ЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИНФОРМАТИКЕ
(Вычислительные системы)

1993 год Выпуск 148

УДК 519.682.1

АНАЛОГИЯ И АРГУМЕНТАЦИЯ В СИСТЕМАХ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

М.С.Бургин

Введение

Одним из главных свойств естественного интеллекта является умение приобретать новые знания. Поэтому при построении систем искусственного интеллекта стремятся достичь такого же результата. Без этого систему нельзя назвать интеллектуальной. Не останавливаясь на сверхсложной проблеме, что такое знания, отметим, что понятие нового тоже требует уточнения. Существуют разные виды новизны [1]. Однако в нашей статье будет рассматриваться только такое новое (в данном случае знание), которое не имелось в данной системе.

Существуют разные схемы получения нового знания. С развитием систем искусственного интеллекта такие схемы изменялись и совершенствовались. Первый этап характеризуется тем, что знания получались путем логического вывода. Для этого необходимы система вывода (логический процессор) и знания, из которых что-то выводится. На втором этапе произошел переход от чисто формального вывода к аргументации, служащей для обоснования в системе знаний. Новое знание уже не выводилось, а аргументировалось и обосновывалось. Третий этап ознаменовался переходом к новой парадигме оценивания, направленного на объяснение. Каждый из этапов расширял на более высокий уровень возможности, полученные раньше. В самом деле,доказательство - это наиболее формализованный вид аргументации. Сама же аргументация выступает как средство повышения такой оценки, как обоснованность.

Во всех подходах к получению нового знания определенное место занимает аналогия. Однако если в доказательстве ее роль сравнительно невелика, то уже в аргументации аналогия выходит на одно из первых мест. В процессах оценивания значение аналогии еще больше возрастает.

Заметим, что даже самое формализованное математическое доказательство в определенном смысле является рассуждением по аналогии. Только аналогия в данном случае не прямая,а отдаленная, скрытая математическими формализмами. Действительно, каждый шаг вывода хотя и основывается на строгих правилах, но само применение этих правил по сути опирается на то, что во многих других аналогичных ситуациях это приводило к правильному результату. Обоснованность такого представления дедукции, как ситуативно обусловленных действий,показывает появление релевантных и немонотонных логик. В них пересматриваются правила вывода и используются такие, которые более адекватно отображают реальную ситуацию.

В более общих видах аргументации, чем дедукция, которую можно назвать формально-математической аргументацией,рассуждения по аналогии становятся более явными.Кроме прямой аналогии, позволяющей решать многие задачи, такой метод,как индукция,является аналогией от частного к общему. В ней частные закономерности преобразуются в общее правило.

Первостепенную роль играет аналогия в творческой деятельности. К настоящему времени выявлено пять основных групп механизмов творческой деятельности [2]:

- механизмы анализа посредством синтеза, с помощью которых новые свойства объекта выявляются путем установления его взаимосвязей с другими объектами;

- механизмы взаимодействия интуитивных и логических средств;

- механизмы ассоциации;

- механизмы обратной связи;

- различные эвристические приемы и методы.

Во всех этих группах в большей или меньшей степени используется аналогия. Но особенно она важна для ассоциативного поиска решения. Под ассоциациями в психологии обычно понимают установление взаимосвязей между объектами или явлениями на основе наличия у них сходных или различных признаков. Ассоциации по сходству признаков, используемые для установления взаимосвязей, и являются аналогиями. Заметим, что гораздо менее изучены ассоциации по контрасту, хотя и они весьма существенны для процессов творчества.

Такие разнообразные применения объясняют интерес многих исследователей к проблемам аналогии [3-7]. В настоящей работе строится общая схема рассуждений по аналогии, позволяющая не только с единых позиций изучать аналогию, но и строить формализованные процедуры и алгоритмы приобретения знаний в системах искусственного интеллекта.

1. Элементы теории именованных множеств

Математическим аппаратом, который далее используется для построения формализованной теории аналогии, ориентированной на использование в автоматизированных системах приобретения и обработки знаний, является теория именованных множеств. Приведем основные определения и конструкции [8,9].

