

УДК 004.75

## ОБЗОР МЕТОДОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В АОС

Артюшина Л.А.

*Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир,  
e-mail: larisa-artusina@yandex.ru*

Специфика методов обработки информации в автоматизированных обучающих системах (АОС) связана прежде всего с тем, что современные АОС представляют собой интеллектуальные системы, построенные на основе парадигмы обработки баз знаний (БЗ). В научных публикациях представлены основные типы информации, существующей в БЗ, дана общая классификация методов интеллектуальной обработки информации в АОС по её типам: представления информации, контроля усвоения представленной информации, помощи, определения причин ошибок, формирования управляющих воздействий. Однако подробно не рассмотрен ряд вопросов, в частности качественные характеристики информации, на которых базируются методы. С учетом этого обстоятельства в статье подробно описаны механизмы работы методов, определены свойства, представляемой данным методом информации, выявлены особенности каждого метода. В силу большого разнообразия методов представления информации в первой части статьи анализировались только методы продукционной и логической моделей. Рассмотрены: метод формализации информации в форме правил (продукционная модель представления знаний), метод исчисления высказываний первого порядка, метод резолюций, методы модальной и псевдофизических логик (логическая модель представления знаний). Приведены примеры представления информации каждым методом.

**Ключевые слова:** интеллектуальная обработка информации, методы обработки информации, методы представления знаний, интеллектуальные системы

## INFORMATION REPRESENTATION METHODS: AN OVERVIEW

Artyushina L.A.

*Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs,  
Vladimir, e-mail: larisa-artusina@yandex.ru*

The specifics of data processing methods in automated educational systems (AES) is principally related to the fact that modern AES correspond to intelligent systems based on the knowledge base (KB) processing paradigm. In scientific publications presents the main kinds of information existing in the KB and the general classification of intelligent information processing methods in AES according to its types (the representation of information reception, the uptake of content supervision, the assistance, the error cause identification, the control actions formation). However, a set of questions hasn't been considered in depth; in particular, qualitative characteristics of information on which methods are based. In view of the fact the article describes methods' operating principles in detail, defines properties of information provided by this method, and identifies the essential features of every method. Due to a great variety of information representation methods Part I of the article analyses only the methods of production and logical models. The method of formalizing information in the form of rules, the first-order sentence calculus method, the resolution method and the methods of modal and pseudophysical logics have been observed. Examples of information presentation by each method are given.

**Keywords:** intelligent information processing, methods for data processing, methods of knowledge representation, intelligent systems

На сегодняшний день АОС становятся неотъемлемой частью современных образовательных процессов в системе высшего образования. Специфика методов обработки информации в АОС связана, прежде всего, с тем, что современные автоматизированные обучающие системы представляют собой интеллектуальные системы, построенные на основе парадигмы обработки баз знаний (БЗ). В этом ключе, говоря об информации, мы далее будем иметь в виду знания, и наоборот, говоря о знании, будем иметь в виду информацию. Статья посвящена аналитическому обзору методов представления информации.

Под методами представления информации мы будем понимать способ формального описания информации и оперирования этими описаниями.

Основой классификации методов представления информации являются модели их представления в БЗ. На сегодняшний день существуют различные классификации моделей знаний. В [1]: продукционные модели, фреймы, формально-логические модели, модели на основе онтологии, включая семантические сети, другие модели (комбинированная, модель в виде И-ИЛИ дерева, модель в виде дерева понятий, UML-модель); [2]: логические, продукционные, фреймовые, сетевые, объектно-ориентированные, специальные и комплексные; [3]: логическая, продукционная, фреймовая, сетевая, другие модели (объектно-ориентированные, специальные и комплексные); [4]: на основе исчисления высказываний и исчисления предикатов, продукционные, семантические, фреймовые, интегрирован-

ные; [5–7]: логическая, продукционные, фреймы, нейронные сети, гибридные модели и т.д. В силу большого разнообразия моделей представления информации в первой части статьи ограничимся рассмотрением методов продукционной и логической моделей представления информации.

Продукционная модель. Описана в [8, 9]. Основу представления знаний составляют системы продукций, каждая продукция имеет вид «если А, то В», где А – факт (понятие), В – действие. Интерпретируется двумя способами: если посылка А истинна, то действия, указанные в части ТО, выполняются; вероятностная интерпретация, при которой правило «если А, то В» срабатывает с некой вероятностью, зависящей от истинности посылки А. Под действием обычно понимается операция добавления факта в БЗ интеллектуальной системы или взаимодействие с внешней средой.

