



Linguistic means of intellectual medical decision support based on the simulation and semantic modeling in the clinical practice

Разработка лингвистических средств интеллектуальной поддержки принятия медицинских решений в клинической практике на основе имитационно-семантического моделирования

Ю.П. Преображенский, Н.С. Преображенская, В.В. Ермолова
Y.P. Preobrazhenskiy, N.S. Preobrazhenskaya, V.V. Ermolova

Abstract:

To implement the tasks incomplete processing of medical information, better understanding of the decision-making context, raising the level of abstraction for the search of an optimal strategy based on iteration methods for the criteria and iteration on strategies proposed language for modeling dynamic decision-making (DDML) to support decision-making under uncertainty. The structure of the language is determined by a set of specific requirements for the simulation of dynamic decision-making, as well as some basic principles of modern computer technologies. There is a separation of presentation-tier approaches to formulation of the problem, the solution and its analysis.

Аннотация:

Для реализации задач обработки неполной медицинской информации, лучшего понимания контекста принятия решения, повышения уровня абстракции для поиска оптимальной стратегии на основе методов итерации по критерию и итерации по стратегиям, предлагается язык моделирования динамического принятия решений (DDML) для

поддержки принятия решений в условиях неопределенности. Структура языка определяется набором специфических требований для моделирования динамического принятия решений, а также некоторыми основными принципами современных компьютерных технологий. Существует разделение на уровне представления подходов к постановке задачи, решению и его анализу.

Keywords:

Decision support, modeling, semantics.

Ключевые слова:

Поддержка принятия решений, моделирование, семантика/

Введение

В принятии врачебного решения определение оптимального курса диагностических тестов и лечебных мероприятий являются задачами оптимизации, тогда как сравнение эффектов этих тестов и методик лечения являются задачами выбора.

В данном исследовании в качестве объекта управления выбран курс медикаментозного лечения ишемической болезни сердца (ИБС). Задача управления состоит в определении сравнительной эффективности различных фармакологических форм лечения стабильной стенокардии, как наиболее частой манифестации ИБС.

Описываемый в статье язык DDML интегрирует выразительность и ясность языков интеллектуального планирования, графические возможности моделей динамического принятия решений, свойства и некоторые решения на основе полумарковских процессов. Он также включает основную идею проектирования классического языка программирования: трансляцию языка моделирования высокого уровня в объектный язык для исполнения. Основываясь на общей структурной модели принятия решений, данный язык имеет четыре основных компонента: грамматику принятия решений, графическую нотацию, формальное математическое представление и соглашения по трансляции. Грамматика принятия решений поддерживает постановку задачи с несколькими универсальными интерфейсами. Графическая нотация как и в традиционных графических моделях принятия решений отвечает за визуализацию на нескольких уровнях представления. Математическое представление обеспечивает краткую формулировку задачи принятия решений; также оно допускает несколько методов решения в зависимости от различных свойств формальной модели.

Вводные требования к языку моделирования

Эффективный язык для моделирования динамического принятия решения в условиях неопределенности должен обеспечивать разделение поддержки представления и вывода данных для моделирования и для задач вычисления или принятия решений, а также сохранять баланс между наглядностью модели и эффективностью принятия решений. Он также должен обладать выразительной онтологией принятия решений и формальным базисом, он должен поддерживать несколько уровней абстракции, несколько перспектив визуализации, а также являться расширяемым, адаптируемым и практичным.

Парадигма языка должна включать факторы решений и ограничения, свойственные всем существующим структурам моделей принятия решений.

Словарь должен облегчать постановку задачи; иными словами, выразительность, краткость и ясность являются наиболее важными качествами языка. Эти качества определяются не только типами и множествами онтологических компонентов, но и их представлением и организацией.

Язык должен иметь математическое обоснование для поддержки принятия решения и анализа задачи. Его теоретическая структура должна отражать выразительность онтологии принятия решений, а также иметь простые и строгие синтаксис и семантику. Эти качества облегчают исследование и анализ формальных свойств задачи и ее решений.

В процессе постановки задачи пользователь должен иметь возможность работать с соответствующими структурными моделями, вместе специальных математических определений, что формулирует требования гибкости и интуитивности онтологии принятия решений. Следовательно, язык должен поддерживать логические конструкции на различных уровнях абстракции.

В новом языке должны быть сохранены графические свойства моделей динамического принятия решений. Эти свойства облегчают моделирование и анализ; они должны быть расширяемы для визуализации факторов и ограничений решений на нескольких уровнях представления с учетом абстракции.

Визуализация на множестве перспектив соотносится с обычным шаблоном в принятии решения человеком. Например, на одной стадии постановки задачи, может быть необходимо рассмотрение лишь возможных переходов между состояниями, на другой – анализ неопределенных эффектов от происходящих во время перехода событий. Соответствия между различными графическими объектами должны быть установлены на различных уровнях представления.

