

Разработка модели принятия решения для постановки диагноза заболеваний на основе нечеткой логики

Людмила А. Коробова¹ lyudmila_korobova@mail.ru
Татьяна В. Гладких¹ gtv1113@rambler.ru

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

Аннотация. Целью исследования является компьютерная разработка системы поддержки принятия решений (СППР) на основе обработки статистических данных для диагностики заболеваний. Современный темп жизни практически не оставляет человеку времени для возможности обращения к врачу, порой даже когда человек заболевает. Применительно к медицинскому обслуживанию внедрение и распространение информационных технологий становятся все более востребованными и актуальными. Визит к врачу занимает большое количество времени. На получение любой справки, не говоря уже о реальном обследовании с необходимостью общения с врачом, в некоторых лечебных учреждениях уходит масса времени, нервов и сил. Сегодня современный человек не может позволить себе нерациональное расходование времени. При появлении различных недугов у человека-пользователя возникает потребность в быстрой диагностике состояния здоровья. Здесь появляется проблема в том, чтобы вовремя распознать заболевание, назначить правильное лечение и все же заставить пользователя обратиться к врачу, к специалисту для обследования с помощью специальных медицинских технологий, продолжения диагностики и последующего лечения. В данной работе представлена математическая модель с использованием нечеткой логики, которая стала основой при разработке прикладной программы, предназначенной для проведения первичной диагностики возможного заболевания. Программа выдает рекомендацию для дальнейшего обращения к специалисту. Исходные данные, на основе которых проводилась разработка модели, относятся к глазным заболеваниям. Любое недомогание причиняет неудобство человеку. Заболевание глаз рассматривается как нанесение поражения органических и физических способностей человека, ухудшается острота и четкость зрения. Человек теряет способность к зрительному анализу окружающей действительности. Накоплена огромная статистика, подтверждающая негативное влияние неблагоприятных факторов на зрительные органы человека. Исследуемые статистические данные относятся к области медицины, а именно – глазные заболевания. Данная область исследования и явилась основой рассуждения. Анализ собранных данных показал, что их характер достаточно разноплановый и практически все они имеют только лингвистическое описание. Поэтому для их обработки необходимо было подобрать такой математический аппарат, который бы позволил провести их описание, структурирование и систематизацию. Для этого можно использовать модель на основе нечеткой логики. Таким образом, предметом исследования является анализ статистических данных, проводимый с помощью элементов нечетких множеств, который позволит разработать математическую модель определения класса заболевания. А затем, с помощью прямой цепочки рассуждений установить предполагаемый диагноз, как рекомендация системы поддержки принятия решений. Данный подход к разработке системы поддержки принятия решений для диагностики заболеваний еще не применялся. Задачами исследования является изучение диагностики заболеваний как информационного процесса, анализ статистических данных, описание, структурирование и систематизация данных с помощью элементов нечетких множеств и разработка математической модели с использованием правил вывода. Результатом исследования является информация по установлению принадлежности представленных недугов (симптомов) к классу заболеваний.

Ключевые слова: компьютерная система, диагностика, заболевания, информационный процесс

Development of a decision making model for diagnosing diseases based on fuzzy logic

Lyudmila A. Korobova¹ lyudmila_korobova@mail.ru
Tatyana V. Gladkikh¹ gtv1113@rambler.ru

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Abstract. The aim of the study is computer-aided decision-making support system (DSS) based on statistical data processing for the diagnosis of diseases. The modern pace of life leaves little time for a person to be able to see a doctor, sometimes even when a person falls ill. With regard to medical services, the introduction and dissemination of information technologies are becoming more and more relevant and relevant. A visit to the doctor takes a lot of time. To obtain any information, not to mention the actual examination with the need to communicate with the doctor, in some medical institutions it takes a lot of time, nerves and energy. Today, modern man cannot afford to waste time. With the emergence of various ailments in the human user there is a need for rapid diagnosis of the state of health. The problem here is to recognize the disease in time, prescribe the correct treatment and still force the user to see a doctor, a specialist for examination with the help of special medical technologies, continued diagnosis and subsequent treatment. This paper presents a mathematical model using fuzzy logic, which became the basis for the development of an application program designed to conduct a primary diagnosis of a possible disease. The program issues a recommendation for further treatment to a specialist. Baseline data, on the basis of which the development of the model was carried out, are related to eye diseases. Any discomfort causes inconvenience to the person. Eye disease is considered as a defeat of the organic and physical abilities of a person, sharpness and clarity of vision deteriorate. A person loses the ability to visually analyze the surrounding reality. A huge amount of statistics has been accumulated confirming the negative impact of adverse factors on the human visual organs. The studied statistics are related to the field of medicine, namely eye diseases. This area of research was the basis for consideration. The analysis of the collected data showed that their character is quite diverse and almost all of them have only a linguistic description. Therefore, for their processing it was necessary to choose a mathematical apparatus that would allow for their description, structuring and systematization. To do this, you can use a model based on fuzzy logic. Thus, the subject of research is the analysis of statistical data conducted using elements of fuzzy sets, which will allow to develop a mathematical model for determining the class of the disease. And then, with the help of a direct chain of reasoning, establish a presumptive diagnosis, as a recommendation of a decision support system. This approach to developing a decision support system for diagnosing diseases has not yet been applied. The objectives of the study is to study the diagnosis of diseases as an information process, the analysis of statistical data, description, structuring and systematization of data using elements of fuzzy sets and the development of a mathematical model using the inference rules. The result of the study is information on the determination of the belonging of the ailments (symptoms) to the class of diseases.

