

УДК 004.891.3+681.5

doi:10.20998/2413-4295.2016.25.11

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ДИАГНОСТИКО-ЛЕЧЕБНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В МЕДИЦИНЕ

*А. И. ПОВОРОЗНИЮК\*, О. А. ПОВОРОЗНИЮК*

Кафедра вычислительной техники и программирования, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, УКРАИНА

\*email: ai.povoroznjuk@gmail.com

**АННОТАЦИЯ** Формализованы этапы диагностико-лечебных мероприятий при разработке компьютерных систем поддержки принятия решений в медицине. Для комплексной оценки этапов диагностико-лечебного процесса с целью минимизации рисков врачебных ошибок выполняется переход из традиционного пространства диагностических признаков в пространство врачебных действий. Анализ диагнозов в пространстве врачебных действий позволил разработать метод иерархической кластеризации диагнозов в пространстве врачебных действий и коррекцию порогов в диагностическом решающем правиле.

**Ключевые слова:** компьютерная система, принятие решения, диагностика, лечение, врачебное действие, врачебная ошибка, диагностический признак, решающее правило.

## INFORMATION SUPPORT DIAGNOSTIC-MEDICAL ACTION IN MEDICINE

*A. POVOROZNYUK\*, O. POVOROZNYUK*

Department of Computer Science and Programming, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

**ABSTRACT** The Purpose of the work is a development of information technology for diagnostic and treatment activities steps complex estimation for increasing of their efficiency and minimization of the risk of doctor's mistakes. The Formalized stages diagnostic-medical process at development computer decision support system in medicine. The risks of incorrect decision appear at the stage of diagnosis: an error of the first kind  $\alpha$  and an error of the second kind  $\beta$  are defined with the location of the training set objects in the feature space without considering their impact on the stage of selecting the desired medical action. To minimize the risk of incorrect medical measures due to incorrect diagnosis found the relation between the error diagnostics and the consequences of this error in the appointment of medical action. Transition from the traditional space of marks to the medical action space is offered to minimize the risk. The components medical action space are binary variables (0 – absent, 1 – present), and every diagnosable condition is represented with a point in the  $i$ -th vertex of the hypercube. The use of hierarchical clustering with the criterion of minimum aggregate relations (the search for the minimum cut) in the medical action space for the synthesis of the decision tree provides minimum risk of decision-making in integrated assessment of diagnostic and medical action. In the work the correction method of thresholds of uncertainty interval in solving rule is proposed for an integrated risk assessment of medical errors that arise at both stages of diagnostic and treatment process, including at step medical action. Developed information technologies allow to minimize the risk of medical errors, to improve the reliability and validity of the decisions of the decision maker, and can be adapted to the different subject fields of medicine.

**Keywords:** computer system, decision making, diagnosis, treatment, medical action, doctor mistake, diagnostic sign, solving rule.

### Введение

Комплекс диагностико-лечебных мероприятий (ДЛМ) состоит из двух взаимосвязанных этапов: диагностики заболеваний и лечения выявленных патологий, причем после диагностики и назначения лечебных процедур необходим мониторинг текущего состояния пациента с целью оценки эффективности процесса лечения и, при необходимости, его коррекции. Для лечения того или иного заболевания необходимо предоставление определенных врачебных действий (ВД) на организм пациентов (хирургическое вмешательство, фармакологическое, лечебно-терапевтическое воздействие, реабилитационные мероприятия).

На каждом из указанных этапов врач, как лицо, принимающее решение, производит управленческое

решение в условиях дефицита исходных данных и существенной априорной неопределенности, основываясь на своей квалификации, опыте и интуиции. При этом принятие неправильного решения (врачебная ошибка) как на этапе диагностики, так и на этапе лечения может иметь катастрофические последствия для здоровья пациента. Термин «врачебная ошибка» (ВО) определяет неправильную диагностику болезни или неправильные ВД, которые обусловлены добросовестным заблуждением врача, при этом исключаются халатность и недобросовестность при исполнении своих обязанностей. Причиной ошибки диагностики является недостаточный объем диагностических данных (применение устаревшего оборудования или недостаточная квалификация врача, который назначал список обследований), или

их неверная интерпретация (особенно при субъективном анализе качественных показателей). Причиной неправильных ВД при правильном диагнозе является недостаточный учет индивидуальных особенностей пациента (аллергические реакции на определенные препараты, список болезней, которыми уже болел пациент, какие лекарства принимал и т.д.).

