УДК 62.506.2

В. М. БОНДАРЕВ, В. А. ЛОВИЦКИЙ

КЛАССИФИКАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ. *СООБЩЕНИЕ 1*

Последние годы характеризуются интенсивным развитием систем искусственного интеллекта [1, 2, 3], функционирование которых сводится к решению целого комплекса задач. Умение решать задачи самых различных типов определяет степень интеллекта этих систем. В то же время не существует удовлетворительного определения самого понятия «задача» [4, 5], что затрудняет применение системного подхода к построению так называемых универсальных решателей задач [5, 6].

Известные определения [4, 7] носят чисто описательный характер и уже не могут удовлетворять требованиям современных исследований в области теории решения задач. Попытки, предпринятые учеными, привели к появлению целого рода формальных определений понятия «задача» [5, 9, 10].

Одно из этих определений [9] характеризует задачу как ситуацию, определяющую действие некоторой решающей системы, и расширяется затем авторами до кибернетического понятия задачи, связывающего в единое целое задачную систему с существующей или потенциальной решающей системой. Данное определение охватывает собой практически неограниченный класс задач, но затрудняет осуществление их классификации.

Другое определение [5] представляет задачу как совокупность трех составляющих: 1) множества S начальных состояний; 2) множества F операторов, отображающих описания состояний в описании состояний; 3) множества G целевых состояний и характеризует класс задач, допускающих их представление в пространстве состояний. Задачи на доказательство автор описывает парой S и T, где S — доказываемое утверждение, а T — множество исходных посылок.

Пользуясь средствами теории систем, М. Месарович определяет задачу как некоторую систему и описывает ее тройкой (W, Y, T), где T — некоторое преобразование; W — область его определения; Y — область значений преобразования. Данное определение плохо соответствует нашему интуитивному определению понятия «задача».

В настоящей работе предпринимается попытка определить термин «задача» и на базе этого определения построить систему классификации задач. Интуитивно под задачей T понимается четверка (X, Q, F, Y) [11, 12], в которой X обозначает конечное множество, характеризующее «то, что дано» в задаче; Q представляет собой конечное множество описаний «того, что необходимо найти», а F — это конечная последовательность правил, преобразующая X в Y. Таким образом, Y—это конечное множество, представляющее собой результат применения F к X. На элементы этого множества накладывается ограничение: они не могут быть ни алгоритмами, ни программами.

Исходя из данного определения легко выделить по крайней мере один класс задач, который характеризуется следующим соотношением:

$$X \wedge Q \wedge F \vdash Y, \tag{1}$$

где символы $\wedge$ и $\vdash$ читаются соответственно как «и» и «дает».

Пусть задана система А (рис. 1), которая способна решать задачи выделенного класса, т. е. в зависимости от Q выбирать F (проблема хранения и выбора F рассматривалась в [9]), а затем применять его к X для получения Y.

Характерная особенность этой системы состоит в том, что она только применяет F, а не создает его. Следовательно, должна существовать такая система более высокого уровня (назовем ее системой В), которая способна формировать F.

Отсюда следует очевидность существования такого класса задач, решение которых системой А невозможно без предварительного получения системой В конечных последовательностей правил F.

Пользуясь введенной символикой и учитывая допустимые комбинации этих символов [11], получим следующие соотношения, характеризующие соответственно два класса задач:

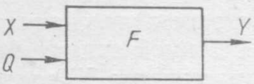

Рис. 1.

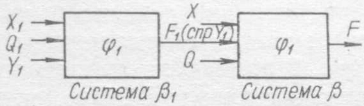

Рис. 2.

$$X \wedge Q \wedge Y \vdash F \qquad (2)$$
$$X \wedge Q \vdash Y. \qquad (3)$$

Легко видеть, что соотношение (3) сводится к двум соотношениям:

$$\text{а) } X \wedge Q \vdash F, \qquad (4)$$
$$\text{б) } X \wedge Q \wedge F \vdash Y,$$

подчеркивающим связь между системами В и А при решении задач. Если для классов задач, которые характеризуются соотношениями (1) и (2), легко найти примеры из существующего множества задач, то для класса задач (4, а) практически невозможно подобрать задачу, которую смогла бы решить система В без дополнительной информации.