Keywords: computer system, diagnostics, diseases, information process

Для цитирования

Коробова Л.А., Гладких Т.В. Разработка модели принятия решения для постановки диагноза заболеваний на основе нечеткой логики // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 80–89. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-80-89

For citation

Korobova L.A., Gladkikh T.V. Development of a decision making model for diagnosing diseases based on fuzzy logic. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 80–89. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-80-89

Введение

Развитие мобильных устройств и различных приложений к ним приучило пользователей к тому, что они могут найти в сети информацию по любой теме и ответ на любой вопрос. Разработка прикладных программных продуктов приучает современного человека к общению со специалистами через мобильные устройства: телефоны, планшеты, смартфоны. Современный темп жизни практически не оставляет человеку времени для обращения к врачу, порой даже когда человек заболевает. Применительно к медицинскому обслуживанию внедрение и распространение информационных технологий становится все более востребованным и актуальным [6–10]. Визит к врачу занимает много времени. Сегодня современный человек не может позволить себе нерациональное расходование времени. При появлении различных недугов у человека-пользователя возникает потребность в быстрой диагностике состояния здоровья. Здесь появляется проблема в том, чтобы вовремя распознать заболевание, назначить правильное лечение и все же заставить пользователя обратиться к врачу, к специалисту для обследования с помощью специальных медицинских технологий. Разработка математической модели с использованием нечеткой логики станет основой разработки прикладной программы, предназначенной для проведения первичной диагностики возможного заболевания [1].

Рассмотрим процесс диагностики заболеваний с целью получения необходимых данных. Модель процесса «Диагностика заболеваний» представлена на рисунке 1 с помощью контекстной диаграммы с использованием методологии проектирования IDEF [1].



Рисунок 1. Контекстная диаграмма процесса диагностики заболеваний

Figure 1. Context diagram of the disease diagnosis process

Диаграмма отображает процесс диагностики заболеваний с учетом автоматизации. На ней представлены основные информационные потоки.

Входная информация:

- симптомы пациента – весь перечень симптомов, которые присутствуют у пациента во время заболевания;
- данные о пациенте для корректной постановки диагноза.

Механизмы:

- база данных; программный модуль диагностики заболеваний – это система поддержки принятия решений, с помощью которой пользователь может провести компьютерную диагностику заболеваний;
- пользователь, осуществляющий компьютерную диагностику заболеваний. База данных должна содержать следующую информацию:
 - статистические данные о заболевших по возрастным группам;
 - статистические данные о заболевших по первичным симптомам;
 - статистические данные о заболевших по возможным причинам возникновения заболевания;
 - список классов заболеваний;
 - список заболеваний;
 - список симптомов;
 - список причин возникновения заболеваний;
 - возрастная шкала.

Управление процессом:

- прямая цепочка рассуждений – это реализация базы знаний клинических исследований диагностики заболеваний;
- модель нечеткого вывода – это правила вывода класса заболевания с использованием статистических данных. В рамках данной работы рассматривается только поток управления, связанный с разработкой модели поддержки принятия решения на основе нечеткой логики и статистических данных.

Выходная информация: возможный диагноз – вывод определенного заболевания как результат обработки данных пациента [2].

Постановка задачи

Для автоматизации процесса диагностики заболеваний необходимо наличие большого количества статистических данных. Их характер достаточно разноплановый, и практически все они имеют только лингвистическое описание. Поэтому для их обработки требуется подобрать такой математический аппарат, который бы позволил провести их описание, структурирование и систематизацию. Для этого предлагается использовать модель на основе нечеткой логики.

Теоретическая часть

Система поддержки принятия решений диагностики заболеваний на основе статистических данных состоит из двух частей.

1) Разработка такой модели, которая на основе статистических данных о заболевании и нечеткой логики позволит оказывать помощь пользователю в вопросе принятия решения.

2) Разработка программной модели для установки диагноза глазных заболеваний с применением прямой цепочки рассуждений [2].

Предлагаемый подход к разработке СППР для диагностики заболеваний еще не применялся, поэтому тема исследования является актуальной.

Для разработки СППР на основе статистических данных необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить особенности процесса компьютерной диагностики;
- 2) провести статистический анализ;
- 3) разработать базу данных для хранения статистических данных;
- 4) разработать программное обеспечение.

Модель принятия решения на основе статистических данных и нечеткой логики базируется на статистическом исследовании и анализе данных о заболевании и включает в себя теорию нечетких множеств А. Заде.

Постановку диагноза можно условно разделить на 2 этапа: первый – определение класса заболевания; второй – постановка непосредственно самого диагноза.

Для рассмотрения процесса постановки диагноза использованы статистические данные, относящиеся к области медицины, а именно к глазным заболеваниям. Использование конкретной предметной области дает возможность сузить направленность исследований, что позволяет детально изучить область заболевания и сделать постановку диагноза более точной. Для того чтобы сузить количество возможных заболеваний, производится их разделение на классы. Это сужает область поиска заболевания.

После определения класса заболевания пользователю предлагается список возможных симптомов, из которых необходимо выбрать имеющиеся у обратившегося к системе пользователя.

В качестве входных переменных математической модели нечеткого вывода выбраны следующие показатели состояния обращающегося к системе пользователя:

- возрастные болезни (Т);
- первичные симптомы (S);
- возможные причины поражения зрения (Р).

