

ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ ВРАЧЕБНЫХ РЕШЕНИЙ

К. М. Демушкина¹, М. О. Демушкин², А. В. Кузьмин³

^{1,3} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

² Научно-производственное предприятие «Рубин», Пенза, Россия

¹ riabova.ksenija@yandex.ru, ² demushkinmo@mail.ru, ³ a.v.kuzmin@pnzgu.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Данное исследование посвящено обзору методов проектирования систем поддержки принятия врачебных решений. *Материалы и методы.* Основным источником информации стала российская научная электронная библиотека ELibrary, а также международные базы научных статей. Проанализированы работы российских и зарубежных специалистов, которые ведут исследование и разработку в области системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР). *Результаты.* В результате исследования был выявлен метод, который, по данным проанализированных источников, наиболее эффективен при разработке СППВР: нечеткая кластеризация. Обоснована неэффективность таких методов, как методы *k*-средних, *Fuzzy C-Means* и кластеризация по Гюстафсону-Кесселю. Выявлен ряд недостатков, с которыми сталкиваются разработчики при проектировании СППВР. Данное исследование позволит в дальнейшем избежать проблем, связанных с разработкой СППВР, и учесть опыт использования различных методов искусственного интеллекта (ИИ) при проектировании СППВР. *Выводы.* Сделаны выводы о эффективности использования метода нечеткой кластеризации и рациональности использования иных методов (метод *k*-средних, *Fuzzy C-Means* и кластеризация по Гюстафсону-Кесселю). На основании проанализированных данных о разработке различных СППВР сформировано представление о возможной проблематике дальнейших исследований и разработок в этой области.

Ключевые слова: система поддержки принятия врачебных решений, нечеткая логика, нечеткая кластеризация, экспертные системы, искусственный интеллект

Для цитирования: Демушкина К. М., Демушкин М. О., Кузьмин А. В. Обзор методов проектирования систем поддержки принятия врачебных решений // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2022. № 2. С. 75–89. doi:10.21685/2227-8486-2022-2-6

REVIEW OF METHODS FOR DESIGNING CLINICAL DECISION SUPPORT SYSTEMS

K.M. Demushkina¹, M.O. Demushkin², A.V. Kuzmin³

^{1,3} Penza State University, Penza, Russia

² Scientific and Production Enterprise "Rubin", Penza, Russia

¹ riabova.ksenija@yandex.ru, ² demushkinmo@mail.ru, ³ a.v.kuzmin@pnzgu.ru

Abstract. *Background.* This study is devoted to the review of methods for designing medical decision support systems. *Materials and methods.* The main source of information was the Russian scientific electronic library elibrary and international databases of scientific articles. There were analyzed the works of Russian and foreign specialists who conduct research and development in the field of clinical decision support systems (CDSS). *Results.* As a result of the study, the method that is most effective in the development of a CDSS was identified on the base of the analyzed sources: fuzzy clustering. Moreover, the inefficiency of such methods as: k-means methods, Fuzzy C-Means and Gustafson-Kessel clustering is justified. The study revealed a number of drawbacks faced by developers when designing a CDSS. This study will allow us to avoid the problems associated with the development of the CDSS in the future and take into account the experience of using various AI methods in the design of the CDSS. *Conclusions.* Conclusions are drawn about the effectiveness of using the fuzzy clustering method and the rationality of using other methods (the k-means method, Fuzzy C-Means and Gustafson-Kessel clustering). On the basis of the identified problems in the development of the CDSS, an idea was formed about the possible problems of the existing CDSS.

Keywords: clinical decision support system, fuzzy logic, fuzzy clustering, expert systems, artificial intelligence

For citation: Demushkina K.M., Demushkin M.O., Kuzmin A.V. Review of methods for designing clinical decision support systems. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society.* 2022;(2):75–89. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2022-2-6

Введение

В настоящее время задача эффективной и качественной медицинской помощи остается актуальной. Более того, в текущих условиях пандемии крайне важно не только правильно поставить диагноз и назначить эффективное лечение, но и сделать это в достаточно короткие сроки. Система поддержки принятия врачебных решений позволяет практикующему врачу достаточно быстро получить анализ большого количества статистической информации. СППВР различают в зависимости от структуры, в которой она функционирует: неотложная помощь, кардиология, эндокринология, невралгия и т.д. Такое разделение, с одной стороны, упрощает задачу за счет своей детерминации, а с другой стороны, порождает ряд нюансов, которые важно учитывать при проектировании.

Задача исследования состоит в поиске эффективных средств разработки систем поддержки принятия решений, а также выявлении проблем, с которыми сталкиваются разработчики подобных СППВР.

В данной статье представлены различные мнения и взгляды на проектирование систем поддержки принятия врачебных решений в существующих структурах здравоохранения.

Данная статья является результатом научной работы, посвященной исследованию и разработке алгоритмических и программных средств поддержки принятия решений в медицинской организации.

Метод нечеткой кластеризации для построения нечетких экспертных систем

Метод нечеткой кластеризации для построения экспертных систем на сегодняшний день один из самых популярных методов в России и за рубежом.

В России эти исследования представлены работами А. В. Крошила [5–7]. Автор работы выделяет три параметра для описания предметной области. Во-первых, это множество семантических сетей, представляющих собой модель ПО. Вторым параметром – это набор операций, доступный для семантических сетей. Третьим параметром, по мнению автора, является множество отношений на объекты. Множество семантических сетей характеризуется множеством объектов ПО и дугами, связывающими эти объекты. Множество отношений на объекты представляет собой набор объектов и функцию принадлежности между объектами ПО. Автор предлагает обобщать группы объектов, характеризующие один единый суперобъект:

$$\Lambda = \{A_1^\vee, A_2^\vee, \dots, A_n^\vee\}$$

Функция отношения для n объектов будет вычисляться по формуле

$$R_{f, \tilde{A}_i, \tilde{A}_j}^i = \{(x_i, x_j), \mu_{f, \tilde{A}_i, \tilde{A}_j}(x_i, x_j) \mid \tilde{A}_i, \tilde{A}_j \in \Lambda, i \neq j, 1 \leq i, j \leq n\}$$

Более того, множество объектов семантической сети представлены набором критериев ПО, их понятий и отношениями между понятием и критерием.