Пусть **Ens**, **Set**, **Col** - некоторые категории множеств (классов) и их морфизмов (отображений или соответствий), **Ens**,

$\mathbf{Set} \subseteq \mathbf{Col}$ и $\mathbf{M}$ - выделенный подкласс в классе $\mathbf{Mor\ Col}$ всех морфизмов категории $\mathbf{Col}$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 1. Именованным (по классу $\mathbf{M}$) множеством (или $\mathbf{N}$-множеством) называется тройка $\mathbf{X} = (X,f,I)$, в которой $X \in \mathrm{Ob}\,\mathbf{Ens}$, $I \in \mathrm{Ob}\,\mathbf{Set}$, $f: X \to I$ и $f \in \mathbf{M}$. Если X или I не множество, а класс, то $\mathbf{X}$ называется именованным классом.

ПРИМЕР 1. Нечеткие множества: объекты категории $\mathbf{Ens}$ - произвольные множества, категория $\mathbf{Set}$ имеет только один объект - отрезок $[0,1]$; морфизмы в $\mathbf{Ens}$ - любые отображения, а в $\mathbf{Set}$ - любые отношения на отрезке $[0,1]$, класс $\mathbf{M}$ состоит из произвольных отображений.

ПРИМЕР 2. $\mathbf{L}$-нечеткие множества: объекты в $\mathbf{Ens}$ - произвольные множества, а морфизмы - их отображения, $\mathbf{Set}$ имеет только один объект - решетку $\mathbf{L}$, а в качестве морфизмов берутся все бинарные отношения на $\mathbf{L}$, а класс M состоит из произвольных отображений.

ПРИМЕР 3. Мультимножества: объекты из $\mathbf{Ens}$ - произвольные множества, а морфизмы - их отображения; объекты из $\mathbf{Set}$ - произвольные множества кардинальных чисел, а морфизмы - любые бинарные отношения между ними; класс $\mathbf{M}$ состоит из произвольных отображений.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 2.

1. Множество X называется носителем именованного множества $\mathbf{X}$ и обозначается $S(\mathbf{X})$.

2. Величина I называется множеством имен именованного множества $\mathbf{X}$ и обозначается $N(\mathbf{X})$.

3. Отображение (соответствие) f называется отображением (отношением) именования именованного множества $\mathbf{X}$ и обозначается $n(\mathbf{X})$.

4. Элемент (для однозначного отображения f) или множество $f(x)$ (для отношения f) называется полным именем, а $a \in f(x)$ - частным именем элемента $x \in \mathbf{X}$.

Среди всех именованных множеств можно выделить некоторые подклассы, играющие более важную роль как в самой теории именованных множеств,так и в различных ее приложениях.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 3. Именованное множество $\mathbf{X}$ называется:

а) одноименованным, если f - отображение и I состоит из одного элемента;

б) индивидуализированным, если разные элементы из X имеют различные полные имена в именованном множестве $\mathbf{X}$;

в) однозначно именованным (или функциональным), если f - отображение;

г) нормализованным, если для любого имени из I существует элемент из X с этим именем;

д) конормализованным, если любой элемент из X имеет имя в I .

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 4. Отображением (морфизмом) именованного множества $\mathbf{X} = (X,f,I)$ в именованное множество $\mathbf{Y} = (Y,g,J)$ называется пара $\Phi = (h,q)$, в которой $h\colon X \to Y$, $q\colon I \to J$ и $fq = hg$:

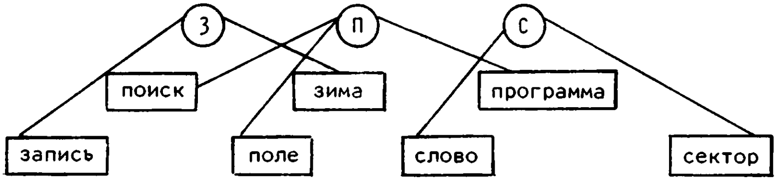
$$\begin{tikzcd} I \arrow[r, "q"] & J \\ X \arrow[u, "f"] \arrow[r, "h"] & Y \arrow[u, "g"'] \end{tikzcd} \qquad (1)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ 5. Именованное множество $\mathbf{Y}$ называется именованным подмножеством именованного множества $\mathbf{X}$,если $Y \subseteq X$, $J \subseteq I$ и ограничение $f|_{(X,J)}$ морфизма f на (Y,J) равно g . Обозначается $\mathbf{X} \subseteq \mathbf{Y}$.