В качестве примера рассмотрим следующую шахматную задачу: «Задано расположение фигур на шахматной доске. Необходимо объявить мат в 2 хода». Элементами множества X для данной задачи служат исходная шахматная ситуация и количество ходов. Множество Q представлено единственным элементом: «Объявить мат». Эта задача сводится к двум задачам: 4, а и 4, б.

В первой задаче система В должна создать последовательность правил поиска матовой ситуации, но она, несмотря на весь свой «интеллект», не сможет это сделать, так как не имеет понятия матовой ситуации. Множества всех конкретных «матовых ситуаций» Y практически невозможно перечислить заранее и поэтому для решения поставленной задачи система В должна располагать понятием о матовых ситуациях ($спрY$), представленном в виде конечной системы правил.

Следовательно, соотношение (4,а), а за ним и соотношение (3) запишутся соответственно как

$$X \wedge Q \wedge спр\, Y \vdash F, \qquad (5)$$

$$X \wedge Q \wedge спр\, Y \vdash Y. \qquad (6)$$

Введение в данные соотношения $cпрY$ несколько условно и служит, главным образом, для установления приоритета различных классов задач, а не для определения самого понятия «задача».

В самом деле, $cпрY$, которым должна располагать система для решения данной шахматной задачи, должен быть заранее сформирован этой же или другой аналогичной системой ($В_1$), т. е. предварительно должна быть решена задача из класса, который описывается соотношением (2), а затем уже данная задача. На рис. 2 приведена схема решения данной задачи системой В с помощью системы $В_1$. Элементами множества X_1 служат матовые и не матовые ситуации, каждой из которых ставится в соответствие элемент из множества Y_1, обозначающий принадлежность шахматной ситуации к матовым или не матовым, а единственный элемент множества Q_1 ставит перед системой цель: «сформировать понятие матовой ситуации».

Очевидно, что системы $В_1$ и В должны обладать определенным набором алгоритмов и «начальных знаний» φ_1 и φ, которые позволили бы им получать F или из X_1, Q_1, и Y_1 (для данного примера F представлена $cпрY$), или из X и Q (при наличии $cпрY$).

Перейдем к определению интеллектуальной задачи.

Определение. *Задачи, в решении которых принимает участие система* В, *будем называть интеллектуальными.*

Легко видеть, что классы задач, которые характеризуются соотношениями (2), (5) и (6), представляют собой классы интеллектуальных задач. Дальнейшая наша цель сводится к попытке построить систему классификации интеллектуальных задач, ни в коей мере не претендуя на полноту и завершенность предлагаемой системы.

Важность установления научной основы для классификации можно показать на очень многих примерах [13], включая и попытки классификации задач [7, 9, 10]. Так, например, Д. Пойа выделяет класс математических задач, который, в свою очередь, делит на два подкласса: задачи на нахождение и задачи на доказательство [7].

В другой работе [9] предпринята попытка классификации задач, основанная на кибернетическом понятии задачи. Авторы выделяют четыре класса задач: 1) задачи включения алгоритма, решение которых сводится к применению известной программы; 2) задачи программирования известного алгоритма на языке вычислительных машин; 3) задачи поиска алгоритма решения с опорой на библиотеку стандартных программ машины; 4) задачи разработки способа решения вместе с его последующим программированием.