Таким образом, в основе любой модели лежит отдельная семантическая сеть, которые, в свою очередь, при объединении образуют единую модель ПО.

Регрессионная модель данных позволяет из набора функций выбрать ту, которая сведет потери к минимуму. Использование регрессионной модели данных приводит разработчиков к проблеме кластеризации. Существует некоторое количество множеств объекта, для которого характерны определенные наборы атрибутов ПО с неизвестным атрибутом в составе. Определение неизвестного атрибута – задача нечеткой кластеризации. Автор полагает, что для поиска интересующих связей в базе данных необходимо прибегнуть к выявлению закономерностей среди часто встречающихся объектов ПО.

Наряду с задачей ассоциативных правил автор выделяет задачу кластеризации. Под кластеризацией подразумевается разбиение множества объектов ПО на группы согласно атрибутам.

Стоит отметить, что вероятностный подход [1] в значительной степени уступает методу нечеткой кластеризации. Основная причина состоит в повышенной степени обоснованности принимаемых решений при нечеткой кластеризации. Также метод нечеткой кластеризации позволяет учитывать все возможные альтернативы выбора по сравнению с вероятностным подходом.

В статье «Проектирование систем поддержки принятия решений для оценки состояния здоровья пациентов в условиях неопределенности» [6] предлагается методика автоматизированной оценки состояния пациента. Семантическая модель представлена как множество G – множества характеристики и U – множество дуг, связывающих характеристики в модели пациента.

Модель пациента: $S = \langle G, U \rangle$

Множество G представляет собой объединение следующих характеристик: эпидемиологической ситуации, медицинского учреждения, состояния пациента, оборудования исследования, курса лечения и др. Каждая характеристика представлена следующим набором: I – название характеристики в модели пациента, P – множество атрибутов, связанных с характеристикой,

U_{Gi} – множество отношений между атрибутами P и характеристиками I . Для оценки состояния пациента существует множество действий M , включающее в себя G' – набор некоторого множества характеристик, описывающих текущее состояние пациента, W_i – построенная рабочая гипотеза о состоянии здоровья пациента и U_{Mi} – множество отношений между характеристиками и гипотезами.

Курс лечения представлен следующим набором: O_k – это пациент; M_k – множество действий с ним. В рамках работы с пациентом врач может воспользоваться доступными средствами для извлечения данных, а именно математической моделью, медицинской статистикой, анализами и исследованиями, анамнезом. Стоит отметить, что под математической моделью подразумевается совокупность математических методов для формализации данных под анализ. Медицинская статистика содержит в себе сведения статистических данных, обобщенных по районам, городам и т.д., а также сведения об общей эпидемиологической ситуации.

Медицинские исследования и ФЛГ представлены в виде коэффициентов, удобных для обработки системой.

Опрос пациента состоит в заполнении некоторой анкеты, которая позволяет выявить жалобы пациента как при первичном обследовании, так и для отслеживания динамики лечения.

Автор затрагивает проблему сложного определения значимости атрибутов для оцениваемой характеристики, поэтому в разработанной системе автор предлагает давать разную степень зависимости [3]. Типы зависимости также определяются нечеткими объектными связями и двумя параметрами: тип критерия оценки характеристики – T и нечеткое множество – U_{IP}^G . Нечеткое множество отражает степень зависимости между показателями состояния пациента и значимости атрибутов. T состоит из критерия оценки «ситуация» и критерия оценки «рекомендация».

Выбор отношения предпочтения $pf(O_k, S_j)$ определяет связь между действиями, осуществляемыми над пациентом и моделями пациентов. Связь можно определить представлением понятия «предпочтения» выбора из двух моделей.

Результатом данного исследования является способ оценки состояния пациента и оценка методов лечения. Получаемая оценка позволит СППВР более тщательно подходить к выбору альтернатив для принятия решений, поскольку данная оценка является базой знаний для СППВР. Наличие обширной базы знаний для поддержки СППВР является залогом успешного предоставления решений для постановки диагноза и постановки лечения. Нечеткая кластеризация позволяет собрать все возможные варианты решений, не исключая незначимые варианты. Использование нечеткой кластеризации позволило врачам выявить возможности корректировки лечения для достижения максимального результата предельно быстро.

Ряд работ российских исследователей [8, 13] рассматривает существующие методы нечеткой логики, а именно FCM -кластеризацию, c -средних. Авторы рассматривают различные подходы и модификации уже известных методов, подчеркивая практическую значимость методов нечеткой кластеризации.

В работах зарубежных авторов [20, 28–30] рассматривается метод нечеткой кластеризации для построения систем поддержки принятия решений. За-

дача кластеризации включает в себя множество значений, которые предусматривают неопределенность. Зарубежные авторы [28] предлагают новый метод для кластеризации данных, определяя коническую функцию принадлежности для представления множеств CNF и выявляя нечеткое различие между парой нечетких наблюдений, которое является расширением нечеткого расстояния, предложенного L.T. Koszy (1993). Кроме неопределенных данных, существуют и временные характеристики, которые при помощи нечеткой кластеризации эффективно внедряются в СППР [31]. Также авторы [20] предлагают использовать не только распространенные методы нечеткой логики, но и метод нечеткой когнитивной карты. Нечеткая когнитивная карта (FCM) – это когнитивная карта, в рамках которой отношения между элементами (например, концепциями, событиями, ресурсами проекта) «ментального ландшафта» могут быть использованы для вычисления «силы воздействия» этих элементов.