Различные именованные множества и их именованные подмножества возникают естественным путем не только в самой математике, а в любой другой области науки. Одним из наиболее часто встречающихся видов именованных множеств являются любые системы классификации, которых особенно много в биологии или в минералогии, где они имеют разветвленный иерархический характер.

Задача поиска информации описывается в [10] как нахождение данных, хранящихся с определенной идентификацией. Данные представлены в виде записей, а идентификация - это специальное поле, которое называется ключом. Таким образом получаем именованное множество $\mathbf{X}$, в котором носитель $S(\mathbf{X})$ - это совокупность данных (записей), а именем записи является ее ключ.

ПРИМЕР 4. Каждая запись содержит слово, поле - букву, а ключевым является первое поле. Это дает именованное множество, изображенное на рисунке:



Это превращает поиск информации в операции над именованными множествами.

2. Общий принцип аналогии

Общая схема формирования знаний по аналогии описывается следующим образом.

Пусть задана некоторая система знаний $\mathbf{K}$.

1. Имеется отношение подобия φ для элементов из $\mathbf{K}$.

2. Имеется некоторая процедура (операция) $\mathbf{A}$, с помощью которой осуществляется преобразование элементов системы $\mathbf{K}$.

3. Имеется набор элементов $a_1, \dots, a_n$ из K ,из которых с помощью операции A получается элемент a из K.

4. Имеется набор элементов $b_1, \dots, b_n$ из K , каждый из которых подобен соответствующему элементу a , т.е. имеет место соотношение $a_i \; \varphi \; b_i$ для всех $i = 1, \dots, n$.

5. Имеется правило R преобразования A в процедуру (операцию) B , согласованную с отношением подобия φ , т.е. $B = R(A)$ и коммутативная диаграмма (2), которая получается на следующем этапе.

6. Применяя операцию B к элементам $b_1, \dots, b_n$, получаем элемент b , подобный элементу a и с некоторой степенью достоверности принадлежащий системе K

$$\begin{tikzcd} \{b_1, \dots, b_n\} \arrow[r, dashed, "B"] & \{b\} \\ \{a_1, \dots, a_n\} \arrow[u, "\overline{\varphi}"] \arrow[r, "A"] & \{a\} \arrow[u, dashed, "\varphi"'] \end{tikzcd} \qquad (2)$$

Таким образом, задано именованное множество (X,f,I) , в котором $X = \{a_1, \dots, a_n\}$, $I = \{b_1, \dots, b_n\}$ и $f = \overline{\varphi}$, где $\overline{\varphi}$ связывает попарно элементы a_i и b_i отношением подобия φ. Это именованное множество с помощью морфизма $\Phi = (A,B)$ отображается в именованное множество (Y,g,J) , в котором $Y = \{a\}$, $J = \{b\}$, $g = \varphi$.

Согласно этой схеме для проведения аналогии необходимо:

1) построить отношение подобия φ ;

2) задать метод (процедуру) определения истинности для заданных объектов;

3) задать процедуру (операцию) A ;

4) задать правило R преобразования A в B;

5) выбрать исходные элементы $a_1, \dots, a_n$, $b_1, \dots, b_n$ из системы знаний K , для которых $a =$

$= A(a_1, \dots, a_n)$ и выполняется $a_i \varphi b_i$ при всех $i = 1, \dots, n$;

6) построить процедуру B с помощью правила R;

7) применить процедуру B для получения элемента $b = B(b_1, \dots, b_n)$.

Отметим, что в процедуре формирования знаний по аналогии может присутствовать еще один этап:

8) оценка достоверности элемента b или,другими словами, определение степени принадлежности этого элемента системе знаний K.

Покажем, что все схемы рассуждений по аналогии, приведенные в [11],являются частными случаями построенной выше схемы.

В рассмотренной в [11] теории аналогии в качестве элементов системы знаний K берутся факты $a_1, \dots, a_n$,справедливые в системе S_1, и $b_1, \dots, b_n$ - факты, справедливые в S_2. В качестве A и B берутся процедуры вывода. При этом накладываются еще более жесткие ограничения,так как факты в системах S_i представляются в виде правил "если ..., то", которые записываются в виде $A \leftarrow B_1, \dots, B_n$, где $A, B_j, j = 1, \dots, n$, - положительные литералы.