В настоящее время имеется широкий спектр компьютерных диагностических систем в различных предметных областях медицины [1], в которых используются разнообразные математические методы поддержки принятия решения (детерминированная логика [2], вероятностный подход [3], нечеткая логика [4], нейронные сети [5] и т.д.) и современные информационные технологии, включая телемедицину [6–8]. Так как значительная часть диагностической информации содержат биомедицинские сигналы и изображения, то методам их обработки с целью определения диагностических признаков уделяется большое внимание [9–10]. Информатизация ВД ограничивается медицинскими справочниками, в том числе в виде информационно-поисковых систем [11]. В современных компьютерных системах поддержки принятия решений в медицине задачи диагностики и ВД рассматриваются независимо друг от друга, при диагностике минимизируется риск неправильной постановки диагноза без учета этапа лечебных мероприятий, поэтому актуальной является задача минимизации риска ВО при комплексной оценке всех этапов ДЛМ.

### Цель работы

Разработка информационных технологий комплексной оценки этапов ДЛМ с целью повышения их эффективности и минимизации риска врачебных ошибок. Для достижения поставленной цели выполняется переход из традиционного пространства признаков в пространство ВД, который позволил решить следующие задачи :

- минимизировать риски неправильного принятия решения на этапе диагностики с учетом их последствий на этапе ВД при синтезе дерева решения;
- разработать метод коррекции границ интервала неопределенности в диагностическом решающем правиле.

### Формализация и информационные технологии реализации этапов ДЛМ

В формализованном виде задачей диагностики является классификация состояния  $i$ -го пациента  $D_i$  при анализе вектора диагностических признаков  $X_i$

ВД представляются моделью  $M_a = \langle T_p, F, SI \rangle$ , где  $M_a$  – множество ВД;  $T_p = \{t_{pi}\}$  – множество терапевтических действия (ТД),  $F = \{f_i\}$  – множество фармакологических действия (ФД),  $SI = \{si_i\}$  – множество видов хирургического вмешательства.

Назначение ВД при известном  $D_i$  состоит из определения их типа ( $T_p, F, SI$ , или их комбинаций) и перечень конкретных действий. Выбор типа ВД является задачей многокритериального выбора альтернатив, для решения которой используется метод анализа иерархий (МАИ) [12]. Для каждого из допустимых для данного диагноза  $D_i$  типа ВД формируется подмножество необходимых ВД, после чего определяется их реализация с учетом индивидуальных особенностей пациента, противопоказаний к отдельным ВД и многокритериального выбора аналогов.

В [13] формализованы следующие этапы преобразования информации в компьютерных системах поддержки принятия решений в медицине :  $F1: x(t) \rightarrow X$ ,  $F2: x(j,k) \rightarrow X$  – структурная идентификация биосигналов и медицинских изображений соответственно;  $F3: D \rightarrow S_D$  – синтез иерархической структуры диагностируемых состояний (дерево решений);  $F4: X \rightarrow S_z$  – синтез структуры диагностических признаков;  $F5: X_i \rightarrow D_i$  – синтез диагностических решающих правил (РП) при взаимодействии  $S_D$  и  $S_z$ .

Аналогичным образом запишем этапы преобразования информации на этапе ВД:  $F6: D_i \rightarrow ma_{D_i}$  – определение подмножества необходимых ВД при известном  $D_i$ ;  $F7: ma_{D_i} \rightarrow Y_i$  – реализация ВД.

Для комплексной оценки этапов ДЛМ и минимизации рисков ВО рассмотрим более подробно преобразования  $F3$  и  $F5$ . Преобразование  $F3$  выполняется процедурой иерархической кластеризации множества диагностируемых состояний  $\{D_i\}_n$  по критерию минимума ошибки кластеризации в пространстве признаков  $X$ . Результатом преобразования является бинарное дерево решений  $S_D$ , корнем которого является полное множество диагнозов  $\{D_i\}_n$  в заданной предметной области, в ветвях располагаются кластеры диагнозов, а листьями являются отдельные диагнозы. В процессе диагностики  $i$ -го пациента при известном векторе  $X_i$  происходит движение по дереву решений, в каждой  $k$ -й вершине которого выполняется дифференциальная диагностика состояний  $D_q$  и  $D_l$ , путем вычисления РП и принятие решения в пользу  $D_q$  или  $D_l$ . Риски неправильного принятия решения на этапе диагностики:  $\alpha$  – ошибка первого рода и  $\beta$  – ошибка второго рода, определяются расположением эллипсоидов рассеивания объектов обучающей выборки в признаковом пространстве  $X_i$  без учета их влияния на этап выбора необходимых ВД и их последующей реализации.