Стоит отметить, что актуален не только вопрос разработки систем поддержки принятия решений, но и средств разработки экспертных систем [21]. В работе представлены идеи построения объектно-ориентированного фреймворка для разработки систем поддержки клинической диагностики.

Практические решения и проблематика разработки СППВР

Системы поддержки принятия решения на сегодняшний день одни из самых востребованных систем в медицине. Важно понимать, что СППВР решают не только общие терапевтические вопросы, но и оказывают поддержку узким специалистам.

В России существуют разработки по общетерапевтическому направлению экспертных систем. Одна из таких разработок – система «Диспансер», которая в своей работе использует метод нечеткой кластеризации.

Система «Диспансер» основывается на методе кластеризации и предназначена для мониторинга пациентов. Автор работы утверждает: «Аналитическая система решает проблему эффективного мониторинга информации, благодаря формированию детальной задачи поиска зависимостей, который оказывает влияние на группировку данных в исходном множестве» [6].

Важно помнить, что существуют и иные методы кластеризации (рис. 1).

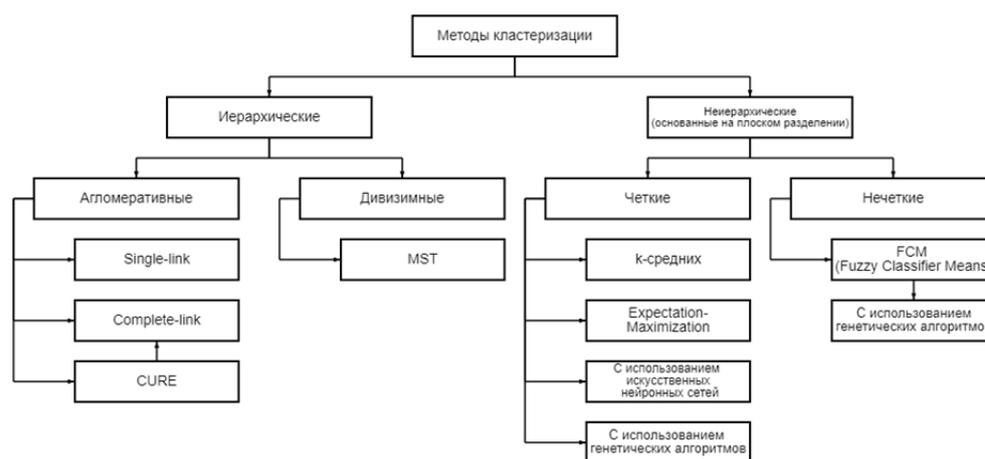


Рис. 1. Классификация методов кластеризации

Рассмотрим каждый из методов подробнее. Метод k -средних предполагает разделение множества наблюдений на некоторое число кластеров. Все имеющиеся наблюдения будут относиться к определенному кластеру, к которому ближе всего находится рассматриваемое наблюдение. Метод *Fuzzy C-Means* является усовершенствованным методом k -средних. Кластеризация по Гюстафсону-Кесселю определяет каждую точку как элемент, который может относиться ко всем существующим кластерам, но с разной степенью принадлежности. В рассматриваемом методе допускается разбиение множества на заданное число нечетких множеств. Стоит отметить, что степень принадлежности к кластеру будет рассчитываться для каждого элемента. Автор работы [6] отмечает в перечисленных методах ряд существенных недостатков: применение определения «центр кластера» в решении поставленных задач (отмечая, что центр может отсутствовать); извлечение кластеров определенным алгоритмом, что приведет к потере существенного количества кластеров; получения кластеров за счет отношения между центрами кластеров и элементами данных. Использование методов нечеткой логики и рассмотрение связей атрибутов как нечетких связей объектов позволит избавиться от недостатков, описанных выше.

Рассмотрим алгоритм нечеткой кластеризации, использующий нечеткое отношение равнозначности.

Первым этапом является создание для каждого образца данных меры подобия по расстоянию $\mu_u(x)$. Затем для каждого образца на основе нормальной меры подобия по расстоянию создать относительную меру подобия для двух образцов данных $\tau_y(x, z)$. После чего разработать меру подобия образцов в пространстве множества X , для t -нормы взять \min -норму: $\tau_y(x, z) = \min(\tau_{y_1}(x, z), \dots, \tau_{y_{|X|}}(x, z))$ – это нечеткое отношение толерантности на множестве X , $\forall x, y_i, z \in X, i = 1, \dots, |X|$. На четвертом этапе провести вычисления в цикле транзитивного замыкания отношения нечеткой толерантности: $R_\tau^i = R_\tau^{i-1} \circ R_\tau$, где $R_\tau = \tau(x, y), \forall x, z \in X, i = 2, \dots, |X|$. В результате получим $R_\tau^{|X|}$, которое является отношением нечеткой равнозначности. В заключение необходимо создать для отношения нечеткой равнозначности градацию упорядоченного по возрастанию множества элементов матрицы этого отношения.

На рис. 2 представлена укрупненная схема НАС.

На начальном этапе происходит предварительная обработка данных. Данный этап позволяет провести анализ обработанных данных и среди них выявить необходимые атрибуты. Предварительная обработка заключается в нормировании данных методом взвешивания и упорядочивания атрибутов. Взвешивание атрибутов происходит с участием экспертов, которые дают оценку категориальным атрибутам. Упорядочивание происходит в том случае, когда отсутствует эксперт и провести взвешивание невозможно.

