

УДК 681.5

МИНИМИЗАЦИЯ РИСКОВ ВРАЧЕБНЫХ ОШИБОК В СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЛЕЧЕБНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Д. т. н. А. И. Поворознюк

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Украина, г. Харьков
ai.povoroznjuk@gmail.com

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.

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

Процесс реабилитации пациентов 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 оказать определенные воздействия на организм. В различных областях медицины данные воздействия для подавляющего множества патологий 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 при проектировании компьютерных систем поддержки принятия решений в медицине (КСППРМ) задача диагностики является задачей классификации состояния i -го пациента при анализе вектора диагностических признаков X_i [1]. При медикаментозном лечении каждому диагнозу D_i ставится в соответствие множество необходимых фармакологических действий f_{D_i} , на основании которого формируется комплекс лекарственных препаратов (КЛП) с учетом f_{D_i} , переносимости i -го пациента к отдельным препаратам, несовместимости препаратов, многокритериального сравнения препаратов-аналогов [2]. Фармакологическое действие (ФД) – это влияние активных компонент лекарственных препаратов на отдельные органы человека и организм в целом. С каждым диагнозом может быть связано некоторое число необходимых ФД, и для некоторых диагнозов эти множества необходимых ФД могут пересекаться.

В настоящее время имеется широкий спектр компьютерных диагностических систем в разных предметных областях медицины [1], информатизация этапа формирования КЛП ограничивается медицинскими справочниками фармацевта, в том числе в виде информационно-поисковых систем [3], которые представляют врачу структурированный список (классы, подклассы и т. д.) лекарственных препаратов (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 лечебно-диагностического процесса.

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

Для разработки информационной технологии реализации этапов лечебно-диагностических мероприятий автором в [1] были формализованы следующие этапы преобразования информации в КСПРМ: структурная идентификация биосигналов $F1: x(t) \rightarrow X$ и медицинских изображений $F2: x(j,k) \rightarrow X$; формализация описания разнородных диагностических признаков и 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 $F5$. Синтез S_D — бинарного дерева решений — выполняется процедурой иерархической кластеризации множества диагностируемых состояний D по критерию минимума ошибки кластеризации в пространстве признаков X (преобразование $F3$). Как следствие, в ходе такого процесса образуется бинарное дерево, корнем которого является полное множество диагнозов $\{D_i\}_n$ в заданной предметной области, в ветвях располагаются кластеры диагнозов, близко расположенных друг к другу, а листьями служат 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 и принятие решения в пользу D_q или D_l . Возникающие при этом 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 фармакологических действий и последующего назначения терапевтического комплекса.

Для минимизации риска неправильных медицинских мероприятий, которые возникают при ошибочной диагностике, необходимо найти зависимость между ошибкой при диагностике (D_q вместо D_l) и последствий от ошибки при назначении КЛП (Y_q вместо Y_l). Так как КЛП должен обеспечить множество необходимых терапевтических действий $Y_q \rightarrow f_{D_q}$, а $Y_l \rightarrow f_{D_l}$, то риск в 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 фармакологических действий 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 (в признаковом пространстве X диагностируемые состояния D_i представляются множеством точек, которые образуют эллипсоиды рассеивания).

Поэтому в данном случае для выполнения кластеризации диагностируемых состояний в пространстве F удобно представить структуру D_i потоковой моделью [4], 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 фармакологические действия 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 фармакологическое действие при i -м и j -м диагнозах соответственно; g — размерность пространства F ; w_{ij} — коэффициент, который обеспечивает увеличение расстояния в случае присутствия конфликтующих фармакологических действий.

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 [5], который является модификацией метода последовательного анализа (ме-

тогда Вальда) и основан на анализе взаимодействия иерархических структур диагностических признаков S_2 и диагностируемых состояний S_D . На каждом i -м этапе последовательного анализа, при дифференциальной диагностике вычисляются отношения правдоподобия между двумя диагнозами D_q и D_l :

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

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

В последовательном анализе границы принятия решений A и B связаны с ошибками классификации α и β следующими отношениями:

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

где α – ошибка первого рода, т. е. вероятность того, что пациенту с диагнозом D_q поставят диагноз D_l ; β – ошибка второго рода, т. е. пациенту с диагнозом D_l поставят диагноз D_q .

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

Для комплексной оценки рисков врачебных ошибок, которые возникают на обоих этапах лечебно-диагностического процесса, в работе предлагается метод коррекции границ интервала неопределенности $[A, B]$, учитывая ошибки, которые возникают на этапе назначения терапевтического комплекса.

