УДК 519.7

С.Ю. Шабанов-Кушнаренко, Кудхаир Абед Тамер, И.А. Лещинская

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

ПРЕДИКАТНЫЙ ПОДХОД К ФОРМАЛИЗАЦИИ НЕЯВНЫХ ЗНАНИЙ

Каждое слово представляет собой некоторое понятие. Невозможно создать полноценный искусственный интеллект, пока компьютер не освоит те же понятия. Компьютер может усваивать только математические описания понятий. Поэтому для становления искусственного интеллекта задача формального описания понятий имеет первостепенное значение. Особое значение имеет описание математических понятий. Описание понятий логической математики составляет одну из важнейших задач самой логической математики.

Ключевые слова: *теория интеллекта, алгебра конечных предикатов и предикатных операций, линейный логический оператор.*

Введение

Рассмотрение проблемы формализации представления знаний требует детализации подходов к их созданию, передаче, документированию. Формирование знаний человеком происходит во всех сферах его жизнедеятельности и, на первый взгляд, отличается разнообразием подходов и представляемых возможностей. В то же время, все многообразие подходов к представлению знаний характеризуется рядом ключевых особенностей, опирающихся на формы представления знаний.

В литературе выделяют две базовых формы знаний [1]:

– неявные (неотделимые от человека);

– явные – документированные, формализованные знания.

Формализованное знание может быть представлено в виде чисел, формул, алгоритмов, правил, принципов и т.п.

Данный вид знания обычно широко используется в разработках, выполняемых в области искусственного интеллекта [2].

В то же время, выраженное в правилах, принципах, словах, формулах знание является лишь небольшой частью накопленного человечеством знаниевого объема.

1. Структуризация знаний по критерию неотделимости от человека

Значительная часть знания не формализована. Неформализованное знание непосредственно связано с человеком, поэтому его иногда называют «неотделимым (от человека)» знанием. К такому неявному знанию относят:

– субъективное понимание;

– опыт;

– догадка, предчувствие, предвосхищение.

Ключевыми особенностями данного знания являются:

– плохо поддается описанию, формализации;

– связано с опытом, что затрудняет его передачу и использование.

В целом в неявном знании целесообразно выделить три ключевых составляющих, что соответствует рассмотренным в первом разделе иерархическим моделям интеллекта:

– прогнозирование будущего (как функция общего интеллекта);

– восприятие настоящего (как отражение преимущественно невербальных) возможностей человека;

– профессиональные возможности человека, как отражение интеллекта по различным направлениям деятельности.

Отметим, что первые две составляющих человек воспринимает как элемент своей личности. При восприятии настоящего и формировании представлений о будущем человек оперирует обычно неосознаваемыми «встроенными» шаблонами (смысловыми фигурами), которые крайне трудно поддаются выделению и, следовательно, описанию и объяснению. Однако указанные шаблоны основаны на использовании человеком набора базовых понятий.

Третья составляющая неявных знаний обычно связана с опытом, наработкой навыков по профессии. Эти навыки могут быть отражены в виде правил, шаблонов, принципов, основанных на наборе базовых понятий. В то же время человек обычно не в состоянии объяснить те правила, которые им используются, хотя и может попытаться описать исходные понятия.

Таким образом, в основе выделенных трех уровней неявного знания лежат некоторые шаблоны. Сложность шаблонов уменьшается от верхнего уровня (прогнозирование) до нижнего (профессионального). Последние могут быть представлены правилами, принципами, формулами и т.п., которые связывают в единое целое набор используемых человеком понятий.

Человек владеет огромным числом понятий. Каждое слово представляет собой некоторое понятие. Невозможно создать полноценный искусственный интеллект, пока компьютер не освоит те же понятия. Компьютер может усваивать только математические описания понятий. Поэтому для становления искусственного интеллекта задача формального описания понятий имеет первостепенное значение. Особое значение имеет описание математических понятий. Описание понятий логической математики составляет одну из важнейших задач самой логической математики и служит базой для формализации рассмотренных выше шаблонов при построении процесса выделения неявных знаний.

2. Понятия как предикаты

Перевод неявных знаний в явную форму связан с их схематизацией в целом и структуризацией базовых понятий в частности [1]. Это и обуславливает актуальность предикатного представления понятий, а также объектов и процессов, которые основываются на выделенных понятиях. Фактически, мы формализуем понятие, заменяя его соответствующим предикатом и затем описывая этот предикат.