Настройки условия и способов исследования данных, а также состав и количество кластеров задаются в блоке настроек.

Блок нечеткой логики в основе своей работы использует алгоритмы кластеризации. Алгоритм кластеризации заключается в переборе количества кластеров, самом процессе кластеризации и присвоении новых значений ат-

рибутам. Стоит отметить, что блок нечеткой логики непрерывен до тех пор, пока не будут выполнены условия, заданные на предыдущем этапе.

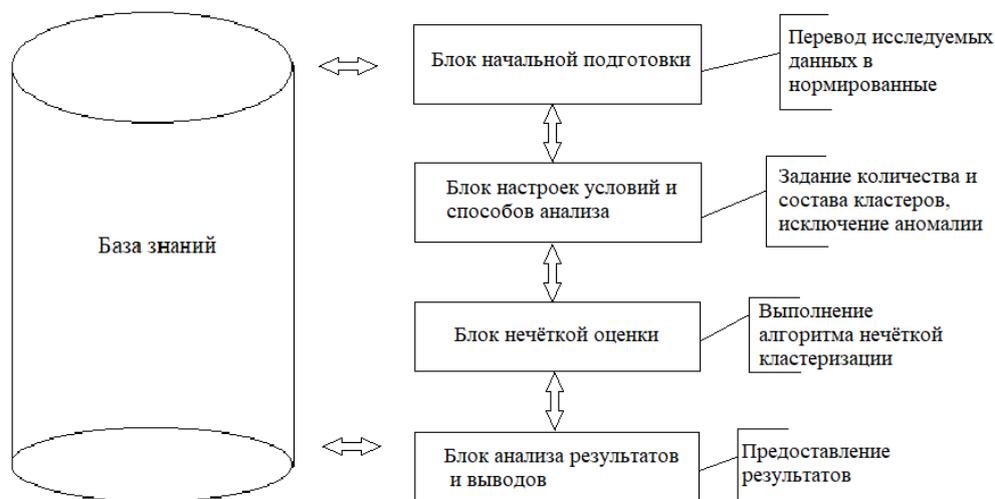


Рис. 2. Увеличенная схема НАС

Блок анализа результатов и выводов осуществляет функцию представления результатов. В статье отмечается: «Результаты могут быть представлены в перечислении кластеров с указанием их элементов либо в виде матрицы принадлежности – таблицы, где строки соответствуют элементам, а столбцы – кластерам; в ячейках таблицы содержатся значения функций принадлежности».

Таким образом, использование метода нечетко-множественного подхода является наиболее оптимальным, поскольку предоставляет возможность пользователю формализовать нечеткие представления. Кроме того, данный подход позволяет проводить эффективный анализ данных без существенного наличия ресурсов.

Существует ряд работ по кардиологии [10, 15], где рассматриваются особенности проектирования экспертных систем и формирование базы знаний по этому направлению.

Статья «Интеллектуальные системы поддержки принятия врачебных решений в кардиологической практике» представляет собой обзор основных методов, используемых в этих системах, рассмотрены алгоритмы машинного обучения, применяемые в классификаторах риска сердечно-сосудистых заболеваний, исследована проблема оценки их диагностической эффективности, определены наиболее актуальные задачи исследования в этой области [10].

Основные методы, используемые в работе для моделей прогнозирования: теория нечеткой логики принятия решений и нечеткая логика Л. Заде. Большинство СППР основано на машинном обучении, выделяют три группы алгоритмов: обучение с учителем, обучение без учителя и обучение с подкреплением.

В работе описаны методы и способы классификации объектов, а также различные обучающие репозитории, предоставляющие данные для машинного обучения, а именно: *UC Irvine* аккумулирует наборы данных, которые могут быть использованы для эмпирического анализа алгоритмов машинного

обучения; набор данных *Z-Alizadeh Sani* содержит записи о 303 пациентах, признаки разделены на четыре группы: демографические, симптоматические и обследованные, ЭКГ, лабораторные и эхо-аналитические. Кливлендский набор данных по болезни сердца содержит 76 атрибутов и 303 экземпляра, задача которого предсказать наличие сердечных заболеваний у пациента.

Не только кардиология нуждается в экспертной системе, но и онкологические заболевания, заболевания ЖКТ и другие направления здравоохранения [2, 16, 26, 27]. В статье «Опыт разработки системы поддержки принятия врачебных решений при острых воспалительных заболеваниях глотки» рассматривается возможность разработки системы поддержки принятия решения для всесторонней диагностики заболеваний глотки. В основе подобной системы лежит наивный байесовский классификатор. Коллектив авторов собрал набор сведений, которые легли в основу машинного обучения методом байесовского классификатора. Авторы пришли к следующему выводу: «Таким образом, СППВР, построенная на НБК, способна выделять патогномичные симптомы заболеваний за счет высокой апостериорной вероятности. НБК позволяет выставить диагноз, но в ходе исследования выяснилось, что заключения информационной системы, основанные на НБК, позволяют подтвердить клинические диагнозы с точностью до 60,3 %, что накладывает значительные ограничения к использованию НБК в реальной клинической диагностике и ставит под вопрос возможность применения НБК в качестве единственного метода разработки СППВР при постановке оториноларингологического диагноза» [9].