Язык должен иметь возможность постепенного расширения. Сюда включаются дополнительные языковые конструкции для новых типов параметров решений и их ограничений. Расширяемыми также должны быть

и онтология принятия решений высокого уровня, и теоретическая структура. Модульность языка должна сохраняться при трансляции на нескольких уровнях абстракции и представления.

При выразительной и стабильной теоретической структуре большинство расширений должны быть на высоком уровне онтологии принятия решений, причем математические свойства должны сохраняться или напрямую обобщаться при использовании дополнений теоретической структуры.

Язык должен быть системно адаптируемым. Адаптация включает изменения в организации конструкций языка, причем это необязательно должно влиять на его выразительность. И модель принятия решений высокого уровня, и теоретическая структура также должны быть адаптируемыми, а модульность должна сохраняться при трансляции на нескольких уровнях абстракции и при нескольких уровнях представления, как было упомянуто выше.

Язык должен быть предназначен для реализации практических задач. Язык моделирования динамического принятия решений должен являться модульным, универсальным и задаваемым явным образом; также должна существовать возможность отдельной реализации компонентов модульного языка при их дальнейшей непосредственной интеграции. Реализация такого принципа более проста и менее подвержена ошибкам. Все это облегчает отладку модели и поддерживает ее инструментальную разработку.

■ **Конструирование языка моделирования динамического принятия решений**

Разработанный в рамках исследования язык DDML удовлетворяет вышеизложенные требования, интегрируя выразительность и ясность языков интеллектуального планирования, графические возможности моделей динамического принятия решений, свойства и некоторые решения на основе ПМП. Он также включает основную идею проектирования классического языка программирования: трансляцию языка моделирования высокого уровня в объектный язык для исполнения.

Основываясь на общей структурной модели принятия решений, данный язык имеет четыре основных компонента: грамматику принятия решений, графическую нотацию, формальное математическое представление и соглашения по трансляции. Грамматика принятия решений поддерживает постановку задачи с несколькими универсальными интерфейсами. Графическая нотация как и в традиционных графических моделях принятия решений отвечает за визуализацию на нескольких уровнях представления. Математическое представление обеспечивает краткую формулировку задачи принятия решений; также оно допускает несколько методов решения в зависимости от различных свойств формальной модели.

Модель динамического принятия решений на языке DDML имеет следующие части:

- диапазон времени, обозначающий временные границы для принятия решения;
- множество оценочных функций, обозначающих критерии оценки задачи принятия решения;
- множество состояний, влияющих на оценочные функции;
- множество действий, отражающих альтернативы в каждом состоянии;
- множество событий, происходящих в среде принятия решения, которые могут влиять на оценку состояний;
- множество параметров переходов, отражающих вероятностные и временные характеристики, в зависимости от действий и состояний;
- множество параметров влияния, отражающих вероятностные и временные характеристики действий, событий и состояний;
- множество декларативных ограничений, таких, как допустимые логические отношения между состояниями, событиями, параметрами переходов и параметрами влияния;
- множество стратегических ограничений, таких, как допустимые продолжительности определенных действий, их релевантное количество, порядок и временные интервалы между последовательными действиями.

Разработанный вариант языка DDML состоит из общего множества компонентов модели с минимальным набором ограничений. Структура расширяема путем постепенного подключения специальных трансляторов или написанием новых правил соответствия.

Синтаксис языка определяется грамматикой динамического принятия решений и графическими обозначениями. Семантика определяется математическим представлением ПМП и трансляцией, соединяющей грамматику, условные обозначения и математическое представление факторов решений и их ограничений.

Опишем ниже интеграцию модели принятия решений и особенностей компонентов языка. В DDML структурная модель ситуации принятия решений включает релевантные параметры решения и их внутренние взаимоотношения. Формально, она состоит из предметной области, множества базисных функций и множества базисных отношений. Предметная область – это множество параметров решения, относительно которых высказываются суждения и формируются знания. Различные функции и отношения могут определяться с использованием этих параметров. Множество базисных функций – это множество релевантных функций предметной области. Множество базисных отношений – это множество релевантных отношений предметной области. Множество базисных функций включает заданные вероятностные и оценочные функции. Множество базисных отношений включает вероятностные и временные зависимости.



Рис. 1. Структурная имитационно-семантическая модель

Основываясь на структурной модели, мы определяем выражения в DDML в терминах следующих компонентов: элементарные понятия, переменные понятия, функции, отношения и ограничения. Эти принципы аналогичны символьным константам, переменным, функциям, отношениям и утверждениям или формулам в исчислении предикатов первого порядка. Многие понятия DDML имеют вероятностные интерпретации, например, переменные соответствуют случайным величинам в теории вероятностей. Кроме того, сюда относятся детерминированные и вероятностные зависимости.

Элементарные понятия являются описаниями в пределах предметной области в единичный момент времени. Существуют три типа элементарных понятий: события, действия и состояния.

Событие – это частичное описание явления в единичный момент времени, оно соответствует высказыванию или атомарному предложению в исчислении предикатов первого порядка. В частности, оно описывает возникновение (или отсутствие) явления. При принятии решения в клинических условиях событие представляет собой появление или отсутствие физического или физиологического состояния одного или нескольких пациента.