Построим функцию принадлежности, основываясь на статистических медицинских данных. Для этого вся информация должна быть систематизирована. Это предусматривает создание списка симптомов с указанием того, как часто каждый симптом встречается при конкретном заболевании [9]. Затем проводим разбиение шкалы симптомов на фиксированные элементарные интервалы.

Пусть у n обращающихся к системе пользователей в некоторый интервал i симптома j k раз был установлен диагноз 1. Используя эти данные, проводим расчет частоты попадания определенного симптома в каждый элементарный интервал заболевания по следующей формуле:

$$f_i = \frac{k_i}{n}. \quad (1)$$

На рисунке 2 представлены статистические данные частоты попадания заболевания в интервал по возрастным группам. На рисунке 3 представлены статистические данные частоты попадания заболевания в интервал по шкале симптомов. На рисунке 4 представлены статистические данные частоты попадания заболевания в интервал по шкале причины возникновения заболевания.

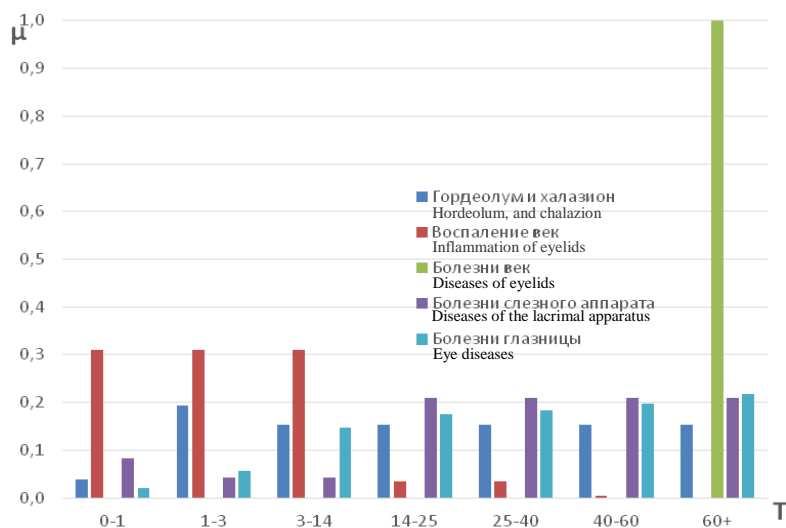
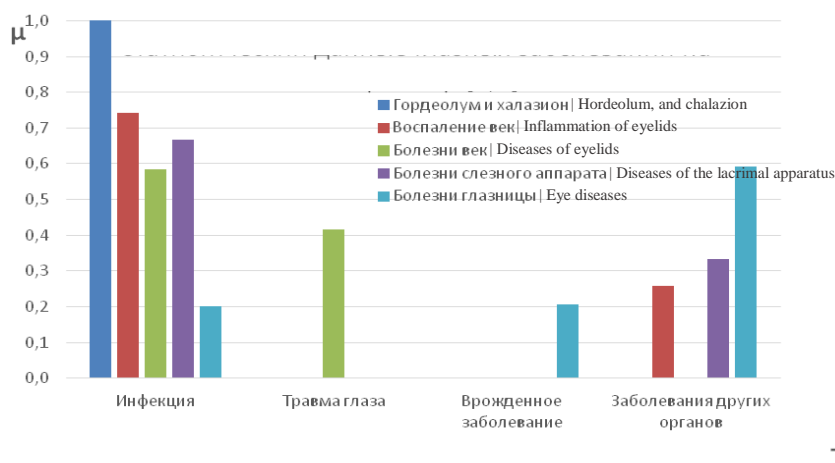
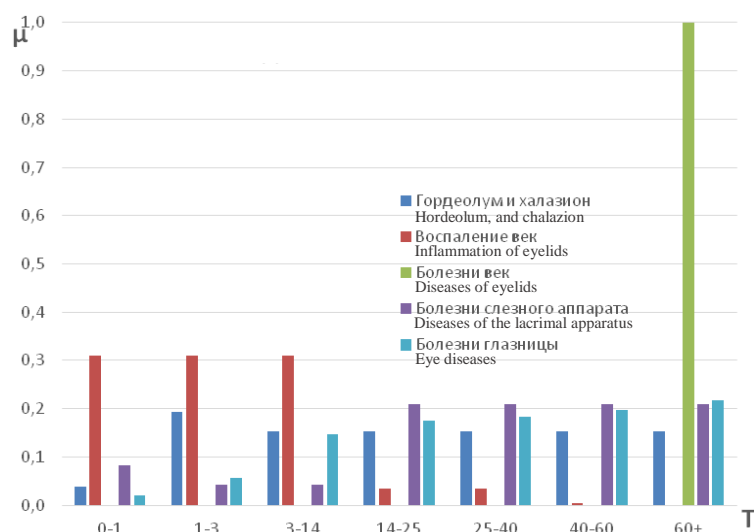


Рисунок 2. Статистические данные глазных заболеваний по возрастным группам на интервале $\mu = [0,1]$

Figure 2. Statistical data of eye diseases by age groups at the interval $\mu = [0,1]$

Рисунок 3. Статистические данные глазных заболеваний по симптомам на интервале $\mu = [0,1]$ Figure 3. Statistics of eye diseases by symptoms at the interval $\mu = [0,1]$ Рисунок 4. Статистические данные глазных заболеваний по причинам возникновения болезни на интервале $\mu = [0,1]$ Figure 4. Statistical data of eye diseases due to the origin of the disease at the interval $\mu = [0,1]$

Данные о заболеваниях по возрастным группам приведены в таблице 1. Данные о заболеваниях по симптоматике приведены

в таблице 2. Данные о заболеваниях по причине возникновения приведены в таблице 3.