Одно из важнейших практических применений логической математики состоит в формальном описании математических понятий на ее языке, в том числе и понятий, вводимых самой логической математикой [2].

Известны [3] математическое описание понятий цвета и понятия линейного логического оператора. Аксиоматическое описание понятий – одна из основных задач числовой математики. До тех пор, пока понятия формально не описаны, они недоступны компьютеру. Если структуру какого-то объекта не удается математически описать, это верный признак того, что мы не до конца понимаем, что собой представляет этот объект, а значит, мы не сможем этот объект воссоздать в натуре. Но как только эти понятия (объекты) удается формально описать, компьютер может их усвоить, привести в движение, так как он понимает язык математических формул. Таким образом, при формализации неявных знаний первоначально описываются новые понятия и с каждым усвоенным понятием уровень интеллекта компьютера повышается. Язык логической математики представляет собой универсальное средство описания любых понятий, в том числе и математических. Может показаться, что описание математических понятий – внешняя по отношению к логической математике задача. Но это не совсем верно. Описывая свои собственные понятия, логическая математика сама развивается.

Любое понятие с математической точки зрения представляет собой некоторый предикат $P(x)$, заданный на каком-то множестве предметов M.

В процессе формального описания понятия может оказаться, что предметная переменная x разворачивается в набор $x=(x_1, x_2,..., x_m)$ многих других предметных переменных, а множество M превращается в декартово произведение каких-то других множеств $M_1 \times M_2 \times \ldots \times M_m = M$. Тогда мы приходим к задаче формального описания многоместных предикатов. Как узнать, владеет ли данный человек в совершенстве некоторым понятием, например, понятием «кошка»? Существует простой способ. Человеку (испытуемому) предъявляют всевозможные предметы и спрашивают: «Это кошка?» А он должен отвечать «да» или «нет»». Если он во всех случаях отвечает правильно (впопад), значит, он вполне владеет данным понятием, если же это не так, то не владеет полностью. Ребенок сначала отвечает невпопад, а затем постепенно обучается и осваивает понятия. Из этого эксперимента ясно видно, что понятия можно формально представлять предикатами. Могут быть понятия, которые требуют для своего формального описания использование многоместных предикатов. Например, понятие «любит»: «Ваня любит Машу; x любит y, $P(x, y)$». В эксперименте надо испытуемому предъявлять пару предметов (x, y).

Человек, владеющий каким-то понятием, является носителем некоторого предиката, он своим поведением реализует вполне определенный предикат $P(x)$, где x – произвольный предмет из некоторой области M.

Если удается математически записать предикат P, то его можно реализовать на компьютере, и он тоже будет владеть этим понятием. Не всегда удается тот или иной интересующий нас предикат выразить прямо, непосредственно формулой. Есть другой способ задания предиката – косвенный: указать свойства предиката и записать их в виде логических условий на языке алгебры предикатных операций, то есть предикат задается уравнением. Важно указать свойство (или систему свойств), которое в точности характеризовало бы собой данное понятие – предикат.

3. Разработка предикатных моделей понятий при формализации неявных знаний

Дадим формальное определение понятия равенства двух предикатов. Равенство предикатов $P=Q$ представляет собой двуместный предикат второй ступени $=(P, Q)$, аргументами которого являются предикаты первой ступени P и Q.

Пусть P и Q – предикаты $P(x_1, x_2,\ldots, x_m)$ и $Q(x_1, x_2,\ldots, x_m)$, заданные на U^m. Сокращенно записываем $(x_1, x_2,\ldots, x_m)=x$, тогда:

$$=(P, Q)\Leftrightarrow\forall x(P(x)\sim Q(x)).$$

Мы получили формальное определение равенства двух предикатов.

В развернутой форме:

$$P=Q\Leftrightarrow\forall x_1\forall x_2\ldots\forall x_m(P(x_1, x_2,\ldots, x_m)\sim Q(x_1, x_2,\ldots, x_m)),$$

где $\Leftrightarrow$ – знак логической равносильности.

Если истинно левое утверждение, то истинно и правое и наоборот. Часто новые понятия выражаются с помощью прямых определений через введенные ранее понятия.