Действие – это специальный тип события, который включает действующего субъекта (ДС). ДС может быть лицом, принимающим

решение (ЛПР), который непосредственно управляет действием, ДС может быть неизвестен, а действие – случайно, в случае «суб-действия». При принятии решения в клинических условиях релевантные действия подразумевают различные тесты и виды терапевтических мероприятий, а также их комбинации. Эффекты действий выражаются в терминах событий.

Состояние – полное описание явления в единичный момент времени. Описание состояния включает множество событий или высказываний, как было определено выше. Каждое состояние имеет связанное с ним значение, показывающее предпочтительность нахождения в этом состоянии.

Переменные понятия соответствуют случайным величинам (переменным) в теории вероятностей. Они представляют собой неопределенность в задаче, описанной в основных понятиях в единичный момент времени. В данном исследовании мы рассматривали только дискретные величины.

Случайная переменная соответствует вероятностному узлу в модели принятия решения. Она имеет несколько возможных результатов или значений, результатами могут быть случайные события или состояния. Существуют три типа случайных переменных: событийная переменная, переменная атрибутов состояния и переменная состояния.

Значением событийной переменной, описывающей возможные последствия действия, соответственно являются события. В частности, она может охватывать наблюдаемое или ненаблюдаемое явление, которое прямо или косвенно описывает состояния.

Переменная атрибутов состояния является специальным видом событийных переменных, она описывает характеристику или свойство, напрямую относящуюся к описанию состояний. Значением переменной атрибутов состояния также являются события. С учетом множества этих переменных, состояние обычно описывается в терминах декартова произведения их результатов. В нашей работе все используемые событийные переменные: «статус», «Заболевание – 1» и «Заболевание – 2 », являются переменными атрибутов состояния. Переменная атрибутов состояния «статус» имеет значение «жив» или «мертв», « Z_1 » - «наличие Z_1 » или «отсутствие Z_1 », и т.п.

Переменная состояния представляет собой неопределенность в описании реального состояния в единичный момент времени. Она относится к пространству состояния в ПМП и узлу переменной состояния на динамической диаграмме влияния в конкретный момент времени t или на данном этапе принятия решения n . Значениями переменных состояния являются сами состояния.

Переменная действия обозначает решение или точку выбора в единичный момент времени. Она относится к части или ко всему пространству действий в ПМП или решающему узлу на динамической диаграмме влияния в конкретный момент времени t или на данном этапе принятия решения n . Переменная действия имеет в качестве значений

возможные альтернативы, являющиеся действиями, которые могут быть напрямую выбраны в результате принятия решения.

Переменная функции обозначает оценочную функцию или структуру оценки желательности в единичный момент времени. Она соответствует оценочному узлу на динамической диаграмме влияния в конкретный момент времени t или на данном этапе принятия решения n . Значением переменной функции является число, таблица или функция, отражающая величину желательности состояния в зависимости от действия. Другими словами, результат такой переменной определяется как значение декартова произведения или другой комбинации результатов переменной состояния и данной переменной действия.

Основными отношениями между понятиями являются вероятностные и временные зависимости. Отношение вероятностной зависимости между двумя понятиями соответствует понятию условной зависимости в теории вероятностей. Направление отношения вероятностной зависимости отражает определение основной условной зависимости, оно не несет никакой информации о временных характеристиках связи. Специальные вероятностные зависимости между состояниями называются переходами. Отношение временной зависимости между понятиями говорит о том, что одно предшествует другому во времени возникновения, и не несет причинно-следственной нагрузки.

Базовые функции определяются через понятия и отношения вероятностных функций и оценочных функций. К первым относятся распределения вероятностей и функции распределения вероятностей. Оценочные функции измеряют желательность того или иного состояния, причем применительно к нашей работе могут существовать различные метрики: коэффициент продолжительности жизни, стоимость лечения, что обычно определяется характером действий [1].

Ограничения являются описательными или предписывающими условиями, налагаемыми на понятия, функции и отношения, перечисленные выше. Они относятся к логическим предложениям и процедурам квантификации из теории исчисления предикатов первого порядка. Например, для заданного пространства состояний S , следующее ограничение указывает, что действие «Схема лечения 1» применимо во всех состояниях:

$$\forall s \in S, \text{Применимо}(CL_1, s)$$

Отношение *Применимо*, разумеется, будет верно интерпретировано конструктором модели и решающим алгоритмом в качестве ограничения.

Вышеуказанная грамматика для языка DDML является абстрактной. Следуя основным соглашениям, она содержит следующие компоненты:

- конечное множество имен конструкций;
 - конечное множество продукций, ассоциированных с конструкциями;
- Опишем продукцию, которая определяет конструкцию «модель»:

Модель $\rightarrow$ *Имя: идентификатор;*
 Контекст: список контекста;
 Определения: список определений;
 Ограничения: список ограничений;
 Решение: оптимальная стратегия

Каждая конструкция описывает структуру множества объектов, называемых экземплярами конструкции. Конструкция является типом своих экземпляров. Принят стандартный набор элементарных конструкций/типов, например, «Строка», «Функция распределения вероятности» и т.п. Существует несколько способов спецификации структуры конструкции.

