ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Чесноков Александр Михайлович

ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ КОЛОНОК

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва

LOGICAL INFERENCE IN COLUMNS-BASED INTELLIGENT SYSTEMS

Alexander Chesnokov
Candidate of Science, Senior Researcher of Institute of Control Science of RAS, Moscow

АННОТАЦИЯ

Рассматривается реализация логического вывода (прямой цепочки вывода) в интеллектуальных системах на основе колонок. Показано, что области значений и области образов играют роль переменных и предпосылок в правилах вида «ЕСЛИ–ТО».

ABSTRACT

Logical inference (forward-chaining) and it implementation in column-based intelligent systems are discussed. It is shown that the ranges of values and the pattern regions serve as variables and antecedents of IF–ELSE rules.

Ключевые слова: искусственный интеллект; интеллектуальные системы на основе колонок; колонка; логический вывод.

Keywords: artificial intelligence; columns-based intelligent systems; column; logical inference.

Интеллектуальные системы на основе колонок представляют собой системы, рассматриваемые в рамках следующей модели [2, 5].

Имеется пусть и очень большое, но *конечное множество имен* U, предназначенных для наименования объектов произвольной природы. Не ограничивая общности, считается, что множество имен U является подмножеством множества целых чисел. В множестве имен U выделяются непересекающиеся подмножества, получившие название *областей имен*. Причины, которые в реальных предметных областях приводят к выделению областей имен, могут быть совершенно различными.

Любое конечное множество имен, принадлежащих тем или иным областям имен, называется *образом*.

Образы любого множества образов P можно перенумеровать, используя для этого имена некоторой области имен U':

$$P = \{p_i \mid i \in U'\},$$

где $|U'| = |P|$, $|\cdot|$ – мощность множества.

Упорядоченная пара (i, p_i) получила название *колонки*. Колонка обозначается как $(i \mid p_i)$, где i – имя колонки, p_i – образ, содержащийся в колонке. Также используется обозначение $i \to p_i$. В этом случае говорится, что имя колонки i является *ссылкой* или *указателем* на содержащийся в колонке образ p_i. В свою очередь, про сам образ в колонке p_i будет говориться, что это образ, известный под именем i. Отображение $\varphi : i \to p_i$ называется *отображением наименования*.

Имя i, которое еще не использовалось для наименования образов, называется *чистым*, или *пустым* именем. Его можно представить как колонку, имеющую пустой образ, т.е. колонку вида $(i \mid \varnothing)$ или $i \to \varnothing$.

В образы колонок могут входить имена других колонок, а также чистые имена. Таким образом, можно считать, что в образе одной колонки содержатся имена других колонок, каждое из которых служит указателем на соответствующий образ, возможно, пустой. В результате образуется сложная структура колонок.

Индексом называется любое конечное множество колонок. Состав любого индекса может меняться за счет добавления или удаления колонок. Эти операции называются сложением и вычитанием индексов и обозначаются через + и –.

Интеллектуальная система на основе колонок представляет собой один или несколько индексов и работающий с ними механизм (машина колонок), который, получая информацию о внешним мире в виде образов, формирует новые колонки, изменяет уже существующие, удаляет ненужные и выполняет другие необходимые операции.

Знания в рассматриваемых системах представлены с помощью колонок, а в основе процесса накопления знаний лежит запоминание новых образов под определенными именами. При этом *элементарными базовыми задачами*, без которых невозможно функционирование системы, очевидно, являются *прямая задача* – по образу получить его имя, и *обратная задача* – по имени получить соответствующий образ.

Базовые задачи служат той основой, на которой строится решение других задач. В [2–4] рассматривалось методы решения базовых задач, в том числе при неполной информации, что характерно для работы в условиях реального мира. Однако реальные условия не ограничиваются неполнотой информации. Другой важнейшей особенностью является наличие всевозможных помех. Это приводит к тому, что «исходному» образу реального мира соответствует целая область образов, с которой должна работать система. Другими словами, необходимо, чтобы с любым исходным образом окружающего мира отожествлялась некоторая область образов в системе. Причем имя должно ставиться в соответствие именно области образов, а не отдельному входящему в ее состав образу. Любой образ, принадлежащий области, интерпретируется как «экземпляр», «частный случай» или «возможная реализация» имени области, т.е. имя области образов играет роль локальной классификации или локального обобщения.

Рассмотрим множество образов P в виде конечных последовательностей или векторов:

$$P = \bigcup_{k=1}^{n} P^k,$$

$$P^k = U_1 \times \ldots \times U_k,$$

где U_k – область имен k-й координаты.

Для рассматриваемых образов наиболее естественной и удобной формой задания любой области образов Δ является прямое произведение вида $\Delta = \delta_1 \times \ldots \times \delta_m$, где δ_k – область значений k-й координаты [6]. Область значений δ_k представляет собой произвольное множество имен $\delta_k \subset U_k$, где U_k – область имен k-й координаты. Область значений δ_k может задаваться как с помощью некоторой метрики, так и формироваться машиной колонок из имен U_k, исходя из текущих целей, задач и оценок. Это предоставляет системе гораздо больше возможностей выбора способов формирования областей образов и позволяет использовать метрику только там, где это действительно необходимо.