Таблица 1.

Статистические данные о заболевании глаз по возрастным группам

Table 1.

Eye disease statistics by age group

Возраст (T) Age (T)	0–1	1–3	3–14	14–25	25–40	40–60	60+
Гордеолум и халазион (1) Hordeolum and chalazion (1)	6,20%	1,24%	1,24%	1,24%	1,24%	1,86%	6,20%
Воспаление век (2) Inflammation of eyelids (2)	11,17%	11,17%	1,24%	1,24%	0,12%	0,00%	11,17%
Болезни век (3) Diseases of eyelids (3)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,23%	0,00%
Болезни слезного аппарата (4) Diseases of the lacrimal apparatus (4)	1,24%	1,24%	6,20%	6,20%	6,20%	6,20%	1,24%
Болезни глазницы (5) Eye diseases (5)	0,99%	2,61%	3,10%	3,23%	3,47%	3,85%	0,99%

Таблица 2.

Статистические данные о заболевании глаз по симптомам

Table 2.

Eye symptom statistics for symptoms

Первичные симптомы (S) Primary symptoms (S)	Температура/лихорадка Temperature/fever	Отек в области глаза Swelling around the eyes	Снижение остроты зрения Reduced sharpness of vision	Слезотечение Watery eyes	Сухость в глазу Dry eye	Косметический дефект Cosmetic defect
Гордеолум и халазион Hordeolum, and chalazion	0,00%	100,0%	0,00%	34,78%	0,00%	53,04%
Воспаление век Inflammation of the eyelids	55,67%	58,08%	0,00%	59,45%	40,55%	41,92%
Болезни век Diseases of eyelids	0,00%	0,00%	72,22%	69,44%	30,56%	77,78%
Болезни слезного аппарата Diseases of the lacrimal apparatus	0,00%	16,88%	16,88%	82,92%	16,88%	82,92%
Болезни глазницы Eye diseases	0,00%	50,00%	25,00%	0,00%	0,00%	75,00%

Таблица 3.

Статистические данные о заболевании глаз по причинам возникновения

Table 3.

Eye disease statistics by cause

Причины (P) Reasons (P)	Инфекционное заболевание Infectious disease	Травма глаза Trauma eye	Врожденное заболевание Congenital disease	Заболевания других органов diseases of Other organs
Гордеолум и халазион Hordeolum, and chalazion	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Воспаление век Inflammation of the eyelids	74,23%	0,00%	0,00%	25,77%
Болезни век Diseases of eyelids	58,33%	41,67%	0,00%	0,00%
Болезни слезного аппарата Diseases of the lacrimal apparatus	66,67%	0,00%	0,00%	33,33%
Болезни глазницы Eye diseases	19,72%	0,00%	20,42%	58,45%

Обозначим через $X = X_1 \times X_2 \times X_3$ – множество входных характеристик пациента, где $x_1 \in X_1 = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7\}$ – возраст пациента: t_1 – 0–1 года, t_2 – 1–3 года, t_3 – 3–14 лет, t_4 – 14–25 лет, t_5 – 25–40 лет, t_6 – 40–60 лет, t_7 – > 60 лет; $x_2 \in X_2 = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6\}$ – первичные симптомы: s_1 – температура / лихорадка, s_2 – отек в области глаза, s_3 – снижение остроты зрения, s_4 – слезотечение, s_5 – сухость в глазу, s_6 – косметический дефект;

$x_3 \in X_3 = \{p_1, p_2, p_3, p_4\}$ – причины возникновения заболеваний: p_1 – инфекция, p_2 – травма глаза, p_3 – врожденное заболевание, p_4 – заболевание других органов. $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$ – множество классов заболеваний, где $y_i = \{(x, \mu_{y_i}(x)) | x \in X\}$ – нечеткое множество заболевания с вектор-функцией принадлежности

$$\mu_{y_i}(x) = \begin{pmatrix} \mu_{i1}(x_1) \\ \mu_{i2}(x_2) \\ \mu_{i3}(x_3) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Постановку диагноза можно представить как механизм выбора на множестве Y на основе нечёткой логики.

$$\forall x \in X \rightarrow \{\mu_{y_i}(x)\}_{i=1}^5 \rightarrow y = C_\mu(Y) \subseteq Y, |y|=1, \quad (3)$$

$$C_\mu(Y) = \{y \in Y \mid \max(\mu_i(x) = \min_j(\mu_{ij}(x_j)))\}. \quad (4)$$

Степень принадлежности некоторого значения вычисляется как отношение числа экспериментов, в которых оно встречалось в определенном интервале шкалы, к максимальному для этого значения числу экспериментов по всем интервалам:

$$c_{imax} = \max(c_{ij}), \quad (5)$$

где c_{ij} – элементы таблицы данных о заболевании по возрастной шкале, тогда функция принадлежности рассчитывается по следующей формуле:

$$\mu_i(x) = \frac{c_{ij}}{c_{imax}}. \quad (6)$$

На рисунках 5–7 показаны графики функции принадлежности. Значения функций принадлежности приведены в таблицах 4–7.

Таблица 4.