Для минимизации риска неправильных медицинских мероприятий, которые возникают при ошибочной диагностике, ищется зависимость между ошибкой при диагностике ( $D_q$  вместо  $D_l$ ), и их последствиями при реализации ВД ( $Y_q$  вместо  $Y_l$ ). Так

как реализация ВД должна обеспечить множество необходимых ВД  $Y_q \rightarrow ma_{D_q}$ , а  $Y_l \rightarrow ma_{D_l}$ , то риск в конечном итоге определяется различием компонент множеств  $ma_{D_q}$  и  $ma_{D_l}$ , и для его минимизации в работе предлагается переход от традиционного признакового пространства  $X$  в пространство ВД  $M_a$ . В простейшем случае компоненты  $ma_i \in M_a$  представляются бинарными переменными (0 – отсутствует, 1 – присутствует), тогда каждое диагностируемое состояние  $D_i$  в пространстве ВД представляется точкой в  $i$ -й вершине гиперкуба.

Поэтому в данном случае для выполнения кластеризации диагностируемых состояний в пространстве  $M_a$  удобно представить структуру  $D_i$  потоковой моделью [14], в которой каждый  $D_i$  представляется вершиной полносвязного графа, а каждой дуге графа приписываются определенные числовые значения, которые характеризуют степень близости между двумя вершинами.

Так как ВД являются дихотомическими величинами, то в качестве меры близости выбрано взвешенное расстояние Хэмминга :

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^g w_{ij} |ma_{ki} - ma_{kj}|, \quad (1)$$

где  $ma_{ki}, ma_{kj} \in [0,1]$  –  $k$ -е ВД  $i$ -го и  $j$ -го диагнозов соответственно;  $g$  – размерность пространства  $M_a$ ;  $w_{ij}$  – коэффициент, который обеспечивает увеличения расстояния, в случае присутствия конфликтующих ВД.

Применение иерархической кластеризации по критерию минимума суммарной связи (поиск минимального разреза) в пространстве  $M_a$  для синтеза дерева решений  $S_D$  обеспечивает минимум риска принятия решений при комплексной оценке ДЛМ.

Для реализации вероятностного РП (преобразование  $F5$ ) в работе реализуется метод синтеза уточняющего диагноза [1], который является модификацией метода последовательного анализа (метода Вальда) и основан на анализе взаимодействия иерархических структур диагностических признаков  $S_z$  и диагностируемых состояний  $S_D$ . На каждом  $i$ -м этапе РП, при дифференциальной диагностике между двумя состояниями  $D_q$  и  $D_l$ , анализируется очередной признак  $x_i$  и вычисляется отношение правдоподобия

$$\Theta = \prod_i \frac{P(x_{ik} / D_q)}{P(x_{ik} / D_l)}, \quad (2)$$

которое сравнивается с порогами  $\Theta > A$ ,  $\Theta < B$ , где  $A$  и  $B$  – верхняя и нижняя границы неопределенности, необходимые для принятия решения.

При выполнении одного из условий принимается решение о диагнозе  $D_q$  или  $D_l$  соответственно и выполняется переход на более низкий уровень иерархии диагнозов с целью уточнения диагноза. При невыполнении обеих

неравенств добавляется следующий  $i + 1$  признак и процедура повторяется.

В последовательном анализе границы принятия решений  $A$  и  $B$  связанные с ошибками классификациями  $\alpha$  и  $\beta$  следующими отношениями :

$$A = \frac{1-\beta}{\alpha}; \quad B = \frac{\beta}{1-\alpha}; \quad (3)$$

Следует отметить, что в (2, 3), условные вероятности и ошибки  $\alpha$  и  $\beta$  определяются в пространстве признаков.

Для комплексной оценки рисков врачебных ошибок, которые возникают на обоих этапах ДЛМ, в работе предлагается метод коррекции границ интервала неопределенности  $[A, B]$ , учитывая ошибки, которые возникают на этапе реализации ВД. Если принять  $\alpha = 0$  и  $\beta = 0$  – детерминированная связь, при которой эллипсоиды рассеяния классов  $l$  и  $q$  не пересекаются, то получаем:  $A = (1-0)/0 = \infty$ ,  $B = 0/(1-0) = 0$ .

Рассмотрим диапазоны изменения  $[A, B]$ . В случае совпадения многомерных функций распределения классов (классы не различимы)  $\alpha = \beta = 0,5$ .  $A = (1-0,5)/0,5 = 1$ ,  $B = 0,5/(1-0,5) = 1$ .

