

УДК: 004.891.3

DOI: 10.25206/2310-4597-2023-1-79-84

РАЗРАБОТКА И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ

DEVELOPMENT AND VERIFICATION OF THE DECISION-MAKING SYSTEM SOFTWARE

А. С. Серобабо¹, А. Л. Серобабова², Л. А. Денисова¹

¹*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

²*Московский областной филиал Московского университета Министерства внутренних дел
Российской Федерации имени В. Я. Кикотя, пос. Старотеряево, Россия*

A. S. Serobabov¹, A. L. Serobabova², L. A. Denisova¹

¹*Omsk State Technical University, Omsk, Russia*

²*The Moscow Regional Branch of the Vladimir Kikot Moscow University
of the Ministry of Interior of Russia*

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы разработки и верификации системы поддержки принятия решений врачом при диагностике заболеваний печени. Представлена функциональная схема системы с отображением основных информационных потоков для принятия решений о стадии заболевания. Приведена методика испытаний для верификации программного обеспечения системы, включая проверку работы классификатора, основанного на нечетком логическом выводе. Представлены результаты сравнительного анализа эффективности предлагаемого метода с другими методами классификации стадии заболевания печени.

Ключевые слова: верификация программного обеспечения, нечеткий классификатор, методика испытаний, медицинская система принятия решений, нечеткая база правил.

Abstract. The paper considers the development and verification of a decision support system for a physician in the diagnosis of liver disease. The functional scheme of the system with the display of the main information flows for making decisions about the stage of the disease is presented. The technique of tests to verify the software of the system, including checking the operation of the classifier based on fuzzy logical inference, is presented. The results of comparative analysis of the efficiency of the proposed method with other methods of classification of the liver disease stage are presented.

Key words: software verification, fuzzy classifier, test methodology, medical decision-making system, fuzzy rule base.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных задач проектирования любой медицинской системы является контроль за процессом принятия решений при диагностике заболевания пациента [1, 2]. Высокие требования к качеству проектируемой системы обусловлены рисками, связанными с влиянием принятых решений на здоровье пациента. В свою очередь возрастающая сложность разрабатываемого программного обеспечения (ПО) приводит к увеличению количества ошибок в нем, что приводит к серьезным последствиям при эксплуатации ПО.

Основным подходом к решению задачи проверки качества программного обеспечения является использование процедуры верификации. Под верификацией понимается процесс определения, удовлетворяют ли ПО и его модули требованиям, наложенным на них в последовательных этапа жизненного цикла разра-

батываемой системы [3, 4]. Верификация включает в себя анализ причин возникновения ошибок и последствий их исправления, планирование процессов поиска ошибок, а также оценивание полученных результатов. Перед началом проведения процедуры верификации ПО, формируются требования к разработанному ПО, включаемые в техническое задания на систему. Составляются перечни, планирующихся в ходе испытаний проверок, реализуемых функций и решаемых задач. Формируется методика проведения испытаний с указанием критериев ожидаемых результатов.

Для полноценного осуществления процесса верификации ПО необходимо провести работы по составлению плана эксперимента и сопоставления. На каждом шаге проверки производится оценка, адекватны ли полученные результаты ПО с выдвинутыми требованиями к системе. Верификация включает в себя: верификацию кода и верификацию вычислений.

Верификация кода – оценочная деятельность, связанная с поиском и исправлением ошибок программирования в компьютерном коде и обеспечением того, чтобы численные алгоритмы решения дискретных уравнений давали точные решения.

Верификация вычислений – оценочная деятельность, связанная с проверкой качества вычислительной модели и выявлением ошибок численного решения.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В работе рассмотрены вопросы разработки и верификации системы поддержки принятия решений врачом при диагностике заболеваний на основе неалкогольной жировой болезни печени. Представлена функциональная схема системы с отображением основных информационных потоков для принятия решений о стадии заболевания. Приведена методика испытаний для верификации программного обеспечения системы, включая проверку работы классификатора, основанного на нечетком логическом выводе.

