

Формализация задачи принятия решений в клинической медицине на основе модели знаний

Ю.А. Прокопчук

*Украинский государственный химико-технологический университет,
Днепропетровский областной диагностический центр, Днепропетровск,
Украина*

РЕЗЮМЕ, ABSTRACT

В работе дана формальная постановка основных типов задач принятия решений в клинической медицине. На основе анализа специфики клинических задач определена структура отображений (правил) модели знаний, которая является ядром системы поддержки принятия решений. При условии задания семантической метрики формализованы этапы принятия решения в виде частных задач (Укр.ж.телемед.мед.телемат.-2008.-Т.6,№1.-С.32-36).

Ключевые слова: задача принятия решений, модель знаний, система поддержки принятия решений

Ю.О. Прокопчук

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ В КЛІНІЧНІЙ МЕДИЦИНІ НА БАЗІ МОДЕЛІ ЗНАНЬ

*Український державний хіміко - технологічний університет, Дніпропетровський
обласний діагностичний центр, Дніпропетровськ, Україна*

В роботі дана формальна постановка основних типів задач прийняття рішень в клінічній медицині. На основі аналізу специфіки клінічних задач встановлена структура правил моделі знань, яка є ядром системи підтримки прийняття рішень. При умовах завдання семантичної метрики формалізовані етапи прийняття рішення у вигляді окремих задач (Укр.ж.телемед.мед.телемат.-2008.-Т.6,№1.-С.32-36).

Ключові слова: задача прийняття рішень, модель знань, система підтримки прийняття рішень

Yu.A.Prokopcuk

FORMALIZATION OF A DECISION PROBLEM IN CLINICAL MEDICINE ON THE BASIS OF KNOWLEDGE MODEL

Ukrainian State Chemical Technology University, Dnepropetrovsk, Ukraine

In work formal statement of the basic types of decision problem in clinical medicine is given. The structure of rules of knowledge model which is a nucleus of system of support of decision-making is determined. Stages of decision-making are formalized (Ukr. z. telemed. med. telemat.-2008.-Vol.6,№1.-P.32-36).

Key words: decision problem, model of knowledge, system of support of decision problem

http://www.telemed.org.ua/UJTMNT/N1_08/article6.html

В общем виде задача принятия решений (ЗПР) в пространстве состояний (клинических ситуаций) формулируется следующим образом: задается некоторое начальное состояние или подмножество таких состояний, конечное состояние или подмножество таких состояний (возможно, в неявном виде посредством некоторых ограничений) и множество правил преобразования состояний (лечебно-диагностических воздействий). Требу-

ется найти такую последовательность правил преобразований, удовлетворяющую определенным требованиям (оптимальности или допустимости), которая позволяет преобразовать начальное состояние в конечное. Если искомая последовательность должна удовлетворять требованиям оптимальности, то имеем задачу поиска оптимального решения, если требованиям допустимости – то задачу поиска допустимого

(удовлетворительного) решения. Такая постановка свойственна большинству клинических задач планирования, мониторинга, управления.

Для решения ЗПР могут быть использованы как строгие методы теории принятия решений, так и эвристические [1]. Процесс поиска решения можно отобразить посредством дерева, называемого решающим деревом (деревом решений), вершины которого соответствуют состояниям (корневой вершине соответствует начальное состоя-

ние), а ребра – правилам преобразований. Спецификой плохоформализуемых и слабоструктурированных ЗПР, к которым относятся клинические задачи, является их комбинаторность, т.е. быстрый (лавинобразный) рост решающих деревьев в процессе поиска, поэтому основой решения таких задач являются эвристические методы, базирующиеся на учете специфики предметной области (ПрО), знаниях и опыте специалистов, решающих подобные задачи.

Цель исследования

Вербализованные знания специалистов, а также индуктивно сформированные знания на основе обучающих выборок образуют базу знаний (БЗ) системы поддержки принятия решений (СППР). Основная проблема большинства БЗ СППР состоит в том, что в общем случае не определена стратегия поиска применимых к текущему состоянию правил преобразований, а также стратегия «разрешения конфликта» при одновремен-

ной применимости нескольких правил. Требуется: 1) разработать структуру БЗ, максимально учитывающую специфику клинических задач принятия решений (учет специфики позволит упростить процедуры поиска применимых правил и разрешения конфликтов); 2) формализовать процедуру принятия клинических решений на основе модели знаний.