Задачи двух первых классов авторы относят к непроблемным, а двух вторых — к проблемным. (Согласно введенному нам определению задачи первого класса относятся к неинтеллекту альным, а 2, 3 и 4 — к интеллектуальным). Далее авторы предлагают все задачи разделять на хорошо определенные, если имеются алгоритмы проверки решения, и плохо определенные, если такого алгоритма нет. Кроме этого, они различают «четыре типа задач по виду «того, что дано» и «того, что требуется найти». К этим типам задач относятся задачи: 1) исполнения (например, возвести 1,45 в куб, пользуясь таблицей кубов); 2) восстановления (например, извлечь кубический корень из 1,45, пользуясь таблицей кубов); 3) преобразования (например, доказать, что $(a-b)(a+b)=a^2-b^2$); 4) конструирования (например, записать произвольное уравнение третьей степени). И, наконец, по количественным характеристикам выделяются задачи вычислительные («мало данных, много вычислений») и обработки данных («много данных, мало вычислений»).

Своеобразное разделение задач на три типа предлагает М. Месарович [10], основываясь на существовании системы для решения задач, которая, как уже отмечалось ранее, описывается тройкой $S_p\{W, Y, T\}$.

Задачи первого типа относятся к ситуации, в которой имеется информация о T и W, а требуется получить информацию о Y. Очевидно, что этот тип полностью соответствует классу неинтеллектуальных задач.

Задачи второго типа характеризуются тем, что имеется информация относительно Y и T, а ищется информация о W. В рамках введенного определения данный тип задач не имеет самостоятельного значения и легко сводится к предлагаемым нами классам задач путем переобозначения Y и W.

И, наконец, задачи третьего типа, в которых имеется информация относительно W и Y, а ищется информация о T, соответствуют классу интеллектуальных задач.

Учитывая результаты, полученные другими авторами [7, 9, 10, 14], мы предлагаем множество интеллектуальных задач разбить на два основных класса. Задачи I класса характеризуются соотношением (2), а II — соотношением (5). Особое место занимает класс интеллектуальных задач, описываемый соотношением (6).

Перейдем к рассмотрению подклассов интеллектуальных задач I класса.

Подкласс I — 1. Будем считать, что к данному подклассу относятся такие задачи, для которых выполняются следующие условия.

1. Множество X состоит не менее чем из двух элементов, т. е. $|X| \geqslant 2$.

2. Для каждого $x_j \in X$ существует единственный элемент $y_i \in Y$, для которого справедливо соотношение $y_i = \alpha(x_j)$, т. е. $\forall_{x_j \in X} x_j \, \exists!_{y_i \in Y} y_i \, (y_i = \alpha(x_j))$, где $\forall$ — квантор общности; $\exists!$ — квантор единственности, а α — конечная последовательность

правил, которая используется внешней по отношению к системе В системой ВС для установления соответствия между x_j и y_i. Пока, как правило, функции системы ВС выполняет человек.

3. Для любого $y_i \in Y$ существует такой элемент $x_j \in X$, что $y_i = \alpha(x_j)$, т. е. $\forall_{y_i \in Y} y_i \exists_{x_j \in X} x_j (y_i = \alpha(x_j))$, где $\exists$ обозначает квантор существования.

Применяя функцию α, ВС каждому элементу множества X выбирает пару из Y, что в результате приводит к формированию такого множества Y', что $Y \subseteq Y'$ и $\forall_{y_i \in Y} y_i \exists!_{x_j \in X} x_j (y_i = \alpha(x_j))$. Сформированное множество Y' вместе с множествами X и Q подается на вход системы В.

Процесс решения рассматриваемых задач системой В сводится к нахождению F, эквивалентного α.

Подкласс I-1-1. Следуя за [16], этот подкласс задач назовем задачами индуктивного формирования понятий (ИФП). Индуктивное формирование понятий является конечным и главным этапом более общей задачи — задачи обучения распознаванию образов. Существуют различные трактовки задачи распознавания образов. В одной из них [17] понятие формируется человеком на основании априорной информации о классах объектов, а на долю вычислительной машины остается, используя готовое понятие, определить, к какому классу отнести неизвестный объект, подлежащий распознаванию. Причем «... в качестве понятия выбирается, обычно без достаточного обоснования, некоторая конъюнкция значений признаков» [16, с. 108].