Для создания системы диагностики (НАЖБП) выдвинуты следующие требования к системе:

- реализация импорта данных в формате CSV (*Comma-Separated Values*) в базу данных системы;
- коррекция значимых параметров на заданный коэффициент;
- точность классификатора с коррекцией должна быть выше или равна точности без подсистемы коррекции значимых параметров;
- результаты принятия решений о стадии заболевания с разработанным классификатором выше имеющихся аналогов.

III. ТЕОРИЯ

В качестве исходной информации для классификации использованы данные 149 пациентов, проходивших диспансеризацию в медицинских учреждениях города Омска [5, 6]. Каждый пациент характеризуется следующими категориями параметров: L_{name} – лабораторные параметры; D_{name} – сопутствующие заболевания пациента; P_{name} – физиологические параметры. Индексом $name$ обозначено наименование параметра (результат медицинского обследования).

В общем виде задача диагностики ставится следующим образом. Имеется выборка X из m объектов (пациентов с различными стадиями заболевания), характеризующихся n переменными параметрами, взятыми из составных групп данных по пациенту:

$$X = [x_{ij}] = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $i = \overline{1, m}$ – номер объекта (пациента); $j = \overline{1, n}$ – номер переменной (параметра).

Процесс принятия решений состоит из следующих этапов: предобработка данных (1), получение значимых параметров (2), занесение выработанных экспертных правил в базу данных правил (3), поиск замещающих параметров и классификация стадии заболевания (4). Функциональная схема системы представлена на рисунке 1, и состоит из модулей, название которых отражает выполняемые функции.