В пространстве ВД ошибки  $\alpha$  и  $\beta$  однозначно определяются минимальным разрезом  $R_i$  в каждом  $i$ -м узле дерева решений, состоящем из  $n_i$  диагностируемых состояний. Значение  $R_i$  определяется как суммарный вес дуг, которые принадлежат минимальному разрезу графа  $D_i$  на подграфы  $D_q$  и  $D_l$  :

$$R_i = \sum_j \sum_k r_{jk}, \quad j \in D_q, k \in D_l. \quad (4)$$

Следует отметить, что  $r_{jk}$  учитывают весовые коэффициенты в (1), и являются асимметричными, то есть  $r_{jk} \neq r_{kj}$ . Нормированное значение  $\bar{R}_i$  выражается формулой:  $\bar{R}_i = R_i / \sum_j \sum_k r_{jk}$ , где  $R_i$  определяется по (4), а в знаменателе суммарный вес всех дуг полносвязного графа из  $n_i$  вершин.

Полученное  $\bar{R}_i$  изменяется в диапазоне  $[0, 1]$  : если  $\bar{R}_i = 0$ , то два состояния  $D_q$  и  $D_l$  в пространстве ВД не различаются (два диагноза не отличаются методами лечения, поэтому даже максимальная ошибка не приводит к врачебной ошибке, то есть  $\alpha = \beta = 0,5$ ). Если  $\bar{R}_i = 1$ , то  $D_q$  и  $D_l$  максимально отличаются один от другого (вершины находятся на главной диагонали гиперкуба), и к ошибкам кластеризации необходимо применять наиболее жесткие требования, то есть  $\alpha = \beta = 0$ .

Исходя из выше изложенного, находится связь между  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\bar{R}_i$  :

$$\alpha = 0,5(1 - \bar{R}_{q1}) \quad \beta = 0,5(1 - \bar{R}_{lq}). \quad (5)$$

Определенные с помощью (5) погрешности задают пороги  $A$  и  $B$ , которые определяются по (3) и используются в РП (2).

### Многокритериальное назначение лекарственных препаратов

Учитывая то, что в качестве ВД для большинства патологий применяется медикаментозное лечение, рассмотрим более подробно реализацию ВД для данного случая, т.е.  $ma_i = f_i$ . В результате преобразования  $F6$  формируется множество необходимых фармакологических действий  $f_{D_i}$ , которые направлены как на ликвидацию причин заболеваний (антивирусные, антибактериальные и прочие), так и на ликвидацию симптомов (жаропонижающие, нормализации давления, сердечного ритма и т.д.).

Преобразования  $F7$  решает задачу формирования комплекса лекарственных препаратов (КЛП) с учетом  $f_{D_i}$  и индивидуальных особенностей  $i$ -го пациента. В формализованном виде указанная задача является задачей формирования множества лекарственных препаратов  $Y_i = \{y_1, \dots, y_{n_i}\}$ , которые обеспечивают процесс выздоровления  $i$ -го пациента (переход из состояния  $D_i$  в состояние  $D_0$  – практически здоровый), при оптимизации интегрального критерия качества процесса реабилитации

$$Q = \min(t, C, \alpha, \beta),$$

где  $t$  – время процесса реабилитации;  $C$  – стоимость процесса реабилитации;  $\alpha, \beta$  – риски отрицательных последствий применения лекарственных препаратов во время процесса лечения и в после-реабилитационный период.

Каждый лекарственный препарат  $y_i$  характеризуется вектором фармакологических действий  $F_{y_i} = \{f_1, \dots, f_{m_i}\}$  и вектором характеристик  $S_{y_i} = \{s_1, \dots, s_r\}$ , каждый компонент которого используется как локальный критерий при многокритериальном сравнении препаратов-аналогов (эффективность, доступность, цена, бренд производителя, риски побочных действий и т.д.). Взаимодействие отдельных препаратов  $y_k$  и  $y_l$  характеризуется показателем  $V_{kl}$  ( $V_{kl} = 0$  – препараты  $y_k$  и  $y_l$  не взаимодействуют;  $V_{kl} > 0$  – препараты  $y_k$  и  $y_l$  усиливают действия друг друга;  $V_{kl} < 0$  – препараты  $y_k$  и  $y_l$  ослабляют действия друг друга, а в предельном случае  $V_{kl} = -1$  – их совместное применение недопустимо). Кроме того, у каждого  $i$ -го пациента может наблюдаться

индивидуальная непереносимость к отдельным препаратам.

При формировании КЛП необходимо сформировать подмножество  $Y_i = \{y_1, \dots, y_{n_i}\}$ , при выполнении условия  $\forall k, l V_{kl} \geq 0, k, l = \overline{1, N}$ , где  $N$  – общее число доступных препаратов, совместное фармакологическое действие которых  $F_{y_1} \cup \dots \cup F_{y_i} \cup \dots \cup F_{y_{n_i}}$  покрывает множество необходимых фармакологических действий для пациента  $F_{D_i}$ . Вариантов такого покрытия может быть много, но надо обеспечить такое покрытие, которое минимизирует критерий качества  $Q$ .