Возникнув как средство работы с образами в условиях помех, наличие областей образов одновременно означают наличие в системе локальной классификации и обобщения. В первом случае, это обеспечивает возможность решения системой сложных задач классификации. Во втором, это предоставляет возможность формирования многоуровневых структур со все более общими именами (понятиями) при построении инвариантных представлений. Важнейшую роль области значений и области образов играют при реализации в интеллектуальных системах на основе колонок логического вывода с переменными вида $\forall x \in M$ [1, 7, 8]. Вопросам реализации такого вывода и посвящена данная работа.

В системе на основе колонок переход по ссылке от образа к его имени $p_i \rightarrow i$ можно рассматривать как шаг логического вывода – шаг в прямой цепочки вывода [7, 8]. При этом элементы входного образа играют роль условий в предпосылке правила, а его имя – роль результата срабатывания этого правила, результата данного шага вывода.

Действительно, пусть, например, имеется входной образ $p = (i_1, i_2, \ldots, i_m)$. Если образ *p* известен системе, то решение прямой задачи даст его имя i_p [2, 3], т.е. *если* на входе имеется имя i_1 *и* имя i_2, …, *и* имя i_m, *то* результатом будет имя i_p. Другими словами, имеется правило вида «ЕСЛИ–ТО» – ЕСЛИ i_1 И i_2, …, И i_m, ТО i_p. Роль машины вывода [7, 8], обеспечивающей срабатывание правила, в данном случае выполняет машина колонок, которая, решая прямую задачу, реализует переход по ссылке $p_i \rightarrow i$.

В приведенном примере условия в предпосылке, представленные элементами известного системе образа p, соединяются с помощью связки «и» $\wedge$. Здесь отсутствуют переменные, отрицание $\neg$ и связка «или» $\vee$. Для того чтобы можно было говорить о реализации в рассматриваемых системах правил прямой цепочки вывода, необходимо выяснить возможность реализации произвольных условий, выраженных с помощью связок $\wedge$, $\vee$, $\neg$ и переменных с квантором всеобщности $\forall$.

Далее всегда будем полагать наличие отображения f_U, которое любому элементу образа ставит в соответствие ту область имен, которой этот элемент принадлежит.

Для рассматриваемых образов это непосредственно следует из определения. Любой такой образ имеет вид $p = (i_1, i_2, \ldots, i_m)$, где $i_k \in U_k$, U_k – область имен *k*-й координаты, т.е. всегда существует отображение $f_U : i_k \rightarrow U_k$.

Как было показано выше, образ можно рассматривать как предпосылку правила «ЕСЛИ–ТО». При этом любой элемент образа i_k связан с соответствующей областью имен U_k. Поэтому переменная, «замещающая» его в предпосылке, также должна быть связана с областью имен U_k. Отсюда следует, что областью определения любой переменной в образе–предпосылке является некоторая область имен $U_x = f_U(i_k)$, где i_k – имя в образе, место которого займет переменная. Переменная может использовать в качестве значений не все имена области U_x. Поэтому *областью значений* переменной является некоторое подмножество $\delta_x \subset U_x$. *Именем переменной* называется имя области значений δ_x. Таким образом, в данном случае переменная – это колонка вида $(i_x \mid \delta_x)$, где i_x – имя переменной, $i_x \in U_\delta$, U_δ – область имен для переменных, δ_x – область значений переменной, $\delta_x \subset U_x$, U_x – область определения переменной.

Наименованная область значений и переменная – это, по сути, одно и то же. Следовательно, работа с переменными не отличается от работы с областями значений и областями образов [6]. При этом области образов, сформированной с помощью наименованных областей значений, т.е. переменных, соответствует общее правило, использующее переменные с квантором всеобщности.

Действительно, ограничимся для простоты образами одинаковой размерности $p=(i_1,i_2,...,i_m)\in P$, $1<m\le n$. Если некоторый образ $p=(i_1,i_2,...,i_m)$ запомнен под именем i_p, то, как уже говорилось, ему соответствует правило ЕСЛИ i_1 И i_2, …, И i_m, ТО i_p. Или в другой записи $i_1\wedge i_2\wedge...\wedge i_m\rightarrow i_p$. Очевидно, для произвольного входного образа $p'\in P$ условная часть этого правила выполняется, если $p'=p$, т.е. если выполняются все m условий $i'_k=i_k$.