В другой [18] — понятие формируется вычислительной машиной, при этом процесс формирования понятия сводится или к выделению существенных признаков и составлению понятия, связывающего тем или иным способом значения выделенных признаков, или к непосредственному построению решающей функции, связывающей значения указанного заранее набора признаков.

Непосредственно же «... термин «распознавание» оставлен для обозначения значительно более простой деятельности — определения, принадлежит ли объект понятию с данным описанием» [20, с. 18—19]. Таким образом, используя введенную ранее терминологию, можно заключить, что проблема распознавания образов сводится к взаимодействию систем В и А, первая из которых решает интеллектуальную задачу формирования понятия, а вторая, используя сформированное системой В понятие, решает неинтеллектуальную задачу непосредственного распознавания (в понимании Р. Бенерджи [20]).

Данный подкласс задач включает в себя задачи ИФП для классов объектов, заданных явным набором признаков. Пусть задано конечное множество признаков $\tau = \{a_1, a_2, \ldots, a_m\}$, каждый из которых может принимать конечное число различных значений. j-е значение i-го признака обозначим $mng_j(a_i)$. Тогда любой объект x_ν $(x_\nu \in X)$ можно представить как конечную последовательность значений признаков: $x_\nu = mng_{j_1}(a_{i_1}) \to \to mng_{j_2}(a_{i_2}) \to \ldots \to mng_{jk}(a_{i_l})$, где символ „$\to$" читается как „за.. следует...":

$$a_{i_\nu} \neq a_{i_\mu}, \text{ при } \nu \neq \mu \; (a_{i_\nu}, a_{i_\mu} \in \tau; \; i_\nu, i_\mu = \overline{1, m}; \; \nu, \mu = \overline{1, l}).$$

Таким образом, если объекты заданы явным набором признаков, то это значит, что за каждым местом в последовательностях закреплен один и тот же для всех объектов признак, значения которого и отличают один объект от другого. Если для какого-либо объекта значение того или иного признака отсутствует, то тогда вместо значения признака ставится — *nil* —. Очевидно, что длина всех последовательностей, характеризующих объекты рассматриваемого класса, одинакова и определяется число признаков, с помощью которых и описываются объекты множества X. Примеры систем ИФП данного класса рассматриваются в [16].

Подкласс I-1-2. Задачи данного подкласса отличаются от предыдущего тем, что ИФП происходит в результате анализа объектов, заданных неявным набором признаков, а не явным, как было в предыдущем классе. Объекты, заданные неявным набором признаков, могут быть представлены в виде совокупности символов, плоскостных фигур [19, с. 281—314] и т. д.

Основное отличие данного подкласса задач от предыдущего состоит в том, что объекты, заданные неявным набором признаков, не могут быть представлены заранее в виде последовательности значений определенных признаков.

Поясним это на примере. Пусть априори для описания объектов нами был выбран признак: «быть подмножеством множества» и пусть заданы два множества объектов X_1 и X_2 (табл. 1), в результате анализа которых необходимо сформировать понятие, разделяющее объекты, относящиеся к множествам X_1 и X_2, и позволяющие для любого нового объекта определить, относится ли он к множеству X_1 или нет.

Для данного примера процесс формирования понятия сводится к поиску такого значения признака, которое характеризует все объекты множества X_1 и не имеет места ни для одного объекта из множества X_2. Такое значение признака будем называть существенным. Если термин «существенный» применяется к признаку, то это его существенное значение.

Каждый объект задан множеством символов, и чтобы описать эти объективы с помощью введенного признака, необходимо для каждого объекта задать значение этого признака, что практически невозможно, так как если множество состоит из n элементов, то количество его подмножеств (значений заданного признака) равно 2^n. Например, для первого объекта множества X_1 количество возможных значений признака составляет $2^{20} =$

Таблица 1

X_1	X_2
Накипеобразование	Узкоспециальный
Инспекторствовать	Ракетостроение
Вспорхнуть	Народнохозяйственный
Рупия	Вспыхивать
Узкопрофессиональный	История

$=1048576$, а выбор конкретного значения признака зависит от решаемой задачи и производится в результате анализа объектов множеств X_1 и X_2. Так для примера, заданного табл. 1, существенным значением признака является $\{n, p\}$, а для второго примера (см. табл. 2) оно равно $\{k, e, н\}$, в то же время для третьего примера (см. табл. 3) данный признак вообще не имеет существенного значения.