Так как преобразование  $F7$  служат для формирования нескольких решений (вектор  $Y_i$ ), то для их реализации используется модифицированная дискретная искусственная нейронная сеть (ИНС) адаптивной резонансной теории – ART-1 [15], у которой к базовой архитектуре ART-1 добавленный слой регистрирующих нейронов с целью получения нескольких решений.

Разработаны алгоритмы обучения и формирования множества решений ИНС в  $F1$  и  $F4$ , а также алгоритм настраивания весов связей регистрирующего слоя, которые соответствуют глобальным приоритетам  $q_k$  препаратов-аналогов  $y_k$ , полученным на основе обработки экспертных оценок (парных сравнений относительно системы локальных приоритетов) препаратов-аналогов по МАИ [15].

### Программная реализация

В качестве основной платформы обоснован выбор Java [16], в которой обеспечивается возможность развертывания системы в различных аппаратно-программных средах, непроприетарный характер платформы, наличие множества открытых библиотек, поддерживаемых сообществом разработчиков. Проектирование архитектуры выполнялось с использованием шаблонов проектирования [17]. В архитектуре системы выделены три основных модуля: модуль взаимодействия с пользователем, базу данных (БД), включающую в себя базу знаний (БЗ) и модуль построения знаний.

Модуль взаимодействия с пользователем представлен графическим интерфейсом пользователя и позволяет осуществлять сбор данных обследований, административных данных, а также данных предоставляемых экспертами, которые используются при формировании знаний системы.

При этом определены следующие типы пользователей: администратор, врач-эксперт и врач-пользователь. Администратор определяет, какими полномочиями наделить другим пользователей, однако не имеет возможности самостоятельно вносить изменения в БД и БЗ, а также проводить

верификацию решения системы, поскольку не является врачом.

Наибольшими полномочиями владеет врач-эксперт. Он имеет возможность не только пересматривать, но и корректировать БД (удалять, изменять данные), вносить изменения в БЗ, а также корректировать решение системы. Однако, основная задача эксперта – это формирования БЗ. Пользователь-врач имеет возможность лишь пересматривать БД и, введя индивидуальные данные пациента, получить решение системы относительно диагноза и списка рекомендованных препаратов. Кроме того, ему предоставляется возможность вносить изменения в полученное решение, выполнив его верификацию. В зависимости от типа пользователя меняется и интерфейс системы.

Модуль построения знаний отвечает за формирование фреймов знаний, представленных иерархической структурой  $S_D$ , параметрами РП, множествами  $f_{ai}$ , описаниями лекарственных препаратов, экспертными оценками относительно локальных и глобальных приоритетов препаратов-аналогов.

Развертывание системы возможно на одном или на различных серверах с кластеризацией наиболее нагруженных модулей, а также конфигурирование балансировщика нагрузки (loadbalancer).

Работоспособность и эффективность работы системы подтверждается ее тестированием на реальных медицинских данных. Подсистема диагностики тестировалась с использованием обучающей выборки из 400 пациентов. В качестве предметной области выбрано заболевание крови, задано 4 класса по 100 пациентов в каждом ( $D_0$  – условно здоровые,  $D_1$  – железодефицитная анемия,  $D_2$  – анемия вследствие недостатка белков,  $D_3$  – анемия вследствие ферментных нарушений). Диагностическими признаками являются 13 показателей клинического анализа крови. Средняя достоверность компьютерного диагноза – 96,5%.

Подсистема назначения лекарственных препаратов тестировалась с использованием обучающей выборки из 194 пациентов. Предметная область медицины – дерматология. Диагностика ведется по 3 основным диагнозам (псориаз, экзема, лекарственная болезнь), при этом 117 пациентов имеют сопутствующие заболевания.

Указанные диагнозы (основные и сопутствующие) соответствуют 41 фармакологическому действию [18]. Для реализации указанных фармакологических действий, в БД лекарственных средств, согласно [11] внесено 340 лекарственных препаратов. Сформирована БЗ экспертных оценок и параметров ИНС. Результаты верификации решений системы относительно КЛП врачом-пользователем приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты верификации решений системы

Основной диагноз	N	N1	Верификация результатов врачом-пользователем			
			подтвердил		корректировал	
			ед.	%	ед.	%
Псориаз	116	68	99	85	17	15
Лекарств. болезнь	45	27	40	89	5	11
Экзема	33	22	29	88	4	12
Всего	194	117	168	87	26	13

\* обозначения в табл. 1 : N – Общее число пациентов, N1 – из них имеют сопутствующие заболевания.