В [11] описан также принцип аналогии Уинстона, основанный на причинных отношениях и используемый для предсказаний. Основанием для него служит гипотеза о том, что подобие сохраняет причинные отношения. В качестве элементов системы знания K берутся элементарные именованные множества вида $r(n1, n2) = (\{n1\}, r, \{n2\})$, где $n1, n2$ - фреймы, а отношение r указывает, что слот r фрейма $n1$ есть $n2$. Для определения подобия рассматриваются именованные множества вида $X_u = (\{u\}, R, \{a_i\})$, где u - некоторый фрейм, элементы a_i являются значениями слотов, а отношение R показывает, что все эти значения принадлежат одному слоту r. Тогда подобие, рассматриваемое Уинстоном, выделяет пары фрей -

мов с максимальным числом совпадающих отношений. Под совпадением отношений понимается равенство значений слотов, принадлежащих фреймам, т.е. совпадение именованных множеств $\mathbf{X}_u$ и $\mathbf{X}_v$, или равенство, возможно, за исключением пары значений, слотов отношений, т.е. совпадение максимальных именованных подмножеств рассмотренных именованных множеств вида $\mathbf{X}_u$.

В качестве операций $\mathbf{A}$ и $\mathbf{B}$ в аналогии Уинстона берутся причинные связи в системах S_1 и S_2 соответственно. Тогда вывод по аналогии происходит следующим образом [11, раздел 9.1.2]. Известно (или устанавливается), что в системе S_1 элемент $r_1(a,b)$ является причиной $r_2(c,d)$, где a, b, c, d - фреймы, а $r_1(a,b)$ и $r_2(c,d)$ - именованные множества, построенные выше. Далее, в S_2 находится элемент $r_1(a',b')$, подобный в указанном выше смысле элементу $r_1(a,b)$. Из этого, ссылаясь на причинные отношения в S_1 (операция $\mathbf{A}$) и в S_2 (операция $\mathbf{B}$), делаем вывод о существовании в S_2 элемента $r_2(c',d')$, аналогичного элементу $r_2(c,d)$. Это показывает, что рис. 9.6 из [6], на котором изображен принцип аналогии Уинстона, оказывается частным случаем диаграммы (2).

Аналогичным образом включается в общую схему умозаключение по аналогии, описанное в [12].

В этом случае элементами системы знаний $\mathbf{K}$ являются именованные множества вида $\mathbf{X} = (X, f, I)$, где $X = \{A\}$, I состоит из признаков, а отношение f связывает объект A с его признаками (в рассмотренной схеме $I = \{a,b,c\}$). Такие именованные множества представляют суждения о том, что данный объект A обладает набором признаков a,b,c. В качестве операции $\mathbf{A}$ берется связь между именованными множествами с совпадающим носителем. В данном случае $\mathbf{X} \to \mathbf{Y} = (\{A\}, g, \{d\})$, если $\mathbf{X}$ и $\mathbf{Y}$ являются именованными подмножествами некоторого именованного множества $\mathbf{Z}$ с тем же носителем. В рассмотренной в [12] схеме $\mathbf{Z}$ равно $(\{A\}, h, \{a, b, c, d\})$.

Подобие двух именованных множеств $\mathbf{X}$ и $\mathbf{V} = (\{B\}, I, J)$ определяется по совпадению множеств имен (признаков), т.е. имеет место $\mathbf{X}\ \varphi\ \mathbf{V}$, если $I = J$.

Тогда диаграмма (2) дает схему умозаключений из [12], которой соответствует следующая диаграмма:

$$\begin{tikzcd} \mathbf{V} \arrow[r, dashed, "\mathbf{B}"] & \mathbf{W} \\ \mathbf{X} \arrow[u] \arrow[r, "\mathbf{A}"] & \mathbf{Y} \arrow[u] \end{tikzcd} \qquad (3)$$

в которой $\mathbf{W} = (\{B\}, t, \{d\})$, а t - в общем случае нечеткое отношение.

Построенная выше общая схема включает также различные методы решения задач по аналогии. Рассмотрим, как это получается для трансформационного подхода, предложенного в [7].

Поиск решения новой задачи по аналогии с решением уже известной задачи. На первом этапе для решаемой задачи находится аналогичная задача, решение которой известно. Следующий этап заключается в постепенной трансформации решения найденной задачи в решение исходной.