Материал и методы

Задача принятия решений определяется набором $\langle S, S^0, S_n, S_k, F, Q \rangle$, (1)

где S – множество состояний, называемое универсумом; $S^0 \subset S$ – подмножество возможных (допустимых) состояний; $S_n \subset S$ – подмножество начальных состояний; $S_k \subset S$ – подмножество конечных или целевых состояний; $F: S \rightarrow S$ – конечное множество правил преобразований, каждое правило $f_i \in F$ реализует отображение $f_i: S_i \rightarrow S$, где S_i – область определения f_i . Считается, что правило f_i применимо к состоянию $s \in S$, если $s \in S_i$; Q – множество критериев оценки найденного решения.

Множество правил F и ЗПР в целом будем рассматривать как подмножество некоторой модели знаний $k = \{f/\mu: k^1 \rightarrow k^2\} \cup P_k$, где P_k – правила композиции отображений.

Решением ЗПР является последовательность правил (последовательность применений правил) преобразований $\pi = \langle f_1, f_2, \dots, f_n \rangle$ такая, что:

1) композиция $f_1 \circ f_2 \circ \dots \circ f_n (s') \in S_k$, где $s' \in S_n$. Под композицией $f_i \circ f_j$ понимается отображение с областью определения $\{s \mid s \in S_i \text{ и } f_i(s) \in S_j\}$, где S_i и S_j – области определения соответственно f_i и f_j , значение которой есть $f_j(f_i(s))$;

2) последовательность состояний $s', f_1(s'), \dots, f_n(f_{n-1}(\dots(s')\dots))$ принадлежит S^0 ;

3) последовательность правил π удовлетворяет критериям из множества Q .

Если элементы набора (1) не изменяются в процессе поиска решения, то имеем ЗПР в замкнутой форме, соответствующей статической ПрО; если же коррекция набора (1) допустима (например, возможно пополнение множеств), то имеем ЗПР в открытой форме, соответствующей динамической ПрО [1].

При поиске решения могут использоваться стратегии прямого (от начального состояния к конечному), обратного (от конечного состояния к начальному) или комбинированного двунаправленного поиска.

ЗПР вида (1) представляет собой традиционную постановку, когда явно заданы начальное и конечное состояния или подмножества таких состояний. Назовем данную постановку подходом 1.

Возможна и другая постановка (подход 2), когда конечное состояние или подмножество таких состояний задаются неявно посредством следующих требований:

а) найти все состояния (если число их конечно), которые могут быть получены из заданного начального состояния S_n посредством конечных последовательностей преобразований π , искомое множество и будет результирующим множеством S_k . Данную

ЗПР назовем *задачей построения замыкания* [1, 2];

б) найти хотя бы одно состояние, которое может быть получено из заданного начального состояния, посредством применения конечных последовательностей правил π .

Постановка ЗПР в рамках второго подхода свойственна задачам прогнозирования или формирования множества возможных решений, например, формирования комплекса дифференциальных диагнозов.

Человек как сложная система (система Р) обладает определенными внутренними ресурсами саморегуляции или самовосстановления. Однако ресурсы саморегуляции всегда ограничены, и когда их недостаточно, требуется вмешательство внешних сил, чтобы устранить проблему. Между проблемами могут существовать причинно - следственные связи нескольких типов, например:

а) появление некоторой проблемы с высокой вероятностью приводит к появлению других проблем;

б) без устранения проблемы-причины невозможно устранить проблему-следствие;

в) устранение проблемы-причины автоматически устраняет цепочку проблем-следствий;

г) появление проблемы на короткое время и в легкой форме предупреждает появление подобной проблемы в тяжелой форме (стадии) на длительное время (пример - вакцинация);

д) устранение опасной проблемы возможно лишь путем ее трансформации в другую - менее опасную проблему (пример - удаление пораженного органа);

е) улучшение состояния по одним проблемам может ухудшить состояние по другим проблемам.

Введя дискретность в изменении состояний системы Р правомочно рассматривать и дискретность объективных внутренних законов (правил) развития системы. Множество таких правил обозначим через F' . Введенное ранее множество правил F и последовательность правил π будем рассматривать исключительно как внешние воздействия. Таким образом, на любом отрезке времени $[a, b]$ последовательность внутренних преобразований можно обозначить $\pi'_{a,b} = \langle f'_1, f'_2, \dots, f'_n \rangle$. Внешние воздействия $\pi_{a,b}$ и внутренние преобразования $\pi'_{a,b}$ реализуются параллельно, изменяя друг друга. Параллельность и взаимозависимость протекания

двух процессов обозначим нотацией $\pi_{a,b} \otimes \pi'_{a,b}$.