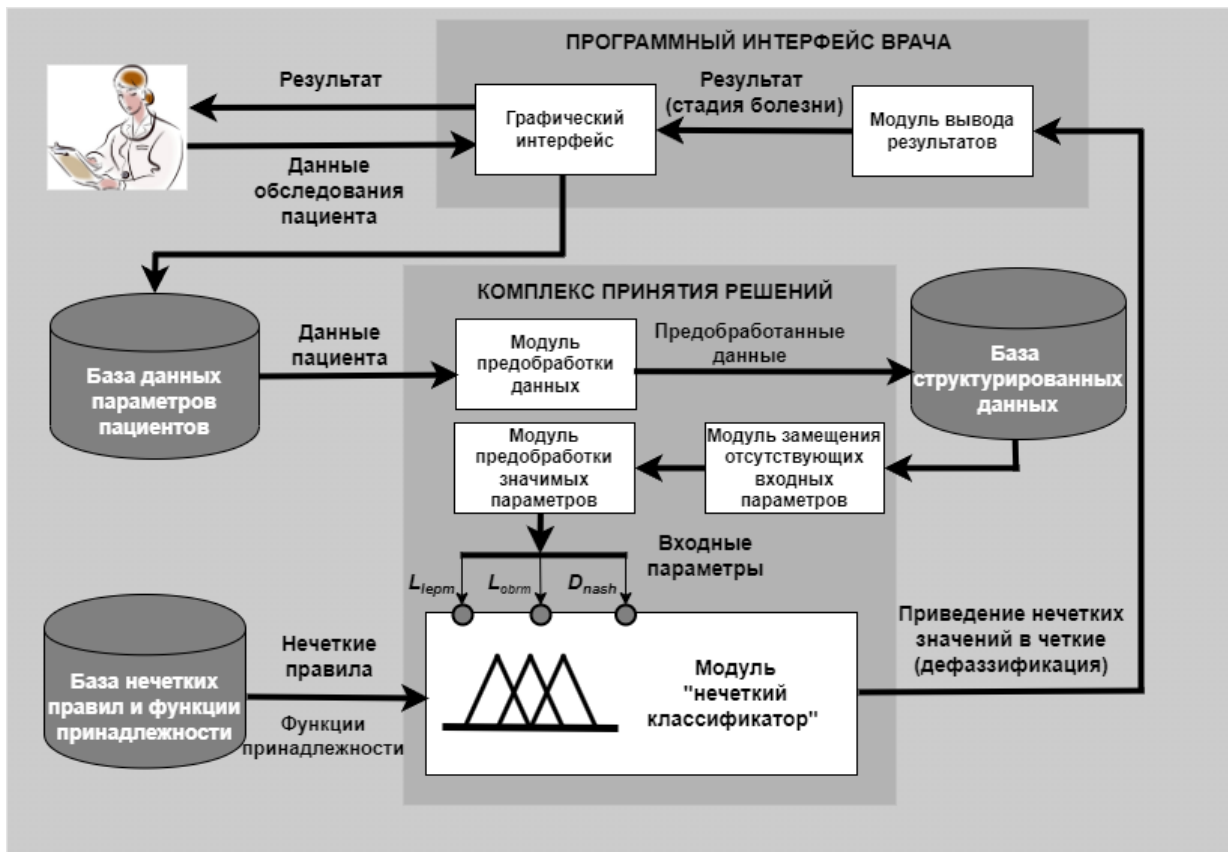


Рис. 1. Обобщенная схема работы системы поддержки принятия решения о стадии заболевании

Работа врача с системой происходит следующим образом. Врач загружает информацию о пациенте через графический интерфейс системы, позволяющий сохранять в базу данных результаты медицинских обследований. Далее загруженные данные предобрабатываются: производится проверка на наличие пропусков и выбросов в данных, параметры обследования пациента разбиваются на группы (лабораторные и физиологические параметры, сопутствующие заболевания). В системе в базе нечетких правил находится предварительно сформированные нечеткие продукционные правила, сформированные на этапе экстракции функций принадлежности и согласованные с врачами экспертами. Перед классификацией нечеткие правила импортируются из хранимой базы правил в модуль нечеткой классификации [7], подготовленные данные нормализуются и подаются на вход классификатора, который в свою очередь по входным параметрам и правилам классифицирует стадию заболевания и определяет степень уверенности в принятом решении. Результат работы системы преобразуется для графического отображения результатов врачу.

Модуль предобработки данных содержит проверку на наличие дублирования данных и производит поэлементное сравнения всей выборки X для нахождения в выборке таких векторов x_i (i – индекс пациента), которые удовлетворяют условию равенства $x_i = x_j$, j – индекс дублирующего вектора (пациента). Найденные x_j удаляются из исходной выборки X , полученные данные сохраняются в таблицу базы данных для дальнейшей постановки диагноза системой.

Модуль замещения отсутствующих входных параметров содержит методы, которые позволяют осуществить замещение значения, отсутствующего параметров, используя функции, полученные в результате регрессионного анализа.

Классификация стадии заболевания осуществляется по трем значимым параметрам: L_{lep} – мультипликативный параметр (произведение L_{lep} на корректирующий параметр по P_{gen}), P_{gen} – пол пациента (1 – мужчина, 2 – женщина), L_{lep} – количество лептина в крови пациента, L_{obrm} – мультипликативный параметр $L_{obrm} = L_{obr} \cdot P_{wc}$, L_{obr} – количество рецепторов лептина в крови пациента, P_{wc} – обхват талии, D_{nash} – наличие заболевания неалкогольного стеатогепатита (стеатоз (1), гепатит (2)). В результате классификации

IV. Проведение экспериментов для верификации ПО

Проведена верификация разработанной системы классификации стадии заболевания с помощью процедуры проверки и методики испытания программы. Для этого составлены несколько процедур проверки работы системы и представлены результаты сверки с требованиями к системе.

В проверяемой медицинской системе верификации подлежат как сама система, так и входящие в ее состав модули, участвующие в принятии решений, обработки, хранения и анализа данных пациента. В соответствии с рисунком 1 составлена таблица 1, где представлен состав программного обеспечения системы принятия врачебных решений. Каждый модуль или программа выполняет определенные функции. Для проведения верификации системы собран исполняемый файл Expert расширения .exe, который состоит из нескольких файлов модулей: GUI.py, Preprocessing.py, Replacing.py, Normalization.py, FuzzyClassifier.py, StageDefinition.py.