Значения функций принадлежности «возрастные группы» $\mu(T)$

Table 4.

Values of membership functions "age groups" $\mu(T)$

Значения функции принадлежности «Возраст» The values of the membership function of "Age"							
Возраст (T) Age (T)	0–1	1–3	3–14	14–25	25–40	40–60	60+
Гордеолум и халазион $\mu(T)_1$ Hordeolum, and chalazion $\mu(T)_1$	0,20	1,00	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30
Воспаление век μ_2 Inflammation of the eyelids μ_2	1,00	1,00	1,00	0,11	0,11	0,01	0,00
Болезни век μ_3 Diseases of eyelids μ_3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Болезни слезного аппарата μ_4 Diseases of the lacrimal apparatus μ_4	0,40	0,20	0,20	1,00	1,00	1,00	1,00
Болезни глазницы μ_5 Diseases of the orbit μ_5	0,10	0,26	0,68	0,81	0,84	0,90	1,00

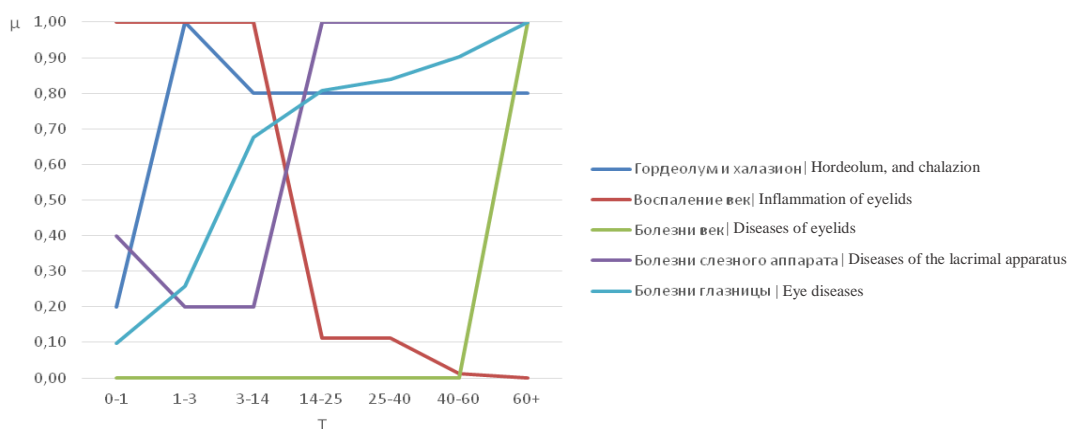


Рисунок 5. Значения функции принадлежности «Возраст»

Figure 5. The values of the membership function of "Age"

Таблица 5.

Значения функции принадлежности «первичные симптомы» $\mu(S)$

Table 5.

Values of the membership function "primary symptoms" $\mu(S)$

Значения функции принадлежности «Первичные симптомы» The values of the membership function of "Primary symptoms"						
Причины (P) Reasons (P)	Температура/лихорадка Temperature/fever	Отек в области глаза Swelling around the eyes	Снижение остроты зрения Reduced sharpness of vision	Слезотечение Watery eyes	Сухость в глазу Dry eye	Косметический дефект Cosmetic defect
1	2	3	4	5	6	7
Гордеолум и халазион $\mu(T)_1$ Hordeolum, and chalazion $\mu(T)_1$	0,00	1,00	0,00	0,35	0,00	0,53

Продолжение табл. 5 | Continuation of table 5

1	2	3	4	5	6	7
Воспаление век μ_2 Inflammation of the eyelids μ_2	0,96	1,00	0,00	1,00	0,68	0,71
Болезни век μ_3 Diseases of eyelids μ_3	0,00	0,00	0,93	0,89	0,39	1,00
Болезни слезного аппарата μ_4 Diseases of the lacrimal apparatus μ_4	0,00	0,20	0,20	1,00	0,20	1,00
Болезни глазницы μ_5 Diseases of the orbit μ_5	0,00	0,67	0,33	0,00	0,00	1,00

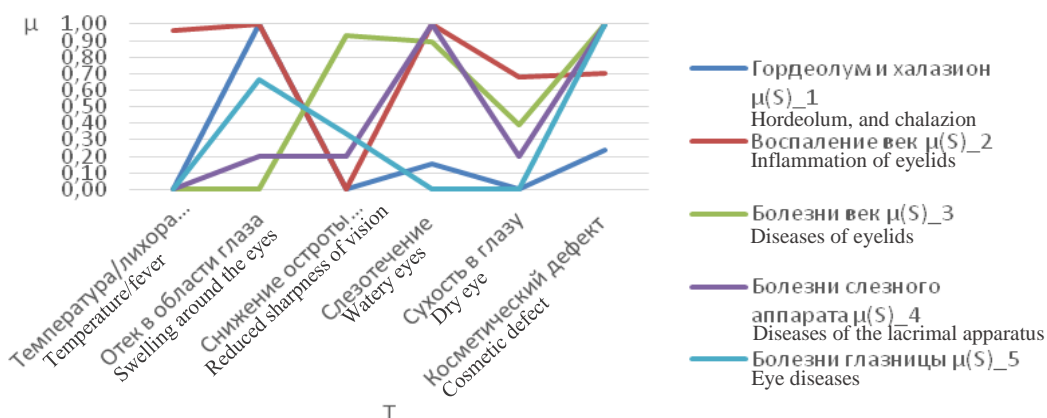


Рисунок 6. Значения функции принадлежности «Первичные симптомы»

Figure 6. The values of the membership function of "Primary symptoms"

Таблица 6

Значения функции принадлежности «причины возникновения болезни» $\mu(P)$

Table 6.