### Обсуждение результатов

Таким образом, в 87% проведенных экспериментов врач согласился с решением системы. Если же врач не согласен с решением системы и выполняет его коррекцию, то в системе предусмотрен режим обучения ИНС с учителем, который разрешает системе “подстраиваться” под мнение врача.

В условиях рассмотренного примера (диагноз – псориаз, пациент принадлежит третьей группе) по дезинтоксикационному терапевтическому действию из всех препаратов-аналогов, которые обладают этим действием, системой был избран реосорбилакт. При этом глобальные приоритеты препаратов-аналогов следующие : неогемодез – 0,199; реосорбилакт – **0,343**; энтеросгель – 0,104; кардонат – 0,188; магния сульфат – 0,183.

Допустим, врач не согласен с таким решением системы, и из предложенных ему препаратов-аналогов выбирает кардонат. Установив значение обучающего коэффициента  $\alpha = 0,1$  по выражению

$$g_j^{new} = (g_j + \alpha q_j) / (1 + \alpha), \quad j = \overline{1, n1},$$

определяются новые значения глобальных приоритетов препаратов, то есть весовых коэффициентов нейронной сети : неогемодез – 0,181; реосорбилакт – **0,312**; энтеросгель – 0,095; кардонат – 0,262; магния сульфат – 0,166.

Если врач снова подтверждает свой выбор, то есть снова выбирает кардонат, то значения весовых коэффициентов нейронной сети будут иметь вид: неогемодез – 0,165; реосорбилакт – 0,284; энтеросгель – 0,086; кардонат – **0,329**; магния сульфат – 0,151.

Таким образом, уже после двух шагов обучения система будет выбирать именно тот препарат, на назначении которого настаивает врач.

В зависимости от значения обучающего коэффициента  $\alpha$  варьируется “скорость” обучение системы. Например, при  $\alpha = 0,02$  в условиях рассмотренного примера обучения пройдет за семь шагов (при условии, что врач подтверждает свой

выбор). Таким образом, значение обучающего коэффициента определяет степень доверия к данному врачу-пользователю, который проводит верификацию решения системы. В предельном случае, когда  $\alpha=0$ , система вообще не будет ориентироваться на мнение врача.

### Выводы

Разработаны информационные технологии поддержки принятия решений при проведении ЛДМ на основе формализации этапов проведения ЛДМ при их комплексной оценке, что позволяет минимизировать риски врачебных ошибок, повысить достоверность и обоснованность решений.

Для комплексной оценки этапов диагностико-лечебного процесса с целью минимизации рисков врачебных ошибок выполняется переход из традиционного пространства диагностических признаков в пространство врачебных действий.

Анализ диагнозов в пространстве врачебных действий позволил решить следующие задачи : минимизировать риски неправильного принятия решения на этапе диагностики с учетом их последствий на этапе ВД при синтезе дерева решения; разработать метод коррекции границ интервала неопределенности в диагностическом решающем правиле.

Выполнена программная реализация и ее тестирование на реальных медицинских базах данных. Архитектура программного обеспечения системы позволяет легко адаптироваться к различным предметным областям медицины.

Дальнейшие исследования направлены на использование более сложного представления врачебных действий, включая при необходимости ранговые и числовые компоненты, формируя соответствующее пространство при реализации других видов врачебных действий (хирургическое вмешательство, лечебно-терапевтическое воздействие, реабилитационные мероприятия).

### Список литературы

1. **Поворозник, А. И.** Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил / **А. И. Поворозник** – Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. – 2011. – 314 с.
2. **Кобринський, Б. А.** Ретроспективний аналіз медичних експертних систем / **Б. А. Кобринський** // *Новини ітучного інтелекту*. – 2005. – № 2. – С. 6-18.
3. **Sadegh-Zadeh, K.** The Logic of Diagnosis / **K. Sadegh-Zadeh** // *Philosophy of Medicine* – 2011. – P. 357-424.
4. **Innocent, P. R.** Fuzzy Methods and Medical Diagnosis / **P. R. Innocent, R. I. John, J. M. Garibaldi** // *The Centre for Computational Intelligence Department of Computer Science De Montfort University, Leicester, UK.* – 2004. – P. 4-17.
5. **Ceylana, R.** A novel approach for classification of ECG arrhythmias: Type-2 fuzzy clustering neural network / **R.**