ТАБЛИЦА 1
СОСТАВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ

№	Наименование файла	Тип файла	Наименование программы (модуля)	Описание и выполняемые функции
1	Expert.exe	Исполняемый файл	Система принятия врачебных решений	Исполняемый файл классификации заболевания печени
2	GUI.py	Файл python с расширением .py	Модуль графического интерфейса	Отображение графических элементов для взаимодействия врача со системой
3	Preprocessing.py	Файл python с расширением .py	Модуль предобработки данных	Предобработка исходных данных
4	Replacing.py	Файл python с расширением .py	Модуль замещения отсутствующих входных параметров	Замещение отсутствующих входных параметров
5	Normalization.py	Файл python с расширением .py	Модуль нормализации входных параметров	Нормализация входных параметров
6	FuzzyClassifier.py	Файл python с расширением .py	Модуль нечеткой классификации	Классификация стадии заболевания
7	StageDefinition.py	Файл python с расширением .py	Модуль вывода результат	Определение стадии заболевания и степени уверенности в поставленном диагнозе
8	Fuzzy.m	m-файл - MATLAB	Сценарий проверки функций принадлежности	Загрузка параметров для построения функций принадлежности

В таблице 2 представлены процедуры верификации разработанной программы с требованиями к ожидаемым результатам и критериям оценки корректности отработки системы и ее компонентов.

Верификация работы системы проведена на тестовых данных, полученных в результате проведения дополнительного обследования пациентов. Размер тестовой выборки составил 26 пациентов и представлен в виде файла в формате CSV. Тестовые данные загружены в систему поддержки принятия решения о стадии заболевания. Сравнение полученных стадий заболеваний пациента производилось с результатами выполнения биопсии печени, которая обладает высокой точностью постановки стадии болезни, но является болезненной и опасной процедурой вмешательства в ткани органов человека. Далее проведена процедура проверки корректности работы системы на основании процедур из таблицы 2. В результате получено, что заданные проверяемые процедуры полностью соответствуют критериям оценки.

ТАБЛИЦА 2
ПРОЦЕДУРЫ ПРОВЕРКИ И МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ

Процедура проверки	Методика испытаний	Критерии оценки / ожидаемый результат
1.1 Проверка возможности импорта данных в базу данных системы	Проверить работоспособность подсистемы импорта данных на корректное чтение данных и занесение их в БД а) запустить Expert.exe; б) выбрать путь к файлу формата csv; в) проверить совпадение формата; г) импортировать данные в БД.	При совпадении формата (шаг в) импортирование данных в БД (шаг г). При несовпадении формата – оповещение пользователю о невозможности импортировать файл.
1.2 Проверка возможности подсистемы коррекции значимых параметров	Проверить подсистему на правильное выполнение алгоритма коррекции значимых параметров в зависимости от пола пациента а) запустить Expert.exe; б) ввести значения значимых параметров на вход системы; в) контролировать выполнение процедуры проверки условия необходимости коррекции на экране монитора; г) проверить выполнение коррекции параметров в отладочном окне программы;	Коррекция значимых параметров на заданный коэффициент.
1.3 Проверка возможности подсистемы классификации стадии заболевания (определение стадии заболевания по заданным правилам)	Проверить возможность принятия решения о стадии заболевания печени а) запустить Expert.exe; б) ввести значения значимых параметров на вход системы; в) контролировать выполнение фаззификации каждого значимого параметра на экране монитора (загрузить параметры для построения функций принадлежности Fuzzy.m); г) контролировать вычисление выполнения правил на экране монитора; д) проверить выполнение о принятых решениях подсистемы.	Полученные результаты принятия решения о стадии заболевания с разработанным классификатором выше других методов

На рисунке 2а представлен интерфейс программы с результатами сравнения точности классификации заболевания по стадиям. Интерфейс программы выполнен в минималистичном стиле и позволяет использовать массовую загрузку данных в формате CSV. Проверяется наличие колонок значимых параметров и значений в них. Выполнение классификации стадии заболевания выполняется по схеме на рисунке 1.

В результате получена диаграмма, представленная на рисунке 2б, с результатами классификации, показывающая точности постановки диагноза. Проводилось тестирование работы классификаторов, основанных на различных методах: K_1 – классификатор с помощью дерева решений, K_2 – нечеткий классификатор без коррекции значимых параметров, K_3 – нечеткий классификатор с коррекцией значимых параметров.

Сравнивая результаты точности классификаторов, можно сделать вывод о том, что нечеткий классификатор с коррекцией значимых параметров имеет большую точность, чем классификатор без коррекции, что удовлетворяет критерию верификации работы подсистемы коррекции значимых параметров. Данный результат обусловлен зависимостью значений значимых параметров от пола пациентов. Подсистема коррекции значений значимых параметров сглаживает межполовое различие параметра L_{lep} , что приводит к лучшей работе классификатора.