Прямым определением предиката Q через предикаты $P_1, P_2,\ldots, P_n$ называется связь вида:

$$\begin{gathered}\forall x\Big(Q(x)\sim F\big(P_1(x),\ P_2(x),\ldots,\ P_n(x)\big)\Big)=1,\\ (x_1, x_2,\ldots, x_m)=x,\end{gathered} \tag{1}$$

Здесь $P_1, P_2,\ldots, P_n$ – известные предикаты, то есть такие, для которых определение уже имеется. Они называются параметрами логического уравнения (условия). Q – определяемый предикат; F – некоторая предикатная операция. Уравнение (1) имеет единственное решение, и оно решается в явном виде: предикат Q выражается прямо через предикаты $P_1, P_2,\ldots, P_n$: $Q=F(P_1, P_2,\ldots, P_n)$, или в развернутой форме:

$$Q(x)\overset{x}{=}F\big(P_1(x),\ P_2(x),\ldots,\ P_n(x)\big).$$

Знак означает равенство предикатов (значения предикатов равны при всех наборах значений аргументов x).

Дадим формальное определение понятия области определения и области значений соответствия. Соответствие – это некоторое отношение, заданное на M×N. M – область отправления, N – область прибытия.

Определяем понятие соответствия предикатом $P(x, y)$ на M×N. Область определения соответствия: $A(x)=\exists y\in NF(x, y)$. Предикат $A(x)$ задан на M. В полной записи это определение запишется в виде: $\forall x(A(x)\sim M(x)\wedge\exists y\in NF(x, y))$; M, N, F – параметры условия (определяющие понятия), A – определяемое понятие. Оно запишется в виде:

$$A(x)\overset{x}{=}M(x)\wedge\exists y\in NF(x, y).$$

Формальное определение понятия области значений соответствия:

$$\forall y(B(y)\sim N(y)\wedge\exists x\in MF(x, y));$$

$$B(y)\overset{x}{=}N(y)\wedge\exists x\in MF(x, y);\ B=F(M, N, F).$$

Косвенным определением предиката Q через предикаты $P_1, P_2,\ldots, P_n$ называется связь вида:

$$F(P_1(x), P_2(x),\ldots, P_n(x), Q(x))=1. \tag{2}$$

Единица 1, стоящая справа от знака равенства, играет в логических уравнениях роль аналога нуля числовых уравнений. В более общем случае имеем: $P(P_1, P_2,\ldots, P_n, Q_1, Q_2,\ldots, Q_r)=1$, P – предикат второго порядка. Прямое определение с дополнительными условиями: E – эквивалентность, F – функция. Прямое определение является частным случаем косвенного. При прямом определении предикат Q всегда выражается однозначно через определяющие его предикаты $P_1, P_2,\ldots, P_n$. При косвенном – не обязательно. Q может не существовать, или же может существовать много вариантов решения уравнения (2) для Q. Непрямое определение – это такое косвенное определение, которое не является прямым. Не исключен случай, когда непрямое определение даст единственный предикат Q. Примером является аксиоматическое определение сложения натуральных чисел: определение непрямое, но оно определяется единственным образом. Мы его еще будем рассматривать.

В частном случае, когда A=M, имеем:

$$\forall x(\underset{a}{M(x)}\sim\underset{a}{M(x)}\wedge\exists y\in\underset{b}{N}\ F(x, y)).$$

Т.е. получили формальное определение понятия всюду определенного соответствия.

Преобразуем записанное выражение следующим образом:

$$a\sim ab=\bar{a}\cdot\overline{ab}\vee a\cdot ab=\bar{a}\,(\bar{a}\vee\bar{b})\vee ab=\bar{a}\vee ab=$$

$$=(\bar{a}\vee a)(\bar{a}\vee b)=\bar{a}\vee b=a\supset b.$$

В результате получаем $\forall x(M(x)\supset\exists y\in NF(x, y))$; $\forall x\in M\exists y\in NF(x, y)$. Это – пример косвенного определения. Это – непрямое определение, так как им предикат F определяется не единственным образом, F не выражено прямо в виде равенства F=… . В данном случае уравнение $F(F(x, y), M(x), N(x))=1$ связывает три предиката F, M и N. $F(x, y)$ – определяемый предикат; M и N – определяющие предикаты (параметры уравнения).

Формальная запись определения сюръективного соответствия:

$$\forall y\in N\exists x\in MF(x, y).$$

Определение предиката Q назовем однозначным или коэкстенсивным, если задающее его условие (то есть уравнение алгебры предикатных операций) имеет единственное решение относительно переменной Q.

В противном случае назовем его неоднозначным. Все прямые определения однозначны.

Приведем пример однозначного определения предиката.