Values of the membership function of the "cause of disease" $\mu(P)$

Значения функции принадлежности «Причины возникновения болезни» The values of the membership function of "Causes of the disease"				
Причины (P) Reasons (P)	Инфекционное заболевание Infectious disease	Травма глаза Trauma eye	Врожденное заболевание Congenital disease	Заболевания других органов diseases of Other organs
Гордеолум и халазион $\mu(T)_1$ Hordeolum, and chalazion $\mu(T)_1$	1,00	0,00	0,00	0,00
Воспаление век μ_2 Inflammation of the eyelids μ_2	1,00	0,00	0,00	0,35
Болезни век μ_3 Diseases of eyelids μ_3	1,00	0,71	0,00	0,00
Болезни слезного аппарата μ_4 Diseases of the lacrimal apparatus μ_4	1,00	0,00	0,00	0,50
Болезни глазницы μ_5 Diseases of the orbit μ_5	0,34	0,00	0,35	1,00

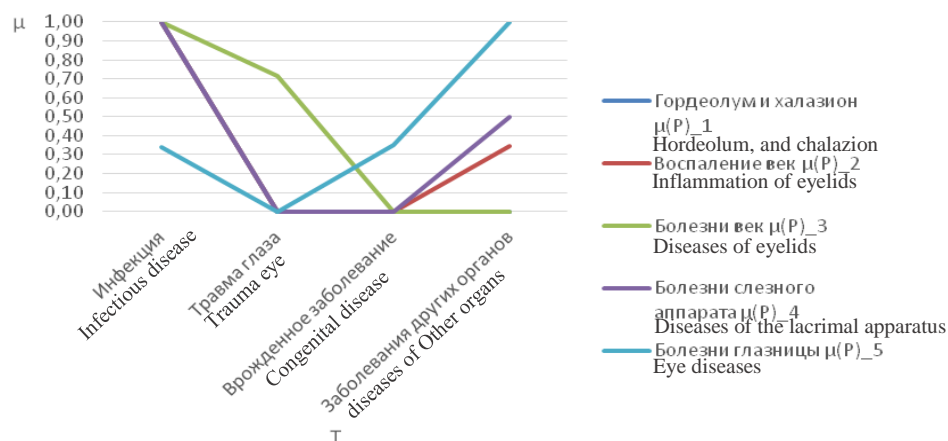


Рисунок 7. Значения функции принадлежности «Причины возникновения болезни»

Figure 7. The values of the membership function "Causes of the disease"

Нечеткая композиция

1) Операция логической конъюнкции используется для того, чтобы определить степень принадлежности симптома или заболевания пациента к области заболевания (например, возрастное это заболевание или инфекционное).

2) Операция логической дизъюнкции используется для определения максимального значения оценки степени принадлежности симптома к области заболевания.

Рассмотрим это на примере двух пациентов.

Пациент:

- возраст 14 лет;

- первичный симптом: снижение зрения;
- возможная причина: травма глаза.

Определим степень принадлежности симптомов, характеризующих состояние пациента, к i -й области заболевания $\left(\min_j (\mu_{ij}(x_j)) \right)$.

Для этого выполним операцию логической конъюнкции по полученным значениям относительно каждой области заболевания в соответствии со следующим соотношением:

$$\mu_{ij}(x_j) = \min_j (\mu_{ij}(x_j)). \quad (7)$$

В результате получены следующие значения:

Таблица 7.

Максимальные значения функций принадлежности по показателям классификации пациентов для каждого заболевания

Table 7.

Maximum values of membership functions in terms of the classification of patients for each disease

	Гордеолум и халазион (1) Hordeolum, and chalazion (1)	Воспаление век (2) Inflammation of eyelids (2)	Болезни век (3) Diseases of eyelids (3)	Болезни слезного аппарата (4) Diseases of the lacrimal apparatus (4)	Болезни глазницы (5) Eye diseases (5)
$\mu(T)$	0,20	0,11	0,00	1,00	0,11
$\mu(S)$	0,00	0,00	0,93	0,20	0,33
$\mu(P)$	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00

\min не отрицателен

$$\mu_{1\min} = \min\{0,2; 0; 0\} = 0,2,$$

$$\mu_{2\min} = \min\{0,11; 0; 0\} = 0,11,$$

$$\mu_{3\min} = \min\{0; 0,93; 0,71\} = 0,71,$$

$$\mu_{4\min} = \min\{1; 0,2; 0\} = 0,2,$$

$$\mu_{5\min} = \min\{0,11; 0,33; 0\} = 0,33.$$

Вторая операция, а именно операция логической дизъюнкции, используется для определения максимального значения оценки

степени принадлежности состояния пациента к соответствующей области заболевания, что осуществляется путем сопоставительного анализа полученных совокупностей оценок. Тогда для всех значений выбранных входных переменных математической модели нечеткого вывода получим:

$$\max(\mu_i(x)) = \max(\mu_{1\min}, \mu_{2\min}, \mu_{3\min}, \mu_{4\min}, \mu_{5\min}), \quad (8)$$

$$\max(\mu_i(x)) = 0,71, \text{ т. е., } \max(\mu_i(x)) = \mu_{3\min},$$

следовательно, у пациента область заболевания 3 (Болезни век).