В статье «Создание информационной системы поддержки принятия врачебных решений на основе методов доказательной медицины» коллектива авторов описывается исследование по созданию СППВР на основе доказательной медицины. Авторы представили широкий ряд существующих медицинских баз знаний, которые являются основой для создания современных систем поддержки клинических решений. В статье поднимается проблема поиска информации по существующим коллекциям знаний. Авторы статьи полагают: «Традиционный подход контекстного поиска по предварительно индексированным документам не обеспечивает поисковую выдачу нужного качества и требует от пользователя дополнительных временных затрат на изучение предоставленных документов» [14]. Причина данной проблемы кроется в специфике лингвистического обеспечения задач анализа биомедицинского контента. Для решения данной проблемы предлагается разработать методику формирования мультязычного реестра источника информации для прогнозирования трендов и развития перспективной медицины; разработать технологию парсинга для формирования наборов данных анализируемых документов; создание этапа предобработки данных с целью их нормализации с использованием биомедицинских тезаурусов и антологий, создание коллекций мультязычных документов и проведение машинного обучения на сформированных коллекциях документов.

Другие работы как российских авторов, так и зарубежных описывают общие принципы построения экспертных систем [19, 23, 24, 32, 33]. В своих работах авторы отмечают необходимость разработок экспертных систем для сферы здравоохранения. Также авторы выделяют особенность проектирования СППВР, сложность формализации медицинских показателей, сложность

оценки значимости характеристик и некорректные результаты работы методов искусственного интеллекта.

В статье И. А. Шадеркина рассматриваются слабые стороны искусственного интеллекта в медицине [18]. Автор рассказывает об основных неудачах при разработке СППВР, которые оказывают отрицательный эффект на принятое решение. Среди проблем, лежащих на поверхности (ошибки разработчиков, неправильно собранные наборы данных), автор отмечает следующее:

1. Искажение первичных медицинских знаний: стоит отметить, что специалист по обработке данных чаще всего имеет собственное устоявшееся субъективное время, которое он внедряет в систему. Более того, ни один врач не публикует свой отрицательный опыт по причине этических и юридических проблем, а отрицательный опыт мог бы попасть в базу знаний и еще более детально подвергся анализу со стороны ИИ.

2. Отсутствие знаний или недостоверные знания о предметной области: зачастую врачи-практики не всегда используют методы и способы диагностики и лечения, предписанные клинической картиной, что может говорить о недостаточном уровне знаний о состоянии организма человека, неправильной интерпретации протекающих патологических процессов, приводящих к заболеванию, и неправильном подходе к их лечению.

3. Социальные искажения: иногда в своей практике врач принимает волевое решение, выходящее за рамки клинических рекомендаций. Такие решения сложно классифицировать и алгоритмизировать.

Таким образом, показан ряд слабых сторон при проектировании СППВР. Подобные исследования позволяют улучшить и оптимизировать работу СППВР, а также избежать данных проблем еще на этапе проектирования.

Заключение

Система поддержки принятия врачебных решений требует от разработчика детального проектирования, учитывающего все нюансы сферы, в которой она будет применяться. Крайне важно обратить внимание на недоработки существующих экспертных систем: недостаточные наборы данных, которые не учитывают отрицательный опыт или опыт, описанный в статьях; отсутствие знаний или их недостоверность; отсутствие решений, выходящих за рамки клинических случаев.

Большое значение имеют методы построения подобных экспертных систем, которые были описаны во многих работах как российских исследователей, так и зарубежных. В основном зарубежные авторы используют метод *Fuzzy C-Means*, полагая, что он наиболее эффективный для построения экспертных систем. В российских работах имеет место преимущественно метод нечеткой кластеризации, который решает проблемы, порожденные методом *Fuzzy C-Means*: потеря центров кластеров за счет определенного метода; определение «центра кластера», когда его может и не быть; потеря множества данных за счет определения принадлежности к кластеру.

Также стоит отметить, что разработка подобных систем – это перспективная сфера, поскольку существует множество направлений в здравоохранении, где необходимы узкоспециализированные СППВР, что подтверждается множеством публикаций, в которых отмечается специфика сферы, для которой разрабатывается СППВР. На сегодняшний день наряду со множе-

ством актуальных разработок существует и ряд проблем, которые разработчики стремятся решить.

Список литературы

1. Львович И. Я., Гладских Н. А., Гладышев М. В., Токарь В. А. Алгоритм работы системы интеллектуальной поддержки принятия врачебных решений на основе вероятностных моделей Байеса // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2010. Т. 9, № 4. С. 922–929.
2. Емельянова Ю. А., Марухина О. В. Алгоритмическая база системы поддержки принятия врачебных решений при выборе тактики лечения детей с эндокринопатиями // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2018) : сб. науч. тр. XXI Российской науч. конф. : в 2 т. (г. Москва, 25–28 апреля 2018 г.) / под науч. ред. Ю. Ф. Тельнова. М. : Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова, 2018. С. 135–138.
3. Князев Е. Г., Самченко А. А., Рюмкин К. В. Формирование системы поддержки принятия врачебных решений на основе оцифровки клинических рекомендаций с применением инструментов формальной логики // Менеджмент качества в медицине. 2019. № 4. С. 52–57.
4. Кох А. В., Алекберов Р. И., Скрыбин Н. А. Система поддержки принятия врачебного решения // Актуальные проблемы теоретической, экспериментальной, клинической медицины и фармации : материалы 52-й ежегодной Всерос. конф. студентов и молодых ученых, посвящ. 90-летию доктора медицинских наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ Павла Васильевича Дунаева (г. Тюмень, 12 апреля 2018 г.). Тюмень : РИЦ «Айвекс», 2018. С. 128–129.
5. Крошилин А. В. Применение нечеткой кластеризации для эффективного мониторинга статистической информации в неопределенности системах // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2010. № 32. С. 71–76.
6. Крошилин А. В., Крошилина С. В., Пылькин А. Н. Проектирование систем поддержки принятия решений для оценки состояния здоровья пациентов в условиях неопределенности // Информатика и системы управления. 2010. № 4. С. 82–94.
7. Крошилина С. В., Крошилин А. В. Применение нечетко-множественного подхода для построения нечетких экспертных систем // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2007. № 22. С. 69–73.
8. Кудинов Ю. И., Кудинов И. Ю. Нечеткое моделирование и кластеризация // Проблемы управления. 2008. № 6. С. 2–10.
9. Куколева В. К., Ястремский А. П., Пономарчук Ю. С. Опыт разработки системы поддержки принятия врачебных решений при острых воспалительных заболеваниях глотки // Университетская медицина Урала. 2020. Т. 6, № 3. С. 31–34.
10. Медников Д. А., Протасова З. У., Крикунова Е. В. Интеллектуальные системы поддержки принятия врачебных решений в кардиологической практике // Юность и знания – гарантия успеха – 2021 : сб. науч. тр. 8-й Междунар. молодежной науч. конф. : в 3 т. (г. Курск, 16–17 сентября 2021 г.). Курск : Юго-Западный государственный университет, 2021. С. 225–245.
11. Реброва О. Ю. Эффективность систем поддержки принятия врачебных решений: способы и результаты оценки // Клиническая и экспериментальная тиреологическая. 2019. Т. 15, № 4. С. 148–155. doi:10.14341/ket12377
12. Рыков М. Ю. Система поддержки принятия врачебных решений как элемент повышения качества медицинской помощи: новая эра информатизации здравоохранения // Российский журнал детской гематологии и онкологии. 2019. Т. 6, № S1. С. 42–43.