В данном случае набор $\{b_1, \ldots, b_n\}$ представляет собой исходную, а набор $\{a_1, \ldots, a_n\}$ - известную задачу. Обычно такое представление задач включает [7]: формулировку исходных условий, описывающих начальное состояние системы (предметной области); целевую установку, описывающую те состояния, которые нужно достичь; множество операторов преобразования системы, которыми можно пользоваться. Решением задачи будет последовательность допустимых операторов, применение которых переводит систему из начального состояния в одно из целевых. Элемент a выступает в качестве известного решения исходной задачи, а элемент b - в качестве искомого решения.

Заметим, что трансформационный процесс приводит к цепочке именованных множеств [12], началом которой (носителем первого именованного множества) служит известное решение a, а концом (множеством имен последнего именованного множества) - найденное решение b.

ЗАМЕЧАНИЕ 1. В рассмотренной схеме умозаключений по аналогии можно в именованных множествах, представляющих суждения, брать нечеткие отношения, отражающие отсутствие полной достоверности знаний об объектах A и B.

ЗАМЕЧАНИЕ 2. В общей схеме формирования знаний по аналогии, отраженной в диаграмме (2), вместо наборов $\{a_1, \ldots, a_n\}$, $\{b_1, \ldots, b_n\}$ можно брать системы, образованные этими элементами, а вместо отношения $\bar{\varphi}$ - отношение $\tilde{\varphi}$ подобия между системами, которое порождено отношением φ.

ЗАМЕЧАНИЕ 3. Наличие общей схемы формирования знаний по аналогии позволяет, реализовав ее в некоторой автоматизированной системе приобретения знаний (в частности, в экспертной системе), получать затем те или иные ее специализации с помощью использования специальных управляющих параметров.

ЗАМЕЧАНИЕ 4. Для более полного, точного и правильного отражения реальности подобие должно быть не обычным, а нечетким отношением, отражающим меру подобия объектов. От такой меры прямо пропорционально зависит степень достоверности результата, получаемого с помощью аналогии.

Таким образом, построенная в работе общая схема формирования знания по аналогии ориентирована на реализацию в автоматизированных системах обработки знаний. Предложенные ранее схемы и процедуры аналогии допускают включение в общую схему таким образом, что при реализации обращение к ним осуществляется с помощью специальных управляющих параметров. Без использования аналогии невозможно решение основных задач искусственного интеллекта: ассоциативного поиска, классификации и обобщения, распознавания, принятия решения, восприятия, объяснения и обучения. Поэтому использование в таких системах общих методов формирования знаний по аналогии значительно расширяет их возможности, повышает уровень интеллектуальности.

Литература

1. БУРГИН М.С. О новизне и инновациях в педагогике //Советская педагогика. - 1989. - № 12. - С. 53-59.

2. КАЛОШИНА И.П. Структура и механизмы творческой деятельности. - М.: МГУ, 1983. - 168 с.

3. АРТАМОНОВ Г.Т., ХОМУТОВ А.В. Семантическая обработка информации больших баз данных //Вестник ВОИВТ. - 1991. - №2. - С. 41-55.

4. KLING R.E. A paradigm for reasoning //Artificial Intelligence. - 1971. - Vol. 2, N 1. - P.189-208.

5. CARBONELL J.G. Learning by analogy //Machine Learning. - Paolo Alto, C.A.:Tioga Pub. Co., 1981. - P. 93-107.

6. WINSTON P.H. Learning and reasoning by analogy //Com. of the ACM. - 1979. - Vol. 23, N 12. - P. 689-703.

7. CARBONELL J.G. A computational model of problem solving by analogy //Proc. VII Int. Conf. on Artificial Intelligence. New Jersey, 1981.

8. БУРГИН М.С. Именованные множества и представление информации //УП Всесоюзн. конф. по математической логике. - Новосибирск, 1984. - С. 25 (ИМ СО АН СССР).

9. БУРГИН М.С. Операции над именованными множествами //Упорядоченные множества и решетки. - Саратов, 1986. - С.3-12 (Саратовский госунивер.).

10. КНУТ Д. Искусство программирования для ЭВМ: Сортировка и поиск. Том 3.-М.: Мир, 1978. - 771 с.

11. Приобретение знаний /Под ред. С.Осуги, Ю.Саэки. - М.: Мир, 1990. - 304 с.

12. Знания. Диалог. Решение. - Киев: Проблемная комиссия НВВТ, 1990. - 344 с.

Поступила в ред.-изд.отд.
18 февраля 1993 года