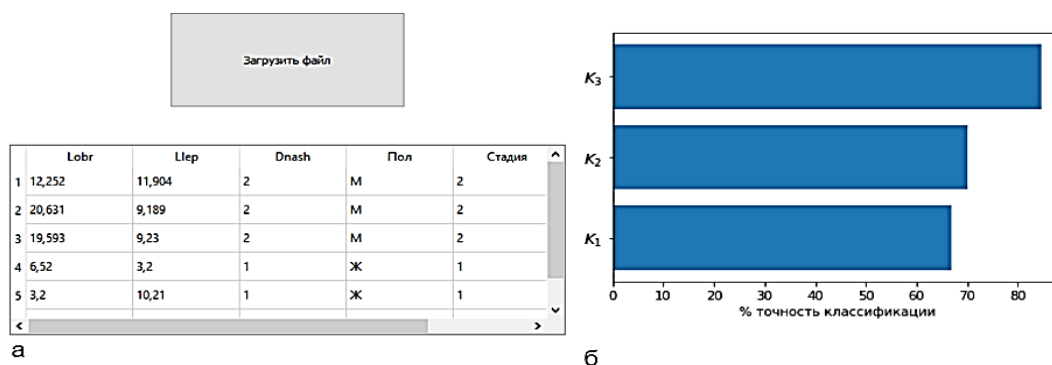


Рис. 2. Графический интерфейс с результатами верификации:
 а) определение стадии заболевания и исходные данные пациента,
 б) точность классификации различными методами

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработанная система поддержки принятия решения удовлетворяет заданным процедурам проверки по результатам проведения методик испытания. Система реализованна с учетом возникновения проблем импорта данных формата csv. В результате тестирования точности работы классификатора получено значение 84.6%. правильно принятых решений о стадии заболевания. Разработанная система способствует уменьшению влияния человеческого фактора, сокращению времени обработки данных, а также нахождению новых взаимосвязей между стадией болезни и лабораторными параметрами пациента.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования разработана схема работы системы поддержки принятия решения, позволяющая осуществлять классификацию стадии заболевания пациента. Сформирована и проведена программа и методика испытаний, которая гарантирует выполнение системы в представленных сценариях работы.

Экспериментальные процедуры проверки работы системы и подсистемы позволяют определить технические особенности и выявить нештатные процессы работы системы, а также подтвердить соответствие выполняемых функций с принятыми техническими требованиями.

Представляется перспективным использовать полученные результаты для разработки и проверки медицинских систем. Разработанная система поддержки принятия решений на основе интеллектуального анализа данных позволит врачу не только проверить свои диагностические предположения, но и получить информационную поддержку в сложных диагностических ситуациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гратинский В. А., Новиков Е. М., Захаров И. С. Экспертная оценка результатов верификации инструментов верификации моделей программ // Труды ИСП РАН. 2020. № 5.
2. Michael Negnevitsky. Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent Systems (3rd Edition). 2011. 394 p.
3. Сальников А. В., Французов М. С., Виноградов К. А., Пятунин К. Р., Никулин А. С. Верификация и валидация компьютерных моделей // Известия вузов. Машиностроение. 2022. № 9 (750). С. 100–116.
4. Хлопотов Р. С. Особенности проектирования баз данных для автоматизированного рабочего места врача-нутрициолога // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. № 9. С. 84–89.
5. Серобабова А. С., Чебаненко Е. Б., Денисова Л. А., Кролевец Т. С. Разработка экспертной системы ранней диагностики заболеваний: программные средства первичной обработки и выявления зависимостей // Омский научный вестник. 2018. № 4 (160). С. 179–184.
6. Серобабова А. С. Анализ систем интеллектуального диагностирования заболевания у пациента // Прикладная математика и фундаментальная информатика. 2019. № 4. С. 58–69.
7. Chebanenko E., Denisova L., Serobabov A. Intelligent Processing of Medical Information for Application in the Expert system // Proceedings - 2020 Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology, USBEREIT 2020, Yekaterinburg, 14–15 мая 2020 года. Yekaterinburg, 2020. Pp. 85–88.