13. Савельев Д. М., Шестопапов М. Ю. Методика обобщенной оценки качества разбиения данных на кластеры // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2011. № 197. С. 201–212.
14. Лебедев Г. С., Фартушный Э. Н., Шадеркин И. А. [и др.] Создание информационной системы поддержки принятия врачебных решений на основе методов доказательной медицины // Журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2019. Т. 5, № 1. С. 8–16.
15. Судаков О. В. Проектирование информационной системы поддержки принятия врачебных решений при лечении сердечной недостаточности у пациентов с приобретенными пороками сердца // Прикладные информационные аспекты медицины. 2016. Т. 19, № 3. С. 53–59.
16. Будыкина А. В., Тихомирова Е. В., Киселев К. В. [и др.] Формализация знаний о желудочно-кишечном кровотечении неясного генеза для использования в интеллектуальных системах поддержки принятия врачебных решений // Вестник новых медицинских технологий. 2020. Т. 27, № 4. С. 98–101. doi:10.24411/1609-2163-2020-16741
17. Цыганкова И. А. Программный комплекс системы поддержки принятия врачебных решений // Программные продукты и системы. 2008. № 4. С. 53.
18. Шадеркин И. А. Слабые стороны искусственного интеллекта в медицине // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2021. Т. 7, № 2. С. 50–56. doi:10.29188/2712-9217-2021-7-2-50-52
19. IEE Colloquium on 'Intelligent Decision Support Systems and Medicine' (Digest No.143) // IEE Colloquium on Intelligent Decision Support Systems and Medicine. 1992.
20. Stylios C. S., Georgopoulos V. C. Fuzzy Cognitive Maps for Medical Decision Support – A paradigm from obstetrics // Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology. 2010. P. 1174–1177. doi:10.1109/IEMBS.2010.5626239
21. Davi C. C. M., Silveira D. S., Neto F. B. L. A Framework Using Computational Intelligence Techniques for Decision Support Systems in Medicine // IEEE Latin America Transactions. 2014. Vol. 12, № 2. P. 205–211. doi:10.1109/TLA.2014.6749539
22. Seğmen E., Uyar A. Performance analysis of classification models for medical diagnostic decision support systems // 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU). 2013. P. 1–4. doi:10.1109/SIU.2013.6531316
23. Uvaliyeva I. Architectural and Algorithmic Model for Intelligent Clinical Decision Support System // Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT). 2020. P. 180–183. doi:10.1109/USBREIT48449.2020.9117801
24. Sousa J. M. C., Vieira S. M., Carvalho J. P. [et al.]. An Architecture Based on Fuzzy Systems for Personalized Medicine in ICUs // IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE). 2019. P. 1–6. doi:10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858903
25. Lopez-Perez L., Hernandez L., Ottaviano M. [et al.]. BD2Decide: Big Data and Models for Personalized Head and Neck Cancer Decision Support // IEEE 32nd International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). 2019. P. 67–68. doi:10.1109/CBMS.2019.00024
26. Cohen M. E., Hudson D. L. Combining Evidence in Hybrid Medical Decision Support Models // 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. 2007. P. 5144–5147. doi:10.1109/IEMBS.2007.4353498
27. Ryoke M., Nakamori Y., Suzuki K. Adaptive fuzzy clustering and fuzzy prediction models // Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. 1995. Vol. 4. P. 2215–2220. doi:10.1109/FUZZY.1995.409987
28. Sato M., Sato Y. Fuzzy clustering model for fuzzy data // Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Fuzzy Systems. 1995. Vol. 4. P. 2123–2128. doi:10.1109/FUZZY.1995.409973

29. Mammedli Q., Seidova I. Desicion-making based on the method of fuzzy clustering // Химия, физика, биология, математика: теоретические и прикладные исследования : сб. ст. по материалам XLVII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Москва, 16 апреля 2021 г.). М. : Интернаука, 2021. С. 77–87.
30. Cai R., Yu F. Fuzzy Temporal Constraints Based Fuzzy Clustering Algorithm for Temporal Dadaset // Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery. 2009. P. 480–484. doi:10.1109/FSKD.2009.461
31. Rizzi S., Sartoni F. Medical decision support in clinical record management systems // Proceedings of International Conference on Expert Systems for Development. 1994. P. 267–272. doi:10.1109/ICESD.1994.302269
32. Almansoori W., Murshid A., Xylogiannopoulos K. F. [et al.]. Electronic medical referral system: Decision support and recommendation approach // IEEE 13th International Conference on Information Reuse & Integration (IRI). 2012. P. 572–577. doi:10.1109/IRI.2012.6303060
33. Homenda W. Fuzzy reasoning with feature cumulation as cluster analysis // Proceedings of 1994 IEEE 3rd International Fuzzy Systems Conference. 1994. Vol. 3. P. 1922–1926. doi:10.1109/FUZZY.1994.343556

