

А. И. ПОВОРОЗНЮК, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Формализованы этапы лечебно-диагностического процесса при разработке компьютерных систем поддержки принятия решений в медицине. Для комплексной оценки этапов лечебно-диагностического процесса с целью минимизации рисков врачебных ошибок разработан метод кластеризации диагнозов в пространстве фармакологических действий и коррекции порогов в диагностическом решающем правиле. Архитектура программного обеспечения системы позволяет легко адаптироваться к различным предметным областям медицины.

Ключевые слова: компьютерная система, принятие решения, диагностика, медикаментозное лечение, фармакологическое действие, врачебная ошибка.

Постановка проблемы и анализ литературы. Комплекс лечебно-диагностических мероприятий (ЛДМ) состоит из взаимозависимых этапов диагностики и лечения выявленных патологий [1, 2]. Для лечения того или иного заболевания необходимо оказание определенных воздействий на организм. Для подавляющего множества патологий в различных областях медицины данные воздействия выполняются медикаментозным путем. На каждом из отмеченных этапов врач, как лицо принимающее решение (ЛПР), вырабатывает 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. В формализованном виде задачей диагностики является классификация состояния i -го пациента D_i при анализе вектора диагностических признаков X_i [1-3]. При медикаментозном лечении каждому диагнозу D_i ставится в соответствие множество необходимых фармакологических действий (ФД) f_{D_i} , на основании которого формируется комплекс лекарственных препаратов (КЛП), который обеспечивает необходимые ФД с учетом непереносимости i -го пациента к отдельным лекарственным препаратам (ЛП), их несовместимости, многокритериального сравнения ЛП-аналогов [4].

В настоящее время имеется широкий спектр компьютерных диагностических систем в разных предметных областях медицины [2], информатизация этапа формирования КЛП ограничивается медицинскими справочниками фармацевта, в том числе в виде информационно-поисковых систем [5], которые представляют врачу структурированный список (классы, подклассы и т.д.) ЛП и текстовое описание их свойств.

При этом задачи диагностики и лечебных мероприятий рассматриваются независимо друг от друга, при диагностике минимизируется риск неправильной

постановки диагноза без учета этапа лечебных мероприятий, поэтому актуальной является задача минимизации риска врачебной ошибки при комплексной оценке всех этапов ЛДМ.

Целью работы является разработка информационных технологий комплексной оценки этапов ЛДМ с целью повышения их эффективности и минимизации риска врачебных ошибок.

Формализация и информационные технологии реализации этапов ЛДМ. Автором в [1] формализованы следующие этапы преобразования информации в компьютерных системах поддержки принятия решений в медицине (КСППРМ): структурная идентификация биосигналов $F1: x(t) \rightarrow X$ и медицинских изображений $F2: x(j,k) \rightarrow X$; синтез иерархических структур диагностируемых состояний $F3: D \rightarrow S_D$ и диагностических признаков $F4: X \rightarrow S_z$; синтез диагностических решающих правил (РП) при взаимодействии S_D и S_z $F5: X_i \rightarrow D_i$; формирование КЛП Y_i $F6: D_i \rightarrow Y_i$, которое состоит из этапов $F6_1: D_i \rightarrow f_{D_i}$ и $F6_2: f_{D_i} \rightarrow Y_i$.

Для минимизации рисков врачебных ошибок рассмотрим более подробно преобразования $F3$ и $F5$. Преобразование $F3$ выполняется процедурой иерархической кластеризации множества диагностируемых состояний D по критерию минимума ошибки кластеризации в пространстве признаков X . Результатом преобразования является бинарное дерево S_D , корнем которого является полное множество диагнозов $\{D_i\}_n$ в заданной предметной области, в ветвях располагаются кластеры диагнозов, а листьями – отдельные диагнозы. Процесс диагностики – движение по дереву решений, в каждой k -й вершине которого выполняется дифференциальная диагностика состояний D_q и D_l , путем вычисления решающего правила (РП) и принятие решения в пользу D_q или D_l . Риски неправильного принятия решения на этапе диагностики: α – ошибка первого рода и β – ошибка второго рода, определяются расположением эллипсоидов рассеивания объектов обучающей выборки в признаковом пространстве без учета их влияния на этап выбора необходимых ФД и последующего назначения КЛП.