Составляем базу знаний в виде нечетких правил [4].

Назначение базы данных следующее: 1) иллюстрация взаимодействия между входными и выходными параметрами; 2) осуществление поддержки принятия решений [3]. Элементами нечеткой базы знаний являются отдельные нечеткие правила вывода (НПВ), из которых составляется конечное множество для базы знаний. Для примера разработки базы знаний в виде нечетких правил используем область заболевания глаз. На основе значений исследуемых входных переменных математической модели нечеткие правила вывода будут иметь следующий вид:

НПВ1: если $\mu_{max} = \mu_{1min}$, то область заболевания 1;

НПВ2: если $\mu_{max} = \mu_{2min}$, то область заболевания 2;

НПВ3: если $\mu_{max} = \mu_{3min}$, то область заболевания 3;

НПВ4: если $\mu_{max} = \mu_{4min}$, то область заболевания 4;

НПВ5: если $\mu_{max} = \mu_{5min}$, то область заболевания 5;

НПВ6: если $\mu_{1min} = \mu_{2min}$ или $\mu_{1min} = \mu_{3min}$, или $\mu_{1min} = \mu_{4min}$, или $\mu_{1min} = \mu_{5min}$, или $\mu_{2min} = \mu_{3min}$, или $\mu_{2min} = \mu_{4min}$, или $\mu_{2min} = \mu_{5min}$, или $\mu_{3min} = \mu_{4min}$, или $\mu_{3min} = \mu_{5min}$, или $\mu_{4min} = \mu_{5min}$, то заболевание не определено.

В нашем примере $\max(\mu_i(x)) = \mu_{3min}$, следовательно, у пациента область заболевания 3 (Болезнь век).

Пациент:

- возраст 5 лет;
- первичный симптом: лихорадка, сухость в глазу;
- возможная причина: заболевания других органов.

Так как мы имеем два симптома одной шкалы, то необходимо выполнить операцию логической конъюнкции, чтобы получить функцию принадлежности μ_{is} (таблицы 8, 9).

Таблица 8.

Численные значения функций принадлежности для возраста 5 лет

Table 8.

The numerical values of the membership functions for the age of 5 years

	Гордеолум и халазион (1) Hordeolum, and chalazion (1)	Воспаление век (2) Inflammation of eyelids (2)	Болезни век (3) Diseases of eyelids (3)	Болезни слезного аппарата (4) Diseases of the lacrimal apparatus (4)	Болезни глазницы (5) Eye diseases (5)
Лихорадка	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00
Сухость в глазу	0,00	0,68	0,39	0,20	0,00
$\mu(S)$	0,00	0,68	0,39	0,20	0,00

Мы получим следующие значения:

Таблица 9.

Максимальные значения функций принадлежности для возраста 5 лет

Table 9.

Maximum values of membership functions for age 5 years

	Гордеолум и халазион (1) Hordeolum, and chalazion (1)	Воспаление век (2) Inflammation of eyelids (2)	Болезни век (3) Diseases of eyelids (3)	Болезни слезного аппарата (4) Diseases of the lacrimal apparatus (4)	Болезни глазницы (5) Eye diseases (5)
$\mu(T)$	0,20	1,00	0,00	0,20	0,68
$\mu(S)$	0,00	0,68	0,39	0,20	0,00
$\mu(P)$	0,00	0,35	0,00	0,50	1,00

Тогда

$$\mu_{1min} = \min\{0,2; 0; 0\} = 0,2$$

$$\mu_{2min} = \min\{2; 0,68; 0,35\} = 0,35$$

$$\mu_{3min} = \min\{0; 0,39; 0\} = 0,39$$

$$\mu_{4min} = \min\{0,2; 0,2; 0,5\} = 0,2$$

$$\mu_{5min} = \min\{0,68; 0; 1\} = 0,68$$

$$\max(\mu_i(x)) = 0,68$$

$$\max(\mu_i(x)) = \mu_{5min},$$

Следовательно, у пациента область заболевания 5 (Болезни глазницы) [4].

