_{12}^2 + R_{13}^2 + R_{14}^2 + R_{19}^2} =$$

$$\sqrt{(0,5)^2 + (0,25)^2 + (0,5)^2 + (0,25)^2 + (0,25)^2 + (0,5)^2} =$$

$$\sqrt{0,9375} = 0,9682$$

Для вычисления четкого значения используем метод дефаззификации центроидов как показано в формуле (3)

$$\begin{aligned} \text{Выход } X^* &= (0,4331 \cdot 0,11) + (0,75 \cdot 0,4) + \\ & (0,8291 \cdot 0,62) + (0,9682 \cdot 0,97) / \\ & (0,4331 + 0,75 + 0,8291 + 0,9682) = \\ & 1,8 / 2,98 = 0,604 = 60\% \end{aligned}$$

По полученному результату, у пациента 60%-ный диагноз энтеробиоза, что находится на среднем уровне по нашей лингвистической переменной.

ВЫВОДЫ

Точный медицинский диагноз — один из основных способов сохранить хорошее здо-

Таблица 4

Лингвистические переменные	Нечеткие значение	
Интенсивность инвазии	Средний	0,5
Нарушения перистальтики кишечника	Средний	0,5
Голодание	Средний	0,5
Стресс	Нижний	0,25
Боли, вздутие и урчание в животе	Нижний	0,25
Рвота, тошнота	Средний	0,5
Дисбактериоз	Средний	0,5
Потеря аппетита	Средний	0,5
Аллергия	Средний	0,5
Спазм, зуд и болезненность толстого кишечника	Очень высокий	1,0
Бессонница	Низкий	0,25

Таблица 5

Лингвистические переменные	IF											THEN	Ненулевое минимальное число
	Интенсивность инвазии	Нарушения перистальтики кишечника	Голодание	Спазм, зуд и болезненность толстого кишечника	Боли, вздутие и урчание в животе	Рвота, тошнота	Дисбактериоз	Потеря аппетита	Аллергия	Стресс	Бессонница	Заключение	
001	0,5	-	-	1,0	-	-	-	-	-	-	-	очень высокий	0.5
002	0,5	-	-	-	0,25	-	-	0,5	-	-	-	высокий	0.25
003	0,5	-	-	-	0,25	0,5	-	-	-	-	-	средний	0.25
004	-	-	-	-	0,25	-	-	-	-	0,5	0,25	низкий	0.25
005	0,5	0,5	-	-	0,25	0,5	0,5	-	0,5	-	0,25	очень высокий	0.25
006	0,5	-	0,5	-	0,25	0,5	-	-	0,5	0,5	-	средний	0.25
007	-	0,5	-	-	0,25	-	0,5	-	0,5	-	0,25	низкий	0.25
008	0,5	0,5	0,5	-	0,25	0,5	-	0,5	0,5	0,5	-	средний	0.25
009	0,5	0,5	0,5	-	0,25	-	-	-	0,5	-	-	высокий	0.25
010	0,5	0,5	0,5	-	-	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-	средний	0.5
011	-	0,5	-	-	0,25	-	0,5	--	0,5	0,5	-	низкий	0.25
012	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	очень высокий	0.5
013	0,5	0,5	-	-	0,25	0,5	0,5	-	0,5	-	0,25	очень высокий	0.25
014	0,5	-	-	1,0	-	-	0,5	0,5	0,5	-	0,25	очень высокий	0.25
015	0,5	-	-	-	0,25	-	-	-	0,5	-	-	высокий	0.25
016	-	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	высокий	0.5
017	0,5	0,5	-	-	0,25	0,5	-	0,5	0,5	-	0,25	средний	0.25
018	0,5	0,5	-	-	-	-	-	-	-	0,5	-	высокий	0.5
019	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	очень высокий	0.5
020	0,5	0,5	-	-	0,25	-	-	-	0,5	0,5	-	средний	0.25

ровые и долгую жизнь. В этой работе разработана нечеткая экспертная система для диагностики «энтеробиоза». Это один из лучших способов справиться нечеткостью и неточностью в секторе здравоохранения, и, он будет использовать терпимость неточности, неопределенность и частичную правду для достижения послушности, надежности,

низкой стоимости решения и лучшего отражения реальности в медицинской диагностике. Это, в свою очередь, снизит уровень смертности в тех случаях, когда доступно ограниченное количество врачей, поскольку это обеспечивает очень быстрый метод диагностики с достаточно большой точностью и сокращает количество часов, проводимых пациентами в больнице.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Кобринский Б.А. Нечеткость в медицине и необходимость ее отражения в экспертных системах // Врач и информационные технологии. — 2016. — №5. —С. 6–14. [Kobrinskij BA. Nechetkost' v medicine i neobhodimost' ee otrazheniya v ekspertnyh sistemah. Vrach i informacionnye tekhnologii. 2016; 5: 6–14].
2. Zadeh LA. Towards a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*. 1997; 19(2): 111–127.
3. Zadeh LA. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy sets & Systems*. 1978; 1(1): 3–28.
4. Onuwa A B. Fuzzy Expert System For Malaria Diagnosis. *Oriental Journal of Computer Science and Technology*. Available at: <http://www.computerscijournal.org/?p=1084>.
5. Djam XY, Wajjiga GM, Kimbi YH, Blamah NV. Fuzzy Expert System for the Management of Malaria. *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*. 2011; 5(2): 84–108.
6. Oscar Takam Nkamgang, Daniel Tchiotsop, Hilaire Bertrand Fotsin, Pierre KisitoTalla, Valérie Louis Dorr, Didier Wolf. Automating the clinical stools exam using image processing integrated in an expert system. *Informatics in Medicine Unlocked*. 2019; 15: 100165.
7. Fatumo SA, Emmanuel A, Onalapo JO. Implementation of XpertMalTyph: an expert system for medical diagnosis of the complications of malaria and typhoid. *Journal of Computer Engineering (IOSRJCE)*. 2013; 8 (5): 34–40.
8. Nkuma-Udah KI, Chukwudebe GA. Medical diagnosis expert system for malaria and related diseases for developing countries. *IEEE, 3rd international conference on electro-technology for national development (NIGERCON (2017))*: 24–29.
9. Saha TB, Daniel T, Valérie LD, Didier W. Towards an automated medical diagnosis system for intestinal parasitosis. *Informatics in Medicine Unlocked*. 2018. doi: 10.1016/j.imu.2018.09.004.
10. <https://speakingofmedicine.plos.org/2015/01/16/one-million-deaths-parasites/>
11. <https://www.cdc.gov/parasites/crypto/index.html>
12. <https://p-87.ru/health/enterobioz/>
13. Imianvan AA, Anosike UF, Obi JC. An Expert System for the Intelligent Diagnosis of Hiv Using Fuzzy Cluster Means Algorithm. *Global Journal of Computer Science and Technology*. 2011; 11(12). Version 1.0.
14. Lotfi A. Zadeh. *Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing*. Communication of the ACM. 1994; 37(3): 77–83.