Такая система позволяет представить виды знаний, описывающие: понятия (факты) ПО, причинно-следственную связь понятий (фактов) А и В; некоторые действия А и В; знания (А) и действия (В). Примеры, демонстрирующие указанные виды знаний: «если число делится на два, то оно – четное», «для того, чтобы вычислить значение производной в точке  $x$  с помощью графика, проведём в этой точке касательную к графику функции», «если в условии задачи указано, что дан график производной функции, то можно определить знаки производной функции в точке». Для представления нечетких знаний А и В снабжаются коэффициентами достоверности (или уверенности), которые могут принимать значения из разных интервалов в разных системах, например  $[0, 1]$ . К методам представления продукционной модели знаний относится метод формализации знаний в форме правил, структурированных в общем виде как: ЕСЛИ  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , то В, где А связаны логическими операциями «И», «ИЛИ», «НЕ». Суть метода: «Сопоставить – выполнить». Пример представления знаний этим методом:

Посылки «Образование – Высшее» и «Возраст < 35» записаны в БЗ.

ПРАВИЛО 1:

ЕСЛИ

Образование – Высшее И

Возраст – Молодой

ТО

Шансы найти работу > 0,8.

ПРАВИЛО 2

ЕСЛИ

Возраст < 35

ТО

Возраст – Молодой

Так как посылки «Образование – Высшее» и «Возраст < 35» существуют в БЗ, а посылка «Возраст – Молодой» – отсутствует, то в БЗ помещается факт из условной части правила 2 «Возраст – Молодой». При повторном применении правил правило 2 уже не используется, так как было применено, а правило 1 становится истинным и в БЗ помещается факт «Шансы найти работу > 0,8».

Возможна и обратная ситуация.

Анализ механизмов метода представления информации в форме правил позволил нам выявить ряд ограничений на представляемую этим методом информацию.

Однозначность. Нельзя представить этим методом многозначные или неточные понятия. Например, понятие «оператор»:

ПРАВИЛО 1:

ЕСЛИ Оператор

ТО Юридическое лицо

ПРАВИЛО 2:

ЕСЛИ Оператор

ТО Управляет техническим устройством

ПРАВИЛО 3:

ЕСЛИ Оператор

ТО Практикующий хирург

При попытках сопоставления условной части каждое из правил будет истинным. Для механизма метода это означает ситуацию «конфликта выполнения» заключительной части правила.

Возможна другая ситуация. Представляемая информация однозначна, но имеется несколько правил выполнения результирующей части.

Дополним пример представления знаний этим методом правилом 3.

ПРАВИЛО 3:

ЕСЛИ

Образование – Высшее

ТО

Можно поступить в аспирантуру.

В результате добавления правила 3 появляется возможность применения на одном шаге работы метода и правила 2 и правила 3. Возникает ситуация «конфликта набора правил». Применение правила 2 на первом шаге дает возможность применить на втором шаге и правило 1 и правило 3. Если применить правило 1, то в БЗ будет помещен факт «Шансы найти работу > 0,8». Если же вначале применить правило 3, то в БЗ будет помещен факт «Можно поступить в аспирантуру», а затем, после применения правила 1, факт «Шансы найти работу > 0,8». Налицо временная зависимость скорости работы метода от количества правил и порядка выполнения правил.

Принцип сопоставления информации, лежащий в основе метода, требует:

- однородности (однотипности, одинаковости) представляемой информации;
- одинакового синтаксиса описания представляемой информации;
- обязательного наличия в БЗ информации, выступающей посылкой, в момент использования правила.

Логическая [8, 9] или, в трактовке [1], формально-логическая модель. Знания ПО представляются в виде предикатов – логических функций  $F(x_1, x_2, \dots, x_m)$ , принимающих значение ИСТИНА или ЛОЖЬ, где  $F$  – имя предиката,  $x_i$  – аргументы предиката. Каждый предикат структурно состоит из элементарных составляющих, в качестве которых могут выступать другие предикаты или логические функции  $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ , записанные с использованием логических связок «И», «ИЛИ», «НЕ», «СЛЕДОВАНИЕ» и кванторов всеобщности ( $\forall$ ) и существования ( $\exists$ ).

Так же как и в продукционной модели, информация представляется в форме совокупности правил, записанных в виде логических формул, что накладывает аналогичные ограничения на представляемую информацию. Отличием является то, что правила не имеют форму продукций, а представляют собой понятия (факты или утверждения) и отношения между ними.

Примером представления знаний с помощью этой модели служит предикат «образование (среднее, специальное, высшее)». Может обозначать понятие «образование» как отношение, связывающее между собой уровни образования. А может обозначать свойство объектов-аргументов (среднее, специальное, высшее), обозначенных именем предиката «образование». К логическим методам представления знаний ПО можно отнести: исчисление высказываний 1-го порядка (логика предикатов), метод резолюции, методы модальных логик.