Для внешнего наблюдателя (врача) внутренние преобразования $\pi'_{a,b}$ характеризуются определенным недетерминизмом, который проявляется в том, что реализацию конкретного внутреннего правила на том или ином отрезке времени нельзя ни проконтролировать, ни пронаблюдать, ни даже в точности выяснить, когда оно было реализовано, но позже на основании изучения дальнейшего поведения процесса можно выяснить, какое именно правило было реализовано.

Пусть $S(t)$ – текущее (наблюдаемое) состояние системы Р. Для достоверного прогноза развития ситуации и выбора необходимо установить причины (этиологию) или начальное состояние S_0 , а также механизм развития процесса (патогенез), которые привели к текущему состоянию $S(t)$. Механизм развития процесса или патогенез представляет собой композицию $\pi_{0,t} \otimes \pi'_{0,t}$.

Пусть $S_k = S(t_k)$ – конечное (целевое) состояние, в которое необходимо перевести систему Р в момент времени t_k . Уточним структуру искомых управляющих воздействий $\pi_{t,k}$. Управляющие воздействия включают стратегию (уровень помощи), тактику и оперативные мероприятия. Целевое состояние определяется в основном стратегией и в меньшей степени - тактикой. Примером стратегии является решение об амбулаторном, стационарном или санаторном лечении больного, а также выбор модели пациента [1].

Тактические мероприятия определяются индивидуальной комбинацией следующих видов воздействий: этиологическое, патогенетическое, заместительное, улучшающее обменные процессы, симптоматическое, хирургическое, дозированная физическая нагрузка, психотерапевтическое. Тактические и особенно оперативные мероприятия определяются заданием закона обратной связи в течение всего рассматриваемого периода управления.

Главное назначение оперативных мероприятий – не допустить развития угрожающих состояний (УС), которые могут существенно осложнить достижение целевого состояния или даже сделать его невозможным.

Во многих задачах управления важно не только достичь целевого состояния $S(t_k)$, но и стабилизировать это состояние на максимально длительном промежутке времени $[t_k, t_k + \Delta]$. В медицине известны приемы псев-

долечения, когда устраняются симптомы, но причины болезни не устраняются и, как следствие, через определенное время развиваются тяжелейшие осложнения вплоть до летального исхода. Длительность интер-

вала стабилизации Δ может накладывать существенные ограничения на выбор допустимого управления.

Результаты и обсуждение

С учетом проведенного выше анализа процесса управления модель знаний представим в виде:

$$k = \{S(t), S_0, \pi_{0,t} \otimes \pi'_{0,t}, \{YC([t, t_k])\}, \pi_{t,k} \rightarrow \diamond(\alpha) S([t_k, t_k + \Delta])\} \cup P_k, \quad (2)$$

где $\diamond(\alpha)$ – модальность (возможность), задаваемая или числовой мерой, или качественно; $\{YC([t, t_k])\}$ – множество возможных угрожающих состояний на отрезке времени $[t, t_k]$; P_k – правила композиции отображений. Все отображения модели знаний имеют множественные представления, соответствующие многоуровневой модели знаний. Следует отметить, что в модели знаний вида (2) заложен недетерминизм, свойственный поведению сложных объектов и систем.

Возможным внешним управлением (планом лечения) для комбинации состояний $\langle S(t), S(t_k) \rangle$ будем считать последовательность воздействий π , которая содержится хотя бы в одном отображении модели знаний (2), включающем подобные состояния.

Основная трудность применения модели знаний в любой задаче принятия решений (управления) состоит в оценке соответствия параметров ЗПР тому или иному отображению – правилу из модели знаний. Действительно, любой параметр может быть задан как количественно, так и качественно. Параметры могут задаваться с помощью шкал разного уровня общности, например, время достижения целевого состояния t_k может быть задано следующим образом: «на 4-5 сутки», «к вечеру текущего дня», «примерно через месяц» и т.п. В результате, соответствие параметров ЗПР одному из отображений модели знаний может быть установлено, например, на одном из высоких уровней общности. Как следствие, может быть определена только стратегия управления, но не тактика и тем более не оперативные мероприятия.