Таблица 2

X_1	X_2
Узкопрофессиональный	Запальник
Котангенс	Волновод
Вклеивание	Арксинус
Изыскание	Лента
Некормленный	Келья

Таблица 3

X_1	X_2
Материя	Смолить
Пулемет	Ритм
Заматовать	Мост
Комитет	Изменить
Сматывать	Самолет

Для решения задачи, представленной табл. 3, система В, кроме уже известного признака, должна использовать еще два признака: 1) «располагаться в определенной последовательности», 2) «символам в последовательности находиться на определенном расстоянии друг от друга», и тогда существенным значением последнего из введенных признаков (для объектов множества X_1) будет: символ «*т*» следует за символом «*м*» через один символ. При решении реальных задач системе В для формирования понятия приходится разбивать множества X_1 и X_2 на подмножества таким образом, чтобы для объектов каждого из этих подмножеств можно было найти существенные значения признаков.

Очевидно, что перед тем как найти существенное значение последнего признака, система В должна была сначала найти зна чение признака: «располагаться в определенной последовательности».

Таким образом, как видно из рассмотренных примеров, объекты, заданные неявным набором признаков, не могут быть представлены в виде последовательности наборов признаков до того, как задача ИФП не решена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клыков Ю. И. Ситуационное управление большими системами. М., «Энергия», 1974. 135 с.
2. Интегральные работы. Сб. статей под ред. Г. Е. Поздняка. Вып. 1. М., «Мир». 1973. 421 с.
3. Интегральные работы. Сб. статей под ред. Г. Е. Поздняка. Вып. 2. М., «Мир», 1975. 528 с.
4. Рейтман У. Познание и мышление. М., «Мир», 1968. 400 с.
5. Нильсон Н. Искусственный интеллект. М., «Мир», 1973. 270 с.
6. Слэйчл Дж. Искусственный интеллект. М., «Мир», 1973. 319 с.
7. Пойа Д. Математическое открытие. М., «Наука», 1970. 452 с.
8. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М., «Мир», 1975. 463 с.
9. Глушков В. М. и др. Человек и вычислительная техника. Киев, «Наукова думка». 171. 294 с.
10. Месарович М. Д. К формальной теории решения задач. — «Зарубежная радиоэлектроника», 1967, № 9, с. 32—50.
11. Варсак М. И., Ловицкий В. А. Вопросы анализа и синтеза задачнорешающей системы оперативного управления основным производством. I. — В кн.: Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. Вып. 34. Харьков, 1975, с. 114—121.
12. Иден М. Другие задачи распознавания образов и некоторые обобщения. — «Распознавание образов», М., «Мир», 1970, с. 246—285.
13. Newell A., Shaw J., Simon H. Report on a general problem solving program, Proc. Int. Conf. on Inform Processing. UNESCO, Paris, 1960, p. 256—264.
14. Шрейдер Ю. А. Равенство. сходство, порядок. М., «Наука», 1971. 254 с.
15. Гладун В. П., Ващенко Н. Д. Методы формирования понятий на ЦВМ (обзор). — «Кибернетика», 1975, № 2, с. 107—112.
16. Горелик А. Л., Скрипник В. А. Построение систем распознавания. М., «Сов. радио», 1974. 223 с.
17. Загоруйко Н. Г. Методы распознавания и их применение. М., «Сов. радио», 1972. 206 с.
18. Бонгард М. Н. Проблема узнавания. М., «Наука», 1967. 320 с.
19. Бенерджи Р. Теория решения задач. М., «Мир», 1972. 224 с.

Поступила 6 июня 1976 г.