Область определения A соответствия F определяется однозначно предикатами F, M и N:

$$\forall x(A(x)\sim M(x)\wedge\exists y\in NF(x, y)).$$

Приведем пример неоднозначного определения предиката. Всюду определенное соответствие F предикатами M и N определяется неоднозначно:

$$\forall x \in M \exists y \in N F(x, y).$$

Существуют непрямые однозначные определения, например, определение сложения натуральных чисел (рекурсивное). Так, что нельзя отождествить прямые определения с однозначными, а непрямые – с неоднозначными.

Определение предиката Q называется абсолютным, если предикат Q не зависит от параметров P_1, P_2,..., P_n.

В противном случае определение предиката Q называется неабсолютным.

Абсолютное определение характеризуется условием F(Q)=1, где F – некоторая предикатная операция.

В частном случае P(Q)=1, где P – некоторый предикат второй ступени. Обычно для записи условий используются замкнутые кванторные выражения, но можно, в принципе, использовать и незамкнутые: $P \supset Q=1 \Leftrightarrow (P \Rightarrow Q)$; $P \sim Q=1 \Leftrightarrow (P \Leftrightarrow Q)$. Предикат 1 играет в логических уравнениях (условиях, свойствах, связях) такую же роль (правой части уравнения (=1)), как 0 – в уравнениях классической (числовой) математики (=0). Обычно в логических условиях запись «=1» не пишут, но подразумевают. А когда не подразумевают, тогда это уже не утверждение, а просто предикатная операция (или предикат второй ступени, если формула замкнута).

Таким образом, полученные определения понятий играют важную роль при формализации неявных знаний и последующем использовании их в системах искусственного интеллекта.

Выводы

Таким образом, рассмотренная проблема трансформации неявных знаний в явную форму связана со структуризацией шаблонов их представления. В основе таких шаблонов лежат некоторый набор понятий. Последние, как было обосновано в настоящей статье, формализуются в виде предикатов.

Тогда предлагаемый предикатный подход к формализации каждой из рассмотренных составляющих неявных знаний включает в себя следующие шаги:

– формирование предикатного представления базового набора понятий текущего уровня неявных знаний (в прямом виде, либо в косвенном виде, через описание свойств);

– формирование набора предикатов, отражающих связи между понятиями;

– уточнение набора понятий, при необходимости формирования новых связей;

– формирование набора предикатов, отражающих объекты и процессы в заданной области;

– формирование шаблонов представления знаний на основе предикатного представления понятий и связей.

Список литературы

1. *Бондаренко М.Ф. Мозгоподобные структуры: Справочное пособие. Том первый / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко; под ред.й акад. НАН Украины И.В. Сергиенко. – К.: Наукова думка, 2011. – 460 с.*

2. *Бондаренко М.Ф. Теория интеллекта. Учебник / М.Ф. Бондаренко, Ю.П. Шабанов-Кушнаренко. – Х.: изд-во СМИТ, 2007. – 576 с.*

3. *Бондаренко М.Ф. Теория цветового зрения / М.Ф. Бондаренко, С.Ю. Шабанов-Кушнаренко. – Х.: “Фактор-Друк”, 2002. – 206 с.*

Поступила в редколлегию 7.09.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.Ф. Чалый, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ПРЕДИКАТИВНИЙ ПІДХІД ДО ФОРМАЛІЗАЦІЇ НЕЯВНИХ ЗНАНЬ

С.Ю. Шабанов-Кушнаренко, Кудхаир Абед Тамер, І.А. Лещінська

Розглянуто одне з найважливіших завдань теорії інтелекту – формальний опис неявних знань, які використовуються людиною, на мові алгебри скінченних предикатів і предикатних операцій. Мова логічної математики є універсальним засобом опису будь-яких понять, у тому числі і математичних. Рішення цієї задачі дозволить навчити комп'ютер оперувати неявними знаннями, подібно до того, як це робить людина.

Ключові слова: *теорія інтелекту, алгебра скінченних предикатів і предикатних операцій.*

THE PREDICATIVE APPROACH TO NON-OBVIOUS KNOWLEDGE FORMALIZATION

S.Yu. Shabanov-Kushnarenko, Kudhair Abed Tamer, I.A. Leschynskaya

One of major tasks of the theory of intellect is considered is a formal specification of the non-obvious knowledge used by a man, in language of eventual predicates algebra and predicate operations. A language of logical mathematics is universal means of description of any concepts, including mathematical. The decision of this task will allow to teach a computer to operate non-obvious knowledge, like it does man.

Keywords: *theory of intelligence, algebras of finite predicates and predicate operations.*