Вышеприведенная продукция является «составной», т. е. конструкция имеет экземпляры, включающие определенное число компонентов. Другие типы продукций включают:

«Альтернативные» продукции, например, длительность временных границ решения может быть конечной и бесконечной:

Длительность $\rightarrow \mathbb{Z}^+ \cup \{0\} \mid \infty$

«Перечислимые» продукции, например, пространство состояний задачи принятия решения состоит из одного и более состояний:

Пространство_состояний $\rightarrow$ Состояние⁺

Построение имитационно-семантической модели терапевтических мероприятий

Постановка задачи на DDML включает построение модели динамического принятия решений и ее трансляцию в математическое представление. Модель ДПР является формальной или полной, когда она соответствует формально правильному ПМП с критерием оптимальности. Некоторые модельные конструкции напрямую соответствуют математическим описаниям, для других необходима трансляция. Критерием оптимальности при конечном диапазоне решений по умолчанию является дисконтированный полный ожидаемый эффект.

Моделью динамического принятия решений M является набор из восьми параметров и критерия оптимальности:

T – множество моментов времени или диапазон решений;

A – пространство действий;

S – пространство состояний;

E – пространство событийных переменных;

Ω_E – множество событий или результатов событийных переменных;

Ξ – множество переходов;

Ψ – множество влияний;

ζ – множество оценочных функций;

K – множество ограничений;

G – множество трансляторов.

Построение модели включает следующие задачи:

1. Спецификация типа задачи динамического принятия решения, продолжительность ее рассмотрения, оптимальность и критерий оценки;
2. Определение различных действий и состояний;
3. В зависимости от каждого действия определение возможных переходов между состояниями и значения, достигаемые в этих состояниях;
4. При затруднении прямого определения переходов или значений, определение возможных событийных переменных и их отношений, которые определяют переходы;
5. Наложение релевантных ограничений на соответствующие факторы решения.

Спецификации и определения могут изменяться в процессе моделирования. Для поддержки таких изменений в DDML используются грамматика ДПП, графические нотации и их соответствующие интерфейсы.

Основные характеристики задачи динамического принятия решения определяются типом задачи, диапазоном принятия решения и критерием оценки [1,2].

В DDML используются два типа задач принятия решений: оптимизации и выбора с учетом соответствующего целевого или оценочного критерия. Оптимизационная задача решается построением оптимальной стратегии $\pi^* = \{\mu_0^*, \mu_1^*, \mu_2^*, \mu_3^*, \dots\}$ где $\mu_t^*: S \rightarrow A$; $t \in T$ – оптимизирующая функция из пространства состояний S в пространство действий A в момент времени t из множества T .

Задача оптимизации состоит в сравнении независимых эффектов действий для выбора наилучшей альтернативы на каждом этапе принятия решения.

Задача выбора решается определением оптимальной стратегии $\pi^* = \pi^{a^*}$ из предопределенного множества стационарных стратегий $\{\pi^a\}$ из одного действия, т. е. стратегий $\pi^{a^*} = \{\mu_0^{a^*}, \mu_1^{a^*}, \mu_2^{a^*}, \mu_3^{a^*}, \dots\}$ где $\mu_t^{a^*}: S \rightarrow a^*$; $a^* \in A$ – функция из пространства состояний S к оптимизируемому действию a^* .

В принятии врачебного решения определение оптимального курса диагностических тестов и лечебных мероприятий являются задачами оптимизации, тогда как сравнение эффектов этих тестов и методик лечения являются задачами выбора.

В данном исследовании в качестве объекта управления выбран курс медикаментозного лечения ишемической болезни сердца (ИБС). Задача управления состоит в определении сравнительной эффективности различных фармакологических форм лечения стабильной стенокардии, как наиболее частой манифестации ИБС.

Во-первых, необходимо определить результирующий эффект антиаритмического агента хинидина для пациентов, с уже назначенным антикоагулянтом варфарином. Назначение хинидина является

контролируемым действием, применение варфарина – суб-действием. Необходим выбор из четырех стратегий:

Стратегия «Нет»: лечение начинается без применения медикаментозных средств, при необходимости в любой момент может быть назначен или отменен варфарин.

Стратегия «Варфарин»: лечение начинается с применения варфарина, который может быть в любой момент отменен.

Стратегия «Хинидин»: лечение начинается с применения хинидина, при необходимости в любой момент может быть назначен или отменен варфарин.

Стратегия «Оба»: лечение начинается с применением и хинидина, и варфарина, с отменой последнего при необходимости в любой момент.

Второй задачей является необходимость определения оптимального начального курса терапевтических мероприятий.