Заключение

Разработан математический аппарат на основе нечеткой логики и прямой цепочки рассуждений. С помощью нечеткой логики синтезирована модель поддержки принятия решения для диагностики принадлежности болезни к классу глазных заболеваний. Проведено компьютерное моделирование алгоритмов [5]. Модель сужает область заболеваний и отсеивает количество симптомов. Кроме этого, она с достаточной степенью вероятности по первичным симптомам позволяет указать принадлежность состояния пациента к определенному классу заболевания.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Коробова Л.А., Малиенко Е.С., Сафонова Ю.А. Разработка медицинской экспертной системы диагностики заболеваний с использованием элементов теории множеств // Экономика и менеджмент систем управления. 2017. Т. 26. № 4.1. С. 172–178.
- 2 Бабаева Е.Ю., Коробова Л.А. Использование модели фреймов модели для представления знаний о классификации глазных заболеваний // Современные тенденции развития науки и технологий. 2017. № 3–4. С. 6–10.
- 3 Коробова Л.А., Курченкова Т.В., Матыцина И.А. Программная реализация нечеткой модели распознавания звуковых сигналов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика. Физика. 2016. Т. 43. № 13 (234). С. 174–178.
- 4 Абрамов Г.В., Коробова Л.А., Матыцина И.А. Разработка правил вывода при распознавании звуковых сигналов // В сборнике: Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки: Материалы IV международной научно-практической конференции. н.-и. ц. «Академический». 2014. С. 145.
- 5 Alves M., Reinach P.S., Paula J.S., e Cruz A.A.V. et al Comparison of diagnostic tests in distinct well-defined conditions related to dry eye disease // PloS one. 2014. V. 9. №. 5. P. e97921.
- 6 Liu X.Y., Peng X.Y., Wang S., You Q.S. et al Features of optical coherence tomography for the diagnosis of Vogt–Koyanagi–Harada disease // Retina. 2016. V. 36. №. 11. P. 2116–2123.
- 7 Xiao D., Vignarajan J., Chen T., Ye T., Xiao B. et al. Content Design and System Implementation of a Teleophthalmology System for Eye Disease Diagnosis and Treatment and Its Preliminary Practice in Guangdong, China // Telemedicine and e-Health. 2017. V. 23. №. 12. P. 964–975.
- 8 Consugar M.B., Navarro-Gomez D., Place E.M., Bujakowska K.M. et al. Panel-based genetic diagnostic testing for inherited eye diseases is highly accurate and reproducible, and more sensitive for variant detection, than exome sequencing // Genetics in Medicine. 2015. V. 17. №. 4. P. 253.
- 9 Wang L.J., Chang Y.C., Sun R., Li L. A multichannel smartphone optical biosensor for high-throughput point-of-care diagnostics // Biosensors and Bioelectronics. 2017. V. 87. P. 686–692.
- 10 Priye A., Wong S., Bi Y., Carpio M. et al. Lab-on-a-drone: toward pinpoint deployment of smartphone-enabled nucleic acid-based diagnostics for mobile health care // Analytical chemistry. 2016. V. 88. №. 9. P. 4651–4660.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Людмила А. Коробова к.т.н., доцент, кафедра информационных технологий моделирования и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lyudmila_korobova@mail.ru

Татьяна В. Гладких к.т.н., доцент, кафедра информационных технологий моделирования и управления, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, gtv1113@rambler.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 19.11.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 10.12.2018

REFERENCES

- 1 Korobova L.A., Malienko E.S., Safonova Yu.A. development of medical expert system of disease diagnosis using elements of set theory. *Ehkonomika i menedzhment sistem upravleniya* [Economics and management of control systems]. 2017. vol. 26. no. 4.1. pp. 172–178. (in Russian)
- 2 Babaeva E.Yu., Korobova L.A. Use of model frames model to represent knowledge about the classification of eye diseases. *Sovremennye tendencii razvitiya nauki i tekhnologii* [Modern trends in science and technology]. 2017. no. 3–4. pp. 6–10. (in Russian)
- 3 Korobova L.A., Kurchenkova T.V., Matysina I.A. Software implementation of fuzzy model of sound signals recognition. *Nauchnye ведомosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Matematika. Fizika.* [Scientific statements of Belgorod State University. Series: Mathematics. Physics.]. 2016. vol. 43. no. 13 (234). pp. 174–178. (in Russian)
- 4 Abramov G.V., Korobova L.A., Matysina I.A. development of rules for output in the recognition of sound signals. *Fundamental'naya nauka i tekhnologii – perspektivnye razrabotki* [In the collection: Fundamental science and technology – promising developments. Materials of the IV international scientific and practical conference. n.–i.c. "Academic"]. 2014. pp. 145. (in Russian)
- 5 Alves M., Reinach P.S., Paula J.S., e Cruz A.A.V. et al Comparison of diagnostic tests in distinct well-defined conditions related to dry eye disease. *PloS one*. 2014. vol. 9. no. 5. pp. e97921.
- 6 Liu X.Y., Peng X.Y., Wang S., You Q.S. et al Features of optical coherence tomography for the diagnosis of Vogt–Koyanagi–Harada disease. *Retina*. 2016. vol. 36. no. 11. pp. 2116–2123.
- 7 Xiao D., Vignarajan J., Chen T., Ye T., Xiao B. et al. Content Design and System Implementation of a Teleophthalmology System for Eye Disease Diagnosis and Treatment and Its Preliminary Practice in Guangdong, China. *Telemedicine and e-Health*. 2017. vol. 23. no. 12. pp. 964–975.
- 8 Consugar M.B., Navarro-Gomez D., Place E.M., Bujakowska K.M. et al. Panel-based genetic diagnostic testing for inherited eye diseases is highly accurate and reproducible, and more sensitive for variant detection, than exome sequencing. *Genetics in Medicine*. 2015. vol. 17. no. 4. pp. 253.
- 9 Wang L.J., Chang Y.C., Sun R., Li L. A multichannel smartphone optical biosensor for high-throughput point-of-care diagnostics. *Biosensors and Bioelectronics*. 2017. vol. 87. pp. 686–692.
- 11 Priye A., Wong S., Bi Y., Carpio M. et al. Lab-on-a-drone: toward pinpoint deployment of smartphone-enabled nucleic acid-based diagnostics for mobile health care. *Analytical chemistry*. 2016. vol. 88. no. 9. pp. 4651–4660.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Lyudmila A. Korobova Cand. Sci. (Engin.), associate professor, informational technologies of modeling and control department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lyudmila_korobova@mail.ru

Tatyana V. Gladkikh Cand. Sci. (Engin.), associate professor, informational technologies of modeling and control department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, gtv1113@rambler.ru

CONTRIBUTION

Authors equally participated in writing the manuscript and responsible for the plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 11.19.2018

ACCEPTED 12.10.2018