Рассмотрим указанные логические методы.

Метод исчисления высказываний 1-го порядка. Суть метода: вычисление заключения из предикатов. Ограничение: нельзя использовать в качестве аргументов предиката логическое выражение, т.е. представляемая информация должна обладать свойством высокой структурированности.

Рассмотрим наш пример с поиском работы. Исходные посылки «Образование – Высшее», «Возраст < 35» и «Шанс найти работу > 0,8» разложатся на элементарные части. «Образование» – субъект, «высшее» – свойство субъекта. Таким образом, «образование» является предикатом, например,  $p$ , свойство «высшее» – одно из возможных значений аргумента предиката  $p$ . Более общая запись будет иметь вид  $p(x)$ .

Соответственно, свойство «Возраст < 35» – предикат  $q(y)$ , где  $y$  – возможные значения предиката «Возраст», «Шанс найти работу» – предикат  $a(k)$ , где  $k$  – возможные значения вероятности найти работу.

Тогда информация, содержащаяся в утверждениях, будет представлена в виде:  $p(x) \wedge q(y) \rightarrow a(k)$ . В отличие от продукционного метода не требуется вначале установить истинность  $p$ , а затем истинность  $q$ . а истинно, если  $p$  и  $q$  истинны, то есть вычисление заключения происходит вне зависимости от порядка обработки условий  $p$  и  $q$ .

Метод резолюции представляет собой более фундаментальную формализацию по сравнению с методом логики предикатов. Указанное отличие предполагает перед переходом к заключению приведение изначально заданных логических формул к определенной нормальной форме, например префиксной нормальной форме (ПНФ). Преобразование основывается на ряде правил: выведение кванторов  $\forall$  и  $\exists$  перед логической формулой, исключение связок  $\rightarrow, \leftrightarrow$  путем их замены на связки И, ИЛИ, НЕ, полное исключение кванторов  $\forall$  и  $\exists$  из формулы.

Пример представления информации этим методом:  $(\forall x)(\exists y)$  РАВНО  $(X, Y)$  – «для каждого  $x$  существует  $y$ , такой, что  $x$  равно  $y$ ». Указанное соотношение позволяет заменить  $y$  на функцию  $f(x)$ , описывающее данное отношение. Учитывая тот факт, что функция  $f(x)$  возникла потому, что переменная  $y$  проквантифицирована квантором  $\exists$ , полученная логическая формула примет вид:  $(\forall x)$  РАВНО  $(x, y)$ .

Методы модальной логики описаны в [10–12] являются расширением логики предикатов 1-ого порядка, за счет введения возможности качественной оценки связи, установленной в высказывании, с помощью аппарата многозначных логик:

- модальных операторов, например, «возможно», не принимающего значение ИСТИНА или ЛОЖЬ, а принимающего некое третье значение (трехзначная логика Лукасевича);

- четырехзначная логика (истинно и ложно, ложно и неистинно, истинно и ложно, ни истинно и ни ложно – 1, '+', '-', 0 соответственно);

- аксиом, выражающих условия истинности, о замене эквивалентным и т.д.

Используются для представления в БЗ противоречивой и неполной информации, т.е. являющейся истинной и ложной или ни истинной и ни ложной. Примером представления информации с помощью модальной логики является запись утверждения

«Возможно, завтра пойдет дождь» вида:  $\nabla(x)$ , где символ  $\nabla$  – обозначение модального оператора «возможно»,  $x$  – утверждение «завтра пойдет дождь». Это утверждение не является сегодня ни истинным, ни ложным, оно имеет некое третье значение, именуемое «возможность» и обозначаемое, например, 1/2 [11].

Таким образом, появляется возможность представить информацию не только о реальном, но и возможном (или необходимом) событии (явлении, объекте, свойстве и т.п.).

Возможны другие модальные операторы – «необходимо», «всегда» и т.д. – и соответствующие модальные логики. Виды модальных логик представлены, например, в [3]. Следуя [3], перечислим наиболее известные: алетическая логика (модальности «возможно – необходимо»), деонтическая логика (модальности «разрешено – обязательно»), эпистемическая логика (логика «знания – веры»), временная модальная логика (модальности «всегда – никогда», «часто – иногда»).