- Ceylana, Y. Özbaya, B. Karlikb** // *Expert Systems with Applications.* – 2009. – Vol. 36 (3). – P. 6721-6726. – doi: 10.1016/j.eswa.2008.08.028.
6. **Yang, Y. T.** Trends in the growth of literature of telemedicine: A bibliometric analysis / **Y. T. Yang, U. Iqbal, Horn-Yu Ching J.** [et al.] // *Computer Methods and Programs in Biomedicine* – Vol. 122 (3) – 2015. – P. 471-479. – doi: 10.1016/j.cmpb.2015.09.008.
  7. **Владимирский, А. В.** Телемедицина: монография / **А. В. Владимирский.** – Донецк: ООО «Цифровая типография». – 2011. – 437 с.
  8. **Hwang D.** Monitoring Progress and Adherence with Positive Airway Pressure Therapy for Obstructive Sleep Apnea: The Roles of Telemedicine and Mobile Health Applications / **D. Hwang** // *Sleep Medicine Clinics* – Vol. 11 (2) – 2016. – P. 161–171. – doi: 10.1016/j.jsmc.2016.01.008.
  9. **Файнзильберг, Л. С.** Обобщенный метод обработки циклических сигналов сложной формы в многомерном пространстве параметров / **Л. С. Файнзильберг** // *Проблемы управления и информатики.* – 2015. – № 2. – С. 58-71.
  10. **Trzuppek, M.** Intelligent image content semantic description for cardiac 3D visualisations / **M. Trzuppek, M. R. Ogiela, R. Tadeusiewicz** // *Engineering Applications of Artificial Intelligence* – Vol. 24 (8) – 2011. – P. 1410-1418. – doi: 10.1016/j.engappai.2011.05.005.
  11. Компендиум 2015 – лекарственные препараты /Под ред. **В.Н. Коваленко, А.П. Викторова.** [Электронный ресурс] <http://www.compendium.com.ua>.
  12. **Саати Томас Л.** Принятие решений при зависимостях и обратных связях: Аналитические сети. Пер. с англ. / Научн. ред. А. В. Андрейчиков, О .Н. Андрейчикова – М.: Издательство ЛКИ. – 2008. – 360 с.
  13. **Povoroznyuk, A. I.** Design of decision support system when undertaking medical-diagnostic action / **A. I. Povoroznyuk, A. E. Filatova, W. Surtelb, and others** // *Optical Fibers and Their Applications.* – 2015. – Proc. of SPIE Vol. 9816. – P. 98161O1–98161O17. – doi: 10.1117/12.2229295.
  14. **Филлипс, Д.** Методы анализа сетей. Пер. с англ. / **Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас** – М: Мир. – 1984. – 648 с.
  15. **Дмитриенко В. Д.** Многокритериальная оценка лекарственных препаратов / **В. Д. Дмитриенко, О. А. Поворозник** // *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія.* – Вінниця, ВНТУ. – 2009 – №3. – С.144-148.
  16. **Эккель, Б.** Философия Java / **Б. Эккель** – СПб.: Питер. – 2009. – 640 с.
  17. **Бек, К.** Шаблоны реализации корпоративных приложений / **К. Бек** – М.: ООО "И.Д. Вильямс". – 2008. – 176 с.
  18. Рациональна діагностика та лікування в дерматології та венерології / За ред. **І. І. Маврова** // "Довідник лікаря Дерматолог – Венеролог". – К.: ТОВ "Доктор-Медіа". – 2007. – 344 с.

### Bibliography (transliterated)

1. **Povoroznyuk, A. I.** Sistemy podderzhki prinjatija reshenij v medicinskoj diagnostike. Sintez strukturirovannyh modelej i reshajushih pravil. Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011, 314 p.
2. **Kobrin'skij, B. A.** Retrospektivnij analiz medichnih ekspertnih system. *Novini shtuchnogo intelektu*, 2005, 2, 6-18.