Любую компоненту x модели знаний k обозначим через $k(x)$. Будем говорить, что некоторое отображение модели знаний k применимо к ЗПР, если задана такая семантическая метрика ρ [1], что выполняются условия:

$$\rho(k(S(t)), S(t)) = 0; \quad \rho(k(S_0), S_0) = 0; \\ \rho(k(\pi_{0,t} \otimes \pi'_{0,t}), \pi_{0,t} \otimes \pi'_{0,t}) = 0;$$

$$\rho(k(\{YC([t, t_k])\}), \{YC([t, t_k])\}) = 0; \quad \rho(k(S([t_k, t_k + \Delta])), S([t_k, t_k + \Delta])) = 0. \quad (3)$$

Если выполнены условия (3), то $\pi_{t,k}$, фигурирующее в данном отображении, является допустимым решением ЗПР. Среди всех допустимых решений ищется решение, отвечающее критериям Q. Одним из важных критериев может быть минимизация внешнего воздействия, которая означает также неизбыточность управления. Другими словами, желательно, чтобы: а) система, насколько это возможно, за счет собственных ресурсов разрешила свои проблемы (при недопустимости угрожающих состояний-осложнений на рассматриваемом отрезке времени управления); б) попутно не решались другие, может быть и хорошие, подзадачи, но требующие дополнительных ресурсов.

Таким образом, общая задача принятия решения в клинической медицине сводится к последовательной совокупности подзадач принятия решений.

Задача. Дана модель знаний k вида (2), ситуативная метрика ρ , фигурирующая в условиях (3), и модальность \diamond^* . Для любой проблемной ситуации в системе P (у конкретного пациента) выработать эффективное управление, разрешающее проблему.

Алгоритм решения задачи:

ЗПР 1. Диагностика состояния $S(t)$.

ЗПР 2. Диагностика S_0 и $\pi_{0,t} \otimes \pi'_{0,t}$ (определяются этиология и патогенез).

ЗПР 3. Прогноз $\{YC\}$.

ЗПР 4. Выбор $S([t_k, t_k + \Delta])$.

ЗПР 5. Определение допустимых (недоминируемых) управляющих воздействий $\{\pi_{t,k}\}$ (включая законы обратной связи), которые удовлетворяют условиям:

а) $\diamond(\pi_{t,k} \otimes \pi'_{t,k}(S(t)) \subset S(t_k)) > \diamond^*$;

б) состояние $S(t_k)$ стабилизировано на отрезке $[t_k, t_k + \Delta]$ за счет внутренних ресурсов системы;

в) $\forall YC \diamond(YC([t, t_k]) / \pi_{t,k} \otimes \pi'_{t,k}) \rightarrow \min$.

Допустимые воздействия определяются на основе модели знаний k согласно условиям (3).

ЗПР 6. На множестве допустимых управляющих воздействий $\{\pi_{t,k}\}$ определяет-

ся оптимальное воздействие, удовлетворяющее критериям Q, включая избыточность управления по ресурсам.

В качестве модальности могут выступать вероятность, нечеткая модальность и другие, близкие по смыслу меры возможности

[1]. Недоминируемость множества допустимых воздействий (управлений) вытекает из пункта в) ЗПР 5, так как фактически задается многокритериальность (минимизация риска по многим угрожающим состояниям).

Выводы

В работе дана формальная постановка основных типов задач принятия решений в клинической медицине. На основе анализа специфики клинических задач определена структура отображений (правил) модели

знаний, которая является ядром СППР. При условии задания семантической метрики формализованы этапы принятия решения в виде частных ЗПР.

Литература и веб-библиография

1. Прокопчук Ю.А. Интеллектуальные медицинские системы: формально-логический уровень. – Дн-ск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2007.- 259 с.
2. Прокопчук Ю.А. Концепция многоцелевого банка

знаний в области клинической медицины / Укр.ж.телемед.мед. телемат. – 2007.-Т.5, №3. – С. 262-264.

Надійшла до редакції: 10.09.2007.

© Ю.А. Прокопчук

Кореспонденція: Прокопчук Ю.А.,
просп. Гагарина, 8, 83048, Дніпропетровськ, Україна
E-mail: itk3@ukr.net