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 назначении КЛП (Y_q вместо Y_l). Так как КЛП должен обеспечить множество необходимых ФД $Y_q \rightarrow f_{D_q}$, а $Y_l \rightarrow f_{D_l}$, то риск в конечном итоге определяется различием компонент множеств f_{D_q} и f_{D_l} , и для его минимизации в работе предлагается переход от традиционного признакового пространства X в пространство ФД F . При этом компоненты $f_m \in F$ представляются бинарными переменными (0 – отсутствует, 1 – присутствует), а каждое диагностируемое состояние D_i представляется точкой в i -й вершине гиперкуба.

Поэтому в данном случае для выполнения кластеризации диагностируемых состояний в пространстве F удобно представить структуру D_i потоковой

моделью [6], 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 ФД являются дихотомическими величинами, то в качестве меры близости выбрано взвешенное расстояние Хэмминга:

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

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

Применение иерархической кластеризации по критерию минимума суммарной связи (поиск минимального разреза) в пространстве F для синтеза дерева решений обеспечивает минимум риска принятия решений при комплексной оценке лечебно-диагностических мероприятий.

Для реализации комбинированного РП (преобразование F5) в работе реализуется метод синтеза уточняющего диагноза [7], который является модификацией метода последовательного анализа (метода Вальда) и основан на анализе взаимодействия иерархических структур диагностических признаков Sz и диагностируемых состояний SD . 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 α и β следующими отношениями:

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

Следует отметить, что в (2, 3), условные вероятности и ошибки α и β определяются в пространстве признаков.

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

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 ФД ошибки α и β 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 подграфов D_q и D_l :

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

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 ФД 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, и к ошибкам кластеризации необходимо применять наиболее жесткие требования, то есть $\alpha = \beta = 0$.

Исходя из выше изложенного, находится связь между α , β и \bar{R}_i :

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

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

Программная реализация. Успешность реализации информационной системы во многом зависит от выбора целевой платформы разработки, а также правильно спроектированной архитектуры, которые в будущем обеспечат масштабируемость, гибкость, а также простоту сопровождения системы. В качестве основной платформы обоснован выбор Java, 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 [8]. В архитектуре системы выделены три основных модуля: модуль взаимодействия с пользователем, базу данных, включающую в себя базу знаний 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. Для хранения данных и фреймов знаний системы используется реляционная база данных (БД).

Модуль построения знаний отвечает за формирование фреймов знаний,

представленных иерархической структурой S_D , параметрами РП, множествами f_{di} , описаниями лекарственных препаратов, экспертными оценками относительно локальных и глобальных приоритетов препаратов-аналогов.

Развертывание системы в простейшем случае представляет собой развертывание всех структурных элементов на одном сервере. Вариант оптимальный для небольших организаций. Для повышения производительности и обслуживания крупных организаций модули системы размещаются на различных серверах. Если желаемая производительность не достигнута, то выполняется кластеризация наиболее нагруженных модулей, а также конфигурирование балансировщика нагрузки (loadbalancer). При развертывании системы возможен отказ от приобретения физических серверов и развертывание в облаке (Amazon EC2, Jelastic), если позволяет бюджет организации.

Работоспособность и эффективность работы системы подтверждается ее тестированием на реальных медицинских данных с использованием обучающей выборки из 100 пациентов.

Выводы. Разработана система 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. Архитектура программного обеспечения системы позволяет легко адаптироваться к различным предметным областям медицины.

Список литературы: 1. Поворознюк А. И. Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил / А. И. Поворознюк – Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 314 с. [Текст] 2. В. А. Лишук. Об инфраструктуре информационной поддержки клинической медицины / В. А. Лишук, А. В. Гаврилов, Г. В. Шевченко [и др.] // Медицинская техника. – М.: 2003. – № 4. – С. 36-42. [Текст] 3. Весненко А. И. Топо-типология структуры розвернутого клинического диагноза в современных медицинских информационных системах и технологиях / А. И. Весненко, А. А. Попов, М. И. Проненко // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – № 6. – С. 143-154. [Текст] 4. Дмитриенко В. Д. Многокритериальная оценка лекарственных препаратов / В. Д. Дмитриенко, О. А. Поворознюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця, ВНТУ. – 2009 – №3 – С.144-148. [Текст] 5. Компендиум 2007 – лекарственные препараты /Под ред. В. Н. Коваленко, А. П. Викторова. [Электронный ресурс] <http://www.compendium.com.ua>. 6. Филлипс Д. Методы анализа сетей. Пер. с англ. / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас – М: Мир, 1984. – 648 с. [Текст] 7. Поворознюк А. И. Синтез комбінованого вирішального правила (ВП) у комп'ютерних системах медичної діагностики / А. И. Поворознюк // Системні дослідження та інформаційні технології – 2010. – №3. – С.72 – 83. [Текст] 8. Бурцев М. В. Архитектура системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле / М. В. Бурцев, А. И. Поворознюк // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірка наукових праць. Тем. вип.: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ"ХПІ", 2012. – №38, С. 26 –31.