References

1. L'vovich I.Ya., Gladskikh N.A., Gladyshev M.V., Tokar' V.A. Algorithm of the system of intellectual support for medical decision-making based on Bayes probabilistic models. *Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh = System analysis and management in biomedical systems*. 2010;9(4):922–929. (In Russ.)
2. Emel'yanova Yu.A., Marukhina O.V. Algorithmic base of the system for supporting medical decision-making when choosing tactics for treating children with endocrinopathies. *Inzhiniring predpriyatiy i upravlenie znaniyami (IP&UZ-2018): sb. nauch. tr. XXI Rossiyskoy nauch. konf.: v 2 t. (g. Moskva, 25–28 aprelya 2018 g.) = Engineering of enterprises and knowledge management (IP&UZ-2018) : collection of scientific proceedings XXI of the Russian Scientific Conference : in 2 volumes (Moscow, April 25-28, 2018)*. Moscow: Rossiyskiy ekonomicheskii universitet imeni G.V. Plekhanova, 2018:135–138. (In Russ.)
3. Knyazev E.G., Samchenko A.A., Ryumkin K.V. Formation of a medical decision support system based on digitization of clinical recommendations using formal logic tools. *Menedzhment kachestva v meditsine = Quality management in medicine*. 2019;(4):52–57. (In Russ.)
4. Kokh A.V., Alekberov R.I., Skryabin N.A. The system of support for making a medical decision. *Aktual'nye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy, klinicheskoy meditsiny i farmatsii: materialy 52-y ezhegodnoy Vseros. konf. studentov i molodykh uchennykh, posvyashch. 90-letiyu doktora meditsinskikh nauk, professora, zasluzhennogo deyatelya nauki RF Pavla Vasil'evicha Dunaeva (g. Tyumen', 12 aprelya 2018 g.) = Actual problems of theoretical, experimental, clinical medicine and pharmacy : materials of the 52nd Annual All-Russian Conference of Students and Young Scientists, dedicated to 90th anniversary of the Doctor of Medical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation Pavel Vasilyevich Dunaev (Tyumen, April 12, 2018)*. Tyumen: RITs «Ayveks», 2018:128–129. (In Russ.)
5. Kroshilin A.V. Application of fuzzy clustering for effective monitoring of statistical information in information systems. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radio-tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University*. 2010;(32):71–76. (In Russ.)
6. Kroshilin A.V., Kroshilina S.V., Pyl'kin A.N. Designing decision support systems for assessing the health status of patients under uncertainty. *Informatika i sistemy upravleniya = Informatics and control systems*. 2010;(4):82–94. (In Russ.)

7. Kroshilina S.V., Kroshilin A.V. Application of fuzzy-multiple approach for the construction of fuzzy expert systems. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radio-tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Ryazan State Radio Engineering University*. 2007;(22):69–73. (In Russ.)
8. Kudinov Yu.I., Kudinov I.Yu. Fuzzy modeling and clustering. *Problemy upravleniya = Management problems*. 2008;(6):2–10. (In Russ.)
9. Kukoleva V.K., Yastremskiy A.P., Ponomarchuk Yu.S. Experience in developing a system for supporting medical decision-making in acute inflammatory diseases of the pharynx. *Universitetskaya meditsina Urala = University Medicine of the Urals*. 2020;6(3):31–34. (In Russ.)
10. Mednikov D.A., Protasova Z.U., Krikunova E.V. Intelligent systems for supporting medical decision-making in cardiological practice. *Yunost' i znaniya – garantiya uspekha – 2021: sb. nauch. tr. 8-y Mezhdunar. molodezhnoy nauch. konf.: v 3 t. (g. Kursk, 16–17 sentyabrya 2021 g.) = Youth and knowledge - a guarantee of success – 2021 : collection of scientific tr. 8th International. young scientific conference : in 3 volumes (Kursk, September 16-17, 2021)*. Kursk: Yugo-Zapadnyy gosudarstvennyy universitet, 2021:225–245. (In Russ.)
11. Rebrova O.Yu. Effectiveness of medical decision support systems: methods and results of evaluation. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya = Clinical and experimental thyroidology*. 2019;15(4):148–155. (In Russ.). doi:10.14341/ket12377
12. Rykov M.Yu. Medical decision support system as an element of improving the quality of medical care: a new era of health care informatization. *Rossiyskiy zhurnal detskoy gematologii i onkologii = Russian Journal of Pediatric Hematology and Oncology*. 2019;6(S1):42–43. (In Russ.)
13. Savel'ev D.M., Shestopalov M.Yu. Methodology of generalized assessment of the quality of data splitting into clusters. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii = Izvestiya of the St. Petersburg Forestry Academy*. 2011;(197):201–212. (In Russ.)
14. Lebedev G.S., Fartushnyy E.N., Shaderkin I.A. [et al.] Creation of an information system to support medical decision-making based on methods of evidence-based medicine. *Zhurnal telemeditsiny i elektronnoy zdravookhraneniya = Journal of Telemedicine and Electronic Healthcare*. 2019;5(1):8–16. (In Russ.)
15. Sudakov O.V. Designing an information system to support medical decision-making in the treatment of heart failure in patients with acquired heart defects. *Prikladnye informatsionnye aspekty meditsiny = Applied information aspects of medicine*. 2016;19(3):53–59. (In Russ.)
16. Budykina A.V., Tikhomirova E.V., Kiselev K.V. [et al.] Formalization of knowledge about gastrointestinal bleeding of unclear genesis for use in intellectual systems of support for medical decision-making. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy = Bulletin of New medical technologies*. 2020;27(4):98–101. (In Russ.). doi:10.24411/1609-2163-2020-16741
17. Tsygankova I.A. The software package of the medical decision support system. *Programmnye produkty i sistemy = Software products and systems*. 2008;(4):53. (In Russ.)
18. Shaderkin I.A. Weaknesses of artificial intelligence in medicine. *Rossiyskiy zhurnal telemeditsiny i elektronnoy zdravookhraneniya = Russian Journal of Telemedicine and e-Health*. 2021;7(2):50–56. (In Russ.). doi:10.29188/2712-9217-2021-7-2-50-52
19. IEE Colloquium on 'Intelligent Decision Support Systems and Medicine' (Digest No.143). *IEE Colloquium on Intelligent Decision Support Systems and Medicine*. 1992.
20. Stylios C.S., Georgopoulos V.C. Fuzzy Cognitive Maps for Medical Decision Support – A paradigm from obstetrics. *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*. 2010:1174–1177. doi:10.1109/IEMBS.2010.5626239