Диапазон принятия решения $T = \{0, 1, 2, 3, \dots\}$ может быть как конечным, так и бесконечным. Модель с конечным диапазоном, большой продолжительностью и малыми единицами времени может быть аппроксимирована как модель с бесконечным диапазоном. В нашем исследовании мы будем рассматривать модели с конечным диапазоном решений, поскольку ожидаемая продолжительность жизни пациента есть величина конечная.

Критерий оценки может измерять любую необходимую величину: ожидаемую продолжительность жизни, стоимость лечения и соотношение цена/эффективность; он определяется множеством оценочных функций.

Пространство действий $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ содержит множество действий, рассматриваемых в контексте задачи динамического принятия решений. DDML поддерживает статичное пространство действий, т.е. оно остается неизменным в течение всего диапазона принятия решений.

Пространство состояний модели с оптимизационной задачей состоит из отдельных действий, тогда как для задачи выбора – из контролируемых действий релевантных стратегий. В задаче исследования пространство действий состоит из двух контролируемых действий для рассматриваемых выше стратегий: $A = \{\text{«Нет»}, \text{«Хинидин»}\}$. Эффекты от суб-действия «Варфарин» с применением или отсутствием хинидина выражаются в описании состояний, как будет показано ниже.

Пространство состояний $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ содержит множество состояний, которые определяются в терминах множества переменных атрибутов состояний. Введем три типа переменных атрибутов состояний. Первый из них определяет значение оценочных функций; второй показывает допустимость того или иного действия; третий тип отражает статус одного или нескольких суб-действий. Состояния определяются как декартово произведение значений переменных атрибутов состояний.

Релевантные переменные атрибутов состояний и их возможные результаты показана в таблице 1.

Таблица 1. Возможные значения переменных атрибутов состояний

Переменная атрибутов состояний	Значения
Статус	Пациент жив (Alive) Летальный исход (Dead)
Синусовый ритм	Нормальный синусовый ритм (NSR) Фибрилляция предсердий (AF)
Допустимость варфарина	Возможно (War-OK) Невозможно (War-No)
Статус варфарина	Назначен (War-On) Не назначен (War-Off) Запрещен к применению (War-NE)
Состояние сосудов мозга	Норма (None) Преходящий приступ ишемии (TIA) Ишемический инсульт (Stroke)

В динамических диаграммах влияния переменные атрибуты состояния представляются как вероятностные узлы, оказывающие прямое влияние на оценочные узлы. В марковских циклических и стохастических деревьях переменные атрибуты состояний не включаются в связи, определения пространства состояний в этих структурах обычно используют их логические комбинации.

В зависимости от каждого контролируемого действия множество возможных переходов $\Xi = \{\xi(a, i, j, t) \mid i, j \in S, a \in A, t \in T\}$ определяется с помощью состояний. Состояние перехода $\xi \subseteq A \times S \times S \times T$ между любыми двумя состояниями $i, j \in S$ с учетом действия a в момент времени $t \in T$ означает достижимость j из i с учетом a и t . Характер достижимости определяется ступенчатой переходной функцией с РВ $q_{ij}^{(a)}(\cdot)$ и ФРВ $Q_{ij}^{(a)}(\cdot)$.

В случае, когда затруднительно непосредственно описать функции перехода или эффект действий в DDML существует возможность промоделировать их как событийные переменные с соответствующими отношениями между состояниями. Для каждого контролируемого действия $a \in A$ его пространство событийных переменных $E_a = \{e_1, e_2, \dots, e_{|E_a|}\}$ обозначает множество событийных переменных, которые определяют эффекты. Пространство событийных переменных $E = \cup_{a \in A} E_a$ обозначает множество всех событийных переменных для всех действий. Каждая событийная переменная e имеет ассоциированное пространство событий или результатов $\Omega_e = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k\}; k \geq 1$, которое обозначает множество возможных значений для e . Зависящее от действий пространство событий Ω_{Ea} и общее пространство событий Ω_E определяются аналогично.

В DDML зависящие от действий пространства событий могут различаться; однако в настоящем исследовании можно принять это пространство статичным. Событийные переменные, связанные с различными действиями, могут различаться, но их множество остается постоянным [3].

Событийная переменная соответствует случайной величине в теории вероятностей, а также вероятностному узлу в графических моделях динамического принятия решений. Пространство состояний S в каждый момент времени t или на каждой стадии принятия решений n может быть представлено как специальная событийная переменная s_t или s_n .

В зависимости от каждого контролируемого действия множество вероятностных влияний $\Psi = \{\psi(a, x, y, t) \mid a \in A, y \in E_a, t \in T\}$ определяется с помощью событийных переменных.

Отношение вероятностного влияния $\psi \subseteq A \times E_a \times E_a \times T$ между любыми двумя событийными переменными $x, y \in E_a$ при действии $a \in A$ в момент времени $t \in T$ отражает вероятностные зависимости, обусловленные эффектами действий среди результатов двух событийных переменных в момент t . Отсутствие прямого вероятностного влияния между двумя событийными переменными означает, что они условно независимы в момент времени t .