Пусть теперь под именем i_Δ запомнена, например, область образов $\Delta=i_1\times\delta_{x_2}\times i_3\times...\times i_m$. Здесь $(i_{x_2}\mid\delta_{x_2})$ – наименованная область значений или переменная по имени i_{x_2}, $\delta_{x_2}\subset U_2$. При решении прямой задачи имя i_Δ будет получено для любого образа $p'\in\Delta$, т.е. при совпадении всех имен $i'_k=i_k$, кроме второго, для которого должно выполняться $i'_2\in\delta_{x_2}$ [6]. Соответствующее правило «ЕСЛИ–ТО» можно записать в виде $i_1\wedge i_{x_2}\wedge...\wedge i_m\rightarrow i_\Delta$, где имя переменной i_{x_2} служит в качестве ее обозначения. Очевидно, для $\forall p'\in P$ предпосылка этого правила будет выполняться для $\forall i'_2\in\delta_{x_2}$ и при выполнении всех условий $i'_k=i_k$ $(k\neq 2)$. Другими словами, в предпосылке вместо второго элемента используется переменная по имени i_{x_2} с квантором всеобщности в области значений переменной δ_{x_2}. Следовательно, в данном случае мы имеем общее правило, выраженное с помощью переменной по имени i_{x_2}. Предпосылкой этого общего правила является область образов $\Delta=i_1\times\delta_{x_2}\times i_3\times...\times i_m$. Причем, если, как это было показано выше, предпосылка в виде образа p устанавливает между условиями предпосылки связку $\wedge$, то предпосылка в виде области образов вводит в условия предпосылки связку $\vee$.

Действительно, пусть в рассматриваемом примере область значений переменной $\delta_{x_2}=\{i_{\delta 1},...,i_{\delta l}\}$, $l>1$. Это означает, что второе условие предпосылки выполняется в том случае, если i'_2 – это ИЛИ $i_{\delta 1}$, ИЛИ $i_{\delta 2}$, …, ИЛИ $i_{\delta l}$. Поэтому рассматриваемое правило можно переписать в виде

$$i_1\wedge i_{x_2}\wedge...\wedge i_m\rightarrow i_\Delta=i_1\wedge(i_{\delta 1}\vee...\vee i_{\delta l})\wedge...\wedge i_m\rightarrow i_\Delta.$$

Область значений переменной может задаваться так же, как это делалось для областей значений, с помощью которых формировались области образов [6]. Более сложные области значений могут быть получены как результат операций булевой алгебры множеств: $\delta_1\wedge\delta_2=\delta_1\bigcap\delta_2$, $\delta_1\vee\delta_2=\delta_1\bigcup\delta_2$ и $\neg\delta_1=U_x\setminus\delta_1$, где $\delta_1,\delta_2\subset U_x$.

Здесь особый интерес представляет отрицание, так как оно позволяет определить отрицание переменной.

Пусть имеется любая переменная $(i_x\mid\delta_x)$, где $i_x\in U_\delta$, U_δ – область имен для переменных, $\delta_x\subset U_x$, U_x – область определения переменной. Тогда под *отрицанием переменной* $\neg(i_x\mid\delta_x)$ понимается переменная с областью значений $U_x\setminus\delta_x$. Обозначив ее имя через $\neg i_x$, где $\neg i_x\in U_\delta$, получим

$$\neg(i_x\mid\delta_x)=(\neg i_x\mid U_x\setminus\delta_x),$$

или, так как $\neg\delta_x=U_x\setminus\delta_x$, то

$$\neg(i_x\mid\delta_x)=(\neg i_x\mid\neg\delta_x).$$

Для корректного определения операции отрицания необходимо, чтобы для имени переменной выполнялось равенство $\neg\neg i_x=\neg(\neg i_x)=i_x$. В этом случае $\neg\neg i_x=i_x$, $\neg\neg\delta_x=\delta_x$ и $\neg\neg(i_x\mid\delta_x)=(i_x\mid\delta_x)$.

Так определить имя $\neg i_x$ всегда можно. Наиболее очевидный способ состоит в том, чтобы в качестве имен отрицаний добавить в исходную область имен переменных U_δ парные отрицательные имена, а затем определить для $\forall i_x\in U_\delta$ операцию отрицания имени как $\neg i_x=-i_x$. Тогда, очевидно, $\neg\neg i_x=-(-i_x)=i_x$.

В заключение следует подчеркнуть, что как только система на основе колонок начинает в реальных условиях запоминать образы, одновременно с этим она получает возможность запоминать правила и осуществлять логический вывод с переменными (общими именами), в том числе, и при неполной информации [3]. Таким образом, логический вывод – это внутренне присущее свойство интеллектуальных систем на основе колонок.

Литература:

1. Построение экспертных систем / Под ред. Ф. Хейеса-Рота, Д. Уотермана и Д. Лената. М.: Мир, 1987. 441 с.
2. Чесноков А.М. Интеллектуальные системы на основе колонок // Управление большими системами, 2013, №46. – С. 118–146.
3. Чесноков А.М. Интеллектуальные системы на основе колонок при неполной информации // Управление большими системами, 2014, №50. – С. 84–98.
4. Чесноков А.М. Конечные мультимножества как образы в интеллектуальных системах на основе колонок // Управление большими системами, 2014, №52. – С. 23–36.
5. Чесноков А.М. Введение в общую теорию колонок. М.: ИПУ РАН, 2012. 141 с.
6. Чесноков А.М. Области значений и области образов в интеллектуальных системах на основе колонок // Prospero, 2015, №10 (20). – С. 86–90.
7. Уотерман Д. Руководство по экспертным системам. М.: Мир, 1989. 388 с.
8. Элти Дж., Кумбс М. Экспертные системы. М.: Финансы и статистика, 1987. 191 с.