Bibliography (transliterated): 1. Povoroznyuk, A. I. Sistemih podderzhki prinyatiya resheniy v medicinskoj diagnostike. Sintez strukturirovannikh modeley i reshayuthikh pravil – Saarbrucken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. (rus). 2. V. A. Lithuk,

A. V. Gavrilov, G. V. Shevchenko [i dr.]. Ob infrastrukture informacionnoj podderzhki klinicheskoy medicinih Medicinskaya tekhnika. No. 4. 2003. 36–42. (rus). **3.** Vesnenko, A. I., Popov, A. A., Pronenko, M. I. Topo-tipologiya strukturih rozvernutoho klinicheskogo diagnoza v sovremennikh medicinskih informacionnykh sistemakh i tekhnologiyakh. Kibernetika i sistemnyy analiz. No. 6. 2002. 143-154. (rus). **4.** Dmitrienko, V. D., Povoroznyuk, O. A.. Mnogokriterial'naya ocenka lekarstvennykh preparatov. Informatsionnyy tekhnologii ta komp'yuterna inzheneriya. No. 3. 2009. 144-148. (rus). **5.** Kompendium 2007 – lekarstvennihe preparatih /Pod red. V.N. Kovalenko, A.P. Viktorova. [Elektronnyy resurs] <http://www.compendium.com.ua>. (rus). **6.** Fillips D. A. Garsia-Dias Metodih analiza setey. Per. s angl. Moscow: Mir, 1984. – 648. (rus). **7.** Povorozniuk A.I. Syntez kombinovanoho vyrishalnoho pravyla (VP) u kompiuternykh sistemakh medychnoi diahnozyky Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii. No. 3. 2010. 72–83. (ukr). **8.** M. V. Burcev, A. I. Povoroznyuk. Arkhitektura sistemih podderzhki prinyatiya resheniy v medicine, osnovannoy na kombinirovannom reshayutem pravile. Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu "KhPI". Zbirka naukovykh pracj. Tem. vip.: Informatika i modelyuvannya. – Kharkiv: NTU"KhPI". No. 38. 2012. 26–31. (rus).

Надійшла (received) 16.05.2014

УДК 532.616.1:002.5

С. И. ВЛАДОВ, аспирант, КрНУ им. Михаила Остроградского, Кременчуг;
О. Г. АВРУНИН, д-р техн. наук, ХНУРЕ, Харьков;
В. А. МОСЬПАН, канд. техн. наук, КрНУ им. Михаила Остроградского, Кременчуг;
А. А. ЮРКО, канд. техн. наук, КрНУ им. Михаила Остроградского, Кременчуг;

РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКОЙ АПРОБАЦИИ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ В ВИДЕ СОГЛАСОВАННОЙ ДЛИННОЙ ЛИНИИ

В работе представлены результаты тестирования процесса движения крови по сосудам в клинических условиях, которые свидетельствуют о высокой объективности показателей модели системы кровообращения человека в виде неоднородной согласованной длинной линии с распределенными параметрами для определения гемодинамических показателей при диагностировании функциональных нарушений системы кровообращения человека. По результатам клиническая апробация доказано, что данная модель может использоваться для определения объективных показателей движения крови по сосудам при функциональных нарушениях системы кровообращения человека за критериями доказательной медицины.

Ключевые слова: модель, длинная линия, система кровообращения.

Введение. В настоящее время использование методов математического моделирования применительно к исследованию течения крови в системе кровообращения человека – гемодинамике – является исключительно важной и актуальной задачей, над которой работают большое количество авторов, научных коллективов и организаций. Эта задача является актуальной, поскольку болезни, связанные с нарушением функции системы кровообращения человека, уверенно лидируют среди главных причин смертности во всем мире.

© С. И. ВЛАДОВ, О. Г. АВРУНИН, В. А. МОСЬПАН, А. А. ЮРКО, 2014