Условное распределение значения y , зависящее от действия a и момента времени t определяется для всех возможных комбинаций ее вероятностных предшествующих элементов, включая x . Если u и w являются другими двумя событийными переменными, влияющими на y через $\psi(a, u, y, t)$ и $\psi(a, w, y, t)$, то условное распределение значений y_k , зависящее от значений x_p, u_q, w_r , а также действия a и времени t , запишется как $P\{y_k | x_p, u_q, w_r, a, t\}$.

Условное распределение между двумя переменными состояния s_n и s_{n-1} представляет множество всех переходных функций с учетом действия a на стадии принятия решения n .

В зависимости от каждого контролируемого действия, а также критерия оценки, для состояний определяется множество оценочных функций $\varsigma = \{v_i^{(a)}(m) \mid i \in S; a \in A, m=0, 1, 2, \dots\}$.

Оценочная функция $v: A \times S \times \aleph \rightarrow \mathcal{R}$ определяет целевое значение, достижимое в состоянии $i \in S$ через промежуток времени $m \in \aleph$, в зависимости от действия $a \in A$. Она определяется в терминах ассоциированных переходных оценочных функций $v_{ij}^{(a)}(m)$ для каждого возможного перехода $\xi(a, i, j, \cdot)$ из состояния i в состояние j после пребывания в состоянии i в течение времени n , в зависимости от действия a .

Оценочная переходная функция $v_\xi: A \times S \times S \times \aleph \rightarrow \mathcal{R}$ определяет целевое значение, достигаемое при переходе из состояния $i \in S$ в состояние $j \in S$ за время $m \in \aleph$ в зависимости от действия $a \in A$. Она имеет два компонента: коэффициент выхода $u_i^{(a)}(l)$ и бонус $b_{ij}^{(a)}$. Коэффициент выхода

определяет значение, достижимое в момент времени l после входа в состояние i через интервал времени $(l, l+1)$; бонус – однократно достижимое значение в начале перехода из состояния i . Предполагается независимость оценочных функций от абсолютного времени t .

Запишем выражение для оценочной функции:

$$v_i^{(a)}(m) = \sum_j q_{ij}^{(a)}(\cdot) v_j^{(a)}(m) = \sum_j q_{ij}^{(a)}(\cdot) \left(\left[\sum_{l=0}^{n-1} y_i^{(a)}(l) \right] + b_{ij}^{(a)} \right); a \in A, i, j \in S, l, m \geq 0; (1)$$

В нашем исследовании мы используем специальный вид оценочной функции: коэффициенты выхода и бонусы постоянны для всех состояний и переходов, а также для всех действий.

$$v_i^{(a)}(m) = v_{ij}(m) = m y_i + b_{ij}; a \in A, i, j \in S, l, m \geq 0;$$

Коэффициенты определены для отдельных состояний, для поглощающих состояний они равны нулю. Бонусы в данном случае отрицательны, указывая на кратковременные заболевания, они ассоциированы только с теми переходами, на которых могут происходить неблагоприятные события: ишемический инсульт, геморрагический инсульт и желудочно-кишечные кровоизлияния.

Определения всех вышеуказанных компонент модели динамического принятия решений на DDML могут быть подвергнуты общим или проблемно-зависимым ограничениям $K = \{k | k \in K_D \text{ или } k \in K_S\}$, где K_D – множество декларативных ограничений, а K_S – множество стратегических ограничений.

Множество декларативных ограничений K_D относится к определению состояний, событийных переменных и их ассоциативным отношениям. Декларативное ограничение – это отношение $k_D \subseteq \{S \cup \Omega_E \cup \Xi \cup \Psi \cup \zeta\}^n$; $n \geq 2$, где S – это пространство состояний, Ω_E – это пространство событий, представляющее множество всех значений событийных переменных в пространстве событийных переменных E , n – арность.

Эти ограничения присущи определениям, поддерживаемым языком DDML. Учитывая действие $a \in A$, поглощающее состояние $i \in S$ имеет нулевую оценочную функцию и не имеет исходящих переходов в другие состояния $j \in S$:

$$\forall a \forall i \text{ abs}(a, i) \Rightarrow (v_i^{(a)}(\cdot) = 0) \wedge \forall j (i \neq j) \wedge [\xi(a, i, j, \cdot) \notin \Xi]$$

Эти ограничения накладываются в процессе построения модели, причем их эффекты в явной форме кодируются определениями структурных и численных параметров модели динамического принятия решения. Определение поглощающего состояния на языке Common Lisp приведено ниже:

```
(MAKE-STATE "DEAD :ABSORBING-P T :VALUE-FUNCTION 0.0)
(MAKE-TRANSITION NODRUG DEAD DEAD :TRANS-FUNCTION 1.0)
(MAKE-TRANSITION QUINIDINE DEAD DEAD :TRANS-FUNCTION 1.0)
```

Существуют ограничения, чьи эффекты должны быть явно определены во время трансляции между уровнями или перспективами. В DDML это дизъюнктивное определение или «неполное ИЛИ» для комбинаций событий. Канонические модели используются в том случае, когда невозможно детализированное описание отношений между переменными.