Псевдофизические логики объединяют в себе целый класс методов: пространственная и временная логики, логика оценки величин, логика действий. Методы пред-

ставлены в [13,14]. Целью перечисленных методов является формализация нестрогих рассуждений человека о рассматриваемой предметной области в виде так называемых лингвистических переменных, генерация на основе правил вывода новых знаний о данной области, пополнение новыми знаниями БЗ. Значения лингвистических переменных связаны со значениями различного рода шкал: возраста (количество лет), расстояния (м или км) и т.д. Например, со значениями шкалы «возраст» можно связать соответственно значения лингвистической переменной: «юный», «молодой», «зрелый», «старый» или диапазоны значений шкалы: «0 ... 17», «17 ... 21», «22 ... 35», «36 ... 50» и т.д.. Таким образом устанавливается связь между разнотипной информацией. Как следствие, метод дает возможность установить связь и одновременно представить разнотипную информацию. Такого рода взаимосвязи образуют базовые отношения, из которых с помощью логических связок строятся производные отношения. Примером представления информации методом псевдофизических логик является понятие «пожилой» как конъюнкция от понятий «зрелый» и не «старый» и возраст «от 22 до 35 лет».

#### Методы продукционной и логической моделей представления информации в АОС

№ п/п	Название метода	Форма представления информации	Вид правила	Свойства представляемой данным методом информации	Отличительные особенности метода
1	метод формализации информации в форме правил	совокупность правил	продукции вида «Если А, то В»	однозначность, однородность, одинаковый синтаксис описания, обязательное наличие в БЗ информации, выступающей посылкой, в момент использования правила	временная зависимость скорости работы метода от количества и порядка выполнения правил
2	метод исчисления высказываний 1-го порядка	совокупность правил	понятия, отношения между понятиями	однозначность, однородность, одинаковый синтаксис описания, высокая структурируемость	не требуется последовательного установления истинности понятий
3	метод резолюции	совокупность правил	понятия, отношения между понятиями	однозначность, однородность, одинаковый синтаксис описания, высокая структурируемость	приведение изначально заданных логических формул к определенной нормальной форме
4	методы модальной логики	совокупность правил	понятия, отношения между понятиями	противоречивая и неполная, возможная, необходимая	возможность качественной оценки связи, установленной между понятиями
5	псевдофизические логики	стандартный код (числовой, символьный и т.п.)	шкала оценок	разнотипная	возможность установить связь и одновременно представить разнотипную информацию

Результаты обзора методов продукционной и логической моделей представления информации сведены в таблице.

### Список литературы

1. Карпенко А.П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор / А.П. Карпенко // *Машиностроение и компьютерные технологии*. – 2011. – № 7. – С. 12–29.
2. Макаренко С.И. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие / С.И. Макаренко. – Ставрополь: СФ МГТУ им. М.А. Шолохова, 2009. – 206 с.
3. Поллак Г.А. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие / Г.А. Поллак. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 141 с.
4. Болотова Л.С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях: учебник / Л.С. Болотова. – М.: Финансы и статистика, 2012. – 664 с.
5. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта: монография / Г.С. Осипов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 296 с.
6. Остроух А.В. Интеллектуальные информационные системы и технологии: монография / А.В. Остроух, Н.Е. Суркова. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. – 370 с.
7. Калинина Н.А. Модели и процедуры иерархического сетевого представления предметной области для поддержки процессов приобретения знаний: дис. ...канд. тех. наук. – Нижний Новгород, 2017. – 180 с.
8. Осуга С. Обработка знаний / С. Осуга; пер. с япон. В.И. Этова. – М.: Мир, 1989. – 293 с.
9. Представление и использование знаний / Х. Уэно, М. Исидзука, Т. Кояма и др.; пер. с япон. И.А. Иванова, под ред. Н.Г. Волкова. – М.: Мир, 1989. – 220 с.
10. Лукасевич Я. О принципе противоречия у Аристотеля. Критическое исследование / Я. Лукасевич; пер. с польского Б.Т. Домбровского. – М. – СПб.: Центр гуманитарных инициатив, 2012. – 255 с.
11. Карпенко А.С. Логика Лукасевича и простые числа / А.С. Карпенко. – М.: Наука, 2000. – 319 с.
12. Карпенко А.С. Современные исследования в философской логике: мировой уровень, российская наука, РФФИ / А.С. Карпенко // *Вестник РФФИ*. – 2003. – № 3. – С. 52–71.
13. Калущая А.П. Моделирование информационного взаимодействия когнитивного агента с внешней средой на основе псевдофизических логик и обобщенных ограничений: дис. ...канд. тех. наук. – Москва, 2010. – 216 с.
14. Фоминых И.Б. Методы представления и обработки неопределенной информации в интеллектуальных системах поддержки принятия решений / И.Б. Фоминых, А.П. Еремев // *Проблемы машиностроения и автоматизации*. – 2012. – № 1. – С. 44–51.