3. **Sadegh-Zadeh, K.** The Logic of Diagnosis. *Philosophy of Medicine*, 2011, 357-424.
4. **Innocent, P. R. John, R. I., Garibaldi, J. M.** Fuzzy Methods and Medical Diagnosis. *The Centre for Computational Intelligence Department of Computer Science De Montfort University, Leicester, UK*. 2004, 4-17.
5. **Ceylana, R., Özbaya, Y., Karlikb, B.** A novel approach for classification of ECG arrhythmias: Type-2 fuzzy clustering neural network. *Expert Systems with Applications*, 2009, 36(3), 6721-6726, doi: 10.1016/j.eswa.2008.08.028.
6. **Yang, Y. T., Iqbal, U., Horn-Yu Ching J.** [et al.] Trends in the growth of literature of telemedicine: A bibliometric analysis. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2015, 122(3), 471-479, doi: 10.1016/j.cmpb.2015.09.008.
7. **Vladimirskij A. V.** Telemedicina: monografija. Doneck: OOO «Cifrovaja tipografija», 2011, 437 p.
8. **Hwang, D.** Monitoring Progress and Adherence with Positive Airway Pressure Therapy for Obstructive Sleep Apnea: The Roles of Telemedicine and Mobile Health Applications. *Sleep Medicine Clinics*, 2016, 11 (2), 161-171, doi: 10.1016/j.jsmc.2016.01.008.
9. **Fajnzil'berg L. S.** Obobshhennyj metod obrabotki ciklicheskih signalov slozhnoj formy v mnogomernom prostranstve parametrov. *Problemy upravlenija i informatiki*. 2015, 2, 58-71.
10. **Trzuppek, M., Ogiela, M. R., Tadeusiewicz, R.** Intelligent image content semantic description for cardiac 3D visualisations. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2011, 24 (8), 1410-1418, doi: 10.1016/j.engappai.2011.05.005.
11. Kompendium 2015 – lekarstvennye preparaty. Pod red. **V. N. Kovalenko, A. P. Viktorova.** [Web] <http://www.compendium.com.ua>.
12. **Saati Tomas L.** Prinjatje reshenij pri zavisimostjakh v obratnyh svjazjah: Analiticheskie seti. Per. s angl. / Nauchn. red. A. V. Andrejchikov, O .N. Andrejchikova. Moskow: Izdatel'stvo LKI, 2008, 360 p.
13. **Povoroznyuk, A. I., Filatova, A. E., Surtelb, W.** Design of decision support system when undertaking medical-diagnostic action. *Optical Fibers and Their Applications*, 2015, 9816, 9816101-98161017, doi: 10.1117/12.2229295.
14. **Fillips, D., Garsia-Dias, A.** Metody analiza setej. Per. s angl. Moskow: Mir, 1984, 648 p.
15. **Dmitrienko, V. D., Povoroznyuk, O. A.** Mnogokriterial'naya ocenka lekarstvennykh preparatov. *Informacijni tekhnologii ta kompjuterna inzheneriya*. Vinnica, VNTU, 2009, 3, 144-148.
16. **Jekkel', B.** Filosofija Java. SanktPiterburg: Piter, 2009, 640p.
17. **Bek, K.** Shablony realizacii korporativnyh prilozhenij. Moskow: OOO "I.D. Vil'jams", 2008, 176 p.
18. Racional'na diagnostika ta likuvannja v dermatologii ta venerologii. Za red. **I. I. Mavrova.** "Dovidnik likarja Dermatolog – Venerolog". Kyiv: TOV "Doktor-Media", 2007, 344 p.

#### Сведения об авторах (About authors)

**Поворознюк Анатолий Иванович** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры вычислительной техники и программирования; г. Харьков, Украина; e-mail: ai.povoroznjuk@gmail.com.

**Anatoly Povoroznyuk** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Computer Engineering and Programming National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Kharkov, Ukraine, E-mail: ai.povoroznjuk@gmail.com

**Поворознюк Оксана Анатольевна** – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры вычислительной техники и программирования; г. Харьков, Украина; e-mail: povoks@i.ua.

**Oksana Povoroznyuk** – Candidate of Technical Sciences, Department of Computer Engineering and Programming National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Kharkov, Ukraine, E-mail: povoks@i.ua.

*Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Поворознюк, А. И.** Информационная поддержка диагностико-лечебных мероприятий в медицине / **А. И. Поворознюк, О. А. Поворознюк** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 25 (1197). – С. 73-79. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.11.

*Please cite this article as:*

**Povoroznyuk, A., Povoroznyuk, O.** Information support diagnostic-medical action in medicine. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, 25 (1197), 73-79, doi:10.20998/2413-4295.2016.25.11.

*Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Поворознюк, А. І.** Інформаційна підтримка діагностично-лікувальних заходів в медицині / **А. І. Поворознюк, О. А. Поворознюк** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – №25(1197). – С. 73-79. – doi:10.20998/2413-4295.2016.25.11.

**АНОТАЦІЯ** Формалізовані етапи діагностично-лікувальних заходів при розробці комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень в медицині. Для комплексної оцінки етапів діагностично-лікувального процесу з метою мінімізації ризиків лікарських помилок виконується перехід з традиційного простору діагностичних ознак в простір лікарських дій. Аналіз діагнозів в просторі лікарських дій дозволив розробити метод ієрархічної кластеризації діагнозів в просторі лікарських дій і корекцію порогів в діагностичному вирішальному правилі.

**Ключові слова:** комп'ютерна система, прийняття рішення, діагностика, лікування, лікарська дія, лікарська помилка, діагностична ознака, вирішальне правило.

*Поступила (received) 19.06.2016*