Использование операции «неполное ИЛИ» предлагается для облегчения описания условных распределений событийных переменных. Рассмотрим частичное множество событийных переменных на диаграмме влияний для действия «Хинидин» (рис. 2). Переменная “Die” указывает на летальный исход от причин, связанных с полом, возрастом и т.п., “Die-TE” указывает на летальный исход от тромбоэмболии, “Die-Cerehem” указывает на летальный исход от геморрагического инсульта, “Die-GIB” – летальный исход от желудочно-кишечного кровотечения.

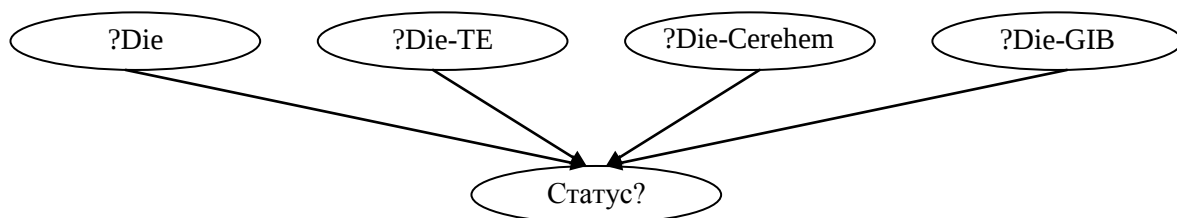


Рис. 2. Частичная диаграмма влияния

Распределение вероятности значений переменной атрибутов состояния «Статус» обусловлено декартовым или прямым произведением значений ее вероятностных предшествующих элементов (табл. 2).

В таблице условных распределений каждый элемент транслируется как «вероятность “индекс столбца” в зависимости от “индекс ряда”». Суффиксы “-A” для индексов колонок таблицы показывают, что они являются значениями переменной атрибутов состояния. Индексы являются конъюнкциями событий.

Таблица 2. Распределение вероятности значений переменной атрибутов состояния «Статус» на языке Common Lisp.

```

> (distribution status?/nodrug)
#<Distribution-Table #:G725
Type: DISCRETE
Matrix: #:G725
"Pr{c|r}"
DEAD-A
(DIE DIE-GIB DIE-CHM DIE-TE)
1.00000
(DIE DIE-GIB DIE-CHM NOT-DIE-TE)
1.00000
ALIVE-A
0.00000
0.00000
  
```

(DIE DIE-GIB NOT-DIE-CHM DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(DIE DIE-GIB NOT-DIE-CHM NOT-DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(DIE NOT-DIE-GIB DIE-CHM DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(DIE NOT-DIE-GIB DIE-CHM NOT-DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(DIE NOT-DIE-GIB NOT-DIE-CHM DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(DIE NOT-DIE-GIB NOT-DIE-CHM NOT-DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(NOT-DIE DIE-GIB DIE-CHM DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(NOT-DIE DIE-GIB DIE-CHM NOT-DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(NOT-DIE DIE-GIB NOT-DIE-CHM DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(NOT-DIE DIE-GIB NOT-DIE-CHM NOT-DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(NOT-DIE NOT-DIE-GIB DIE-CHM DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(NOT-DIE NOT-DIE-GIB DIE-CHM NOT-DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(NOT-DIE NOT-DIE-GIB NOT-DIE-CHM DIE-TE)	0.00000
1.00000	
(NOT-DIE NOT-DIE-GIB NOT-DIE-CHM NOT-DIE-TE)	1.00000
0.00000	

Используя операцию «неполное ИЛИ», можно описать таблицу 2 условных распределений для переменной атрибутов состояния «Статус», обозначив дизъюнкцию квадратными скобками следующим образом:

Таблица 3. Дизъюнктивная запись таблицы распределений для переменной атрибутов состояния “Статус” на языке Common Lisp.

```

> (distribution status?/nodrug)
#<Distribution-Table #:G725
Type: DISCRETE
Matrix: #:G725
“Pr{c|r}”
ALIVE-A
DEAD-A
[DIE DIE-GIB DIE-CHM DIE-TE] 0.00000
1.00000
(NOT-DIE NOT-DIE-GIB NOT-DIE-CHM NOT-DIE-TE) 1.00000
0.00000

```

Стратегическое ограничение K_S – это отношение $k_S \subseteq \{S \cup \Omega_E \cup E \cup \Psi \cup \zeta\}^n$; $n \geq 2$, где S – это пространство состояний, Ω_E – это пространство событий, представляющее множество всех значений событийных переменных в пространстве событийных переменных E , n – количество аргументов.

Эти ограничения присущи определениям, поддерживаемым языком DDML. Все контролируемые действия $a \in A$, рассматриваются как применимые для всех состояний $s \in S$ в любой момент $t \in T$:

$$\forall a \forall s \forall t \text{ применимо } (a, s, t)$$

Расширение, охватывающее зависимое от состояний и времени пространство действий, эквивалентно указанию состояний, для которых действие неприменимо, т.е. поглощающих состояний с нулевыми оценочными функциями.