Проанализируем связь порогов с ошибками: если принять $\alpha = 0$ и $\beta = 0$, т. е. задать наиболее жесткие условия (детерминированная связь, при которой эллипсоиды рассеяния не пересекаются), то получаем $A = (1-0)/0 = \infty$, $B = 0/(1-0) = 0$.

В случае совпадения многомерных функций распределения классов l и q , при которых классы не различимы, $\alpha + \beta = 1$; и пороги выбираются равными $\alpha = 0,5$ и $\beta = 0,5$, когда классы слабо различаются. В данном случае получаем наиболее “демократические” пороги: $A = (1-0,5)/0,5 = 1$, $B = 0,5/(1-0,5) = 1$.

Таким образом, диапазон изменения α и β определяется как $[0; 0,5]$ – от жестких детерминированных требований к условиям безразличия.

Если обозначить α_n и β_n – ошибки в пространстве диагностических признаков, а α_f и β_f – ошибки в пространстве фармакологических действий, то для комплексной оценки рисков необходимо определить зависимость между ними: $\alpha_n = y(\alpha_f)$, $\beta_n = y(\beta_f)$.

При представлении задачи кластеризации потоковой моделью ошибки α_f и β_f однозначно определяются минимальным разрезом R_f .

В каждом узле дерева решений принимает участие разное количество диагностируемых состояний (на верхнем уровне – все D_n , а на нижнем – в листе – как минимум, 1 кластер, а может и 2, должны содержать 1 диагноз). Соответственно, в каждом узле определяется свой разрез R_f .

Обозначим количество диагностируемых состояний в i -м узле дерева решений как n_i , тогда величину минимального разреза можно определить как суммарный вес дуг, которые принадлежат минимальному разрезу подграфов 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 \overline{R}_i выражается формулой

$$\overline{R}_i = \frac{R_i}{\sum_j \sum_k r_{jk}},$$

где R_i определяется формулой (4), а в знаменателе — суммарный вес всех дуг полносвязного графа из n_i вершин.

Полученное \overline{R}_i изменяется в диапазоне $[0, 1]$; если $\overline{R}_i = 0$, то два состояния D_q и D_l в пространстве фармакологических действий не различаются (два диагноза не отличаются методами лечения, поэтому даже максимальная ошибка не приводит к врачебной ошибке, т. е. $\alpha_f = \beta_f = 0,5$). Если $\overline{R}_i = 1$, то D_q и D_l максимально отличаются один от другого, и к ошибкам кластеризации необходимо применять наиболее жесткие требования, т. е. $\alpha_f = \beta_f = 0$.

Исходя из вышеизложенного, находим связь между α_n , β_n и \overline{R}_i :

$$\alpha_n = 0,5(1 - \overline{R}_{ql}), \quad \beta_n = 0,5(1 - \overline{R}_{lq}).$$

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

Таким образом, разработаны методы построения нового класса КСПИМ на основе формализации этапов проведения диагностически-лечебных мероприятий при их комплексной оценке, синтеза моделей объектов исследования отмеченных этапов и решающих правил на этих моделях. Разработанные информационные технологии позволяют минимизировать риски врачебных ошибок, повысить достоверность и обоснованность принятых решений и могут адаптироваться к различным предметным областям медицины.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Поворознюк А. И. Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил.— Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011.
2. Поворознюк О.А. Біотехнічна система призначення лікарських препаратів в дерматології // Автореф. дис. канд. техн. наук.— Харків, 2010.
3. Компендиум 2007 – лекарственные препараты /Под ред. В.Н. Коваленко, А.П. Викторова. [Электронный ресурс] <http://www.compendium.com.ua>.
4. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей.— Москва: Мир, 1984.
5. Поворознюк А. І. Синтез комбінованого вирішального правила (ВП) у комп'ютерних системах медичної діагностики // Системні дослідження та інформаційні технології — 2010.— № 3.— С.72—83.

A. I. Povoroznyuk

Minimization of risks of medical malpractice in the decision support system of medical diagnostic activities.

The stages of medical diagnostic process in designing computer systems for decision-making support in medicine have been formalized. For a complex evaluation of phases of the medical diagnostic process, in order to minimize the risks of medical malpractice, a method of clustering of diagnoses in the space of pharmacological actions and correction of thresholds in the diagnostic crucial rule have been developed.

Keywords: *computer system, decision making, diagnostics, medical treatment, pharmacological action, medical malpractice.*