21. Davi C.C.M., Silveira D.S., Neto F.B.L. A Framework Using Computational Intelligence Techniques for Decision Support Systems in Medicine. *IEEE Latin America Transactions*. 2014;12(2):205–211. doi:10.1109/TLA.2014.6749539
22. Seğmen E., Uyar A. Performance analysis of classification models for medical diagnostic decision support systems. *21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. 2013:1–4. doi:10.1109/SIU.2013.6531316
23. Uvaliyeva I. Architectural and Algorithmic Model for Intelligent Clinical Decision Support System. *Ural Symposium on Biomedical Engineering, Radioelectronics and Information Technology (USBREIT)*. 2020:180–183. doi:10.1109/USBREIT48449.2020.9117801
24. Sousa J.M.C., Vieira S.M., Carvalho J.P. [et al.]. An Architecture Based on Fuzzy Systems for Personalized Medicine in ICUs. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE)*. 2019:1–6. doi:10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858903
25. Lopez-Perez L., Hernandez L., Ottaviano M. [et al.]. BD2Decide: Big Data and Models for Personalized Head and Neck Cancer Decision Support. *IEEE 32nd International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS)*. 2019:67–68. doi:10.1109/CBMS.2019.00024
26. Cohen M.E., Hudson D.L. Combining Evidence in Hybrid Medical Decision Support Models. *29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. 2007:5144–5147. doi:10.1109/IEMBS.2007.4353498
27. Ryoke M., Nakamori Y., Suzuki K. Adaptive fuzzy clustering and fuzzy prediction models. *Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. 1995;4:2215–2220. doi:10.1109/FUZZY.1995.409987
28. Sato M., Sato Y. Fuzzy clustering model for fuzzy data. *Proceedings of 1995 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*. 1995;4:2123–2128. doi:10.1109/FUZZY.1995.409973
29. Mammedli Q., Seidova I. Desicion-making based on the method of fuzzy clustering. *Khimiya, fizika, biologiya, matematika: teoreticheskie i prikladnye issledovaniya: sb. st. po materialam XLVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Moskva, 16 aprelya 2021 g.) = Chemistry, physics, biology, mathematics: theoretical and applied research : a collection of articles based on the materials of the XLVII International Scientific and Practical Conference (Moscow, April 16, 2021)*. Moscow: Internauka, 2021:77–87.
30. Cai R., Yu F. Fuzzy Temporal Constraints Based Fuzzy Clustering Algorithm for Temporal Dadaset. *Sixth International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. 2009:480–484. doi:10.1109/FSKD.2009.461
31. Rizzi S., Sartoni F. Medical decision support in clinical record management systems. *Proceedings of International Conference on Expert Systems for Development*. 1994:267–272. doi:10.1109/ICESD.1994.302269
32. Almansoori W., Murshid A., Xylogiannopoulos K.F. [et al.]. Electronic medical referral system: Decision support and recommendation approach. *IEEE 13th International Conference on Information Reuse & Integration (IRI)*. 2012:572–577. doi:10.1109/IRI.2012.6303060
33. Homenda W. Fuzzy reasoning with feature cumulation as cluster analysis. *Proceedings of 1994 IEEE 3rd International Fuzzy Systems Conference*. 1994;3:1922–1926. doi:10.1109/FUZZY.1994.343556

Информация об авторах / Information about the authors

Ксения Михайловна Демущкина
аспирант,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: riabova.ksenija@yandex.ru

Ksenia M. Demushkina
Postgraduate student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Михаил Олегович Демушкин

инженер-программист 3 категории,
Научно-производственное
предприятие «Рубин»
(Россия, г. Пенза, ул. Байдукова, 2)
E-mail: demushkinmo@mail.ru

Mikhail O. Demushkin

Software engineer of 3 categories,
Scientific and Production Enterprise "Rubin"
(2 Baidukova street, Penza, Russia)

Андрей Викторович Кузьмин

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры информационно-
вычислительных систем,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: a.v.kuzmin@pnzgu.ru

Andrey V. Kuzmin

Doctor of technical sciences,
associate professor,
professor of the sub-department
of information and computing systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию/Received 27.02.2022

Поступила после рецензирования/Revised 23.04.2022

Принята к публикации/Accepted 17.05.2022