В нашем исследовании все контролируемые действия рассматриваются как применимые во всех состояниях [4-14]. Поскольку терапия варфарином моделируется как суб-действие, его эффект не учитывается в расчете состояний, для которых эта терапия неприменима.

■ Заключение

Таким образом, обоснована эффективность предлагаемого языка моделирования динамического принятия решений, обеспечивающаяся разделением поддержки представления и вывода данных для моделирования и для задач вычисления и принятия решений, что также сохраняет оптимальное сочетание наглядности модели и эффективностью принимаемых решений. Семантика языка является гибкой и расширяемой за счет постепенного подключения специальных трансляторов или написания новых правил соответствия. Описана имитационно-семантическая модель терапевтических мероприятий при лечении ИБС, которая отличается более полным описанием вероятностных и временных зависимостей между параметрами принятия решений по сравнению с анализируемыми в работе моделями.

■ Используемая литература:

- [1] Настаушева Т.Л., Стахурлова Л.И., Преображенский Ю.П. Применение управляемых марковских моделей для оптимизации процессов терапии заболевания – Системный анализ и управление в биологических системах – М., 2004. – Том 2–№1. –С. 125
- [2] Шаталов М.М., Преображенский Ю.П. Формирование решающих правил интеллектуальной поддержки решений врача при исследовании многокритериальных клинических объектов – Вестник Воронежского института высоких технологий – Воронеж: Научная

- книга, 2008. – №3. – С. 77
- [3] Преображенский Ю.П., Преображенская Н.С. Применение имитационно-семантического моделирования и полумарковских процессов принятия решений в клинической практике – Вестник Воронежского института высоких технологий – Воронеж: Научная книга, 2009. – №6. – С.83-89 .
- [4] Чопоров О.Н. Оптимизация функционирования медицинских систем на основе интегральных оценок и классификационно-прогностического моделирования: дис. ... д-ра техн. наук. – Воронеж, 2001. – 325 с.
- [5] Клименко Г.Я. Методика и результаты преобразования лингвистических характеристик в численные оценки факторов риска / Г.Я. Клименко, В.П.Косолапов, О.Н. Чопоров // Журн. «Консилиум». – Воронеж, 2001, №4. С. 25-28.
- [6] Choporov O.N. Infobase formation technology for medical systems analysis and modeling / O.N. Choporov, S.V. Bolgov, L.A.Kutashova, E.Y.Konovalova// Modern informatization problems in economics and safety: Proceedings of the XVIII-th International Open Science Conference (Lorman, MS, USA, January 2013). – p. 157-162.
- [7] Львович И.Я. Новый анализ эпидемиологического и экономического использования антидепрессантов в психиатрических учреждениях / И.Я.Львович, В.А.Куташов // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т. XV. № 1. С. 63-66.
- [8] Львович И.Я. Программная реализация методики прогнозирования медико-демографических данных / И.Я.Львович, С.Н.Семенов, Н.А.Гладских, С.С.Пронин // Научно-медицинский вестник Центрального Черноземья. 2007. № 27. С. 100-104.
- [9] Львович Я.Е. Частота аффективных расстройств при различных соматических болезнях / Я.Е.Львович, В.А.Куташов// Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2007. Т. 6. № 1. С. 100-102.
- [10] Львович Я.Е. Технология комплексного обследования больных с осложненным остеохондрозом позвоночника / Я.Е.Львович, И.В.Постникова, И.О.Золотинский // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2008. Т. 7. № 4. С. 840-845.
- [11] Постникова И.В. Оптимизация комплексного консервативного лечения больных с грыжами межпозвонковых дисков / И.В.Постникова, Я.Е.Львович, И.О.Золотинский // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009. Т. 8. № 1. С. 33-40.
- [12] Брежнева Н.А. Интегрированная система управления офтальмологической помощью в регионе / Н.А.Брежнева, Я.Е.Львович, В.Н.Чуриков // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2013. Т. 12. № 1. С. 324-326.

- [13] Брежнева Н.А. Оптимизация распределения потоков пациентов с учетом ресурсов регионального и субрегионального уровней офтальмологической помощи / Н.А.Брежнева, Я.Е.Львович, С.Я.Щербаков//Вестник Воронежского государственного технического университета. 2010. Т. 6. № 7. С. 4-6.
- [14] Бережная Е.В. Оценка риска для здоровья населения г. Воронежа при воздействии химических веществ, загрязняющих атмосферный воздух / Е.В.Бережная // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2013. № 1. С. 2.

.....

Y. Preobrazhenskiy, Ph.D, a.p.

Voronezh Institute of High Technologies
it_pro@vivt.ru

N. Preobrazhenskaya, Ph.D, a.p.

Voronezh State Medical Academy
nspreo@gmail.com

V. Ermolova

Voronezh Institute of High Technologies
vv-ermolova@yandex.ru