

УДК 62-5:007:621.519.2

РАСПОЗНАВАНИЕ СИТУАЦИЙ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ
ПРИЗНАКАМ (АЛГОРИТМ "ДИП")

Н.Г.Загоруйко, К.Ф.Самохвалов

О распознаваемых объектах или ситуациях иногда можно судить не только по абсолютному значению характеризующих их признаков, но и по динамике изменения этих признаков во времени или в пространстве. Для использования информации о скорости и направлении изменения значений признаков был разработан алгоритм "динамические признаки" (сокращенно "ДИП"). Алгоритм был реализован в виде варианта программы (для ЭВМ БЭСМ-6), рассчитанной на обработку двоичных признаков. Алгоритм "ДИП" ограниченный на характер признаков не накладывает.

Содержательная постановка задачи распознавания образов по динамическим признакам. Пусть в данном геологическом районе проведено исследование некоторого числа рудных месторождений и некоторого числа нерудных месторождений. Пусть результат каждого исследования представляется двоичным словом (фиксированной длины). Может случиться, что "абсолютные", "статистические", значения данного набора признаков не позволяют достаточно надежно различать принадлежность данного месторождения образу "рудное" или "нерудное", но характер изменения ("динамика") этих признаков в пространстве (и в некоторых других задачах - во времени) дает возможность указать, в каком из двух направлений - от точки α к точке β или от β к α - более вероятно наличие искомой руды. В этом случае полезно было бы поставить задачу распознавания отношений между признаками двух, например, соседних месторождений. А именно: для всякой пары исследованных

месторождений нам интересно было бы знать, находится ли месторождение β к месторождению α в отношении " α рудное, β нерудное" или в отношении " α нерудное, β рудное". Решение такой задачи позволило бы нам прогнозировать направление (на местности) поисковых рудных месторождений. Совокупность задач, родственная описанной, на интуитивном уровне может быть охарактеризована так: каждая задача данной совокупности есть задача распознавания некоторого антисимметричного отношения R , заданного в исходном признаковом пространстве, т.е. отличия от обратного ему отношения R^{-1} (терминология здесь и ниже заимствована из [1]).

Формальная постановка задачи. Предположим несколько терминологических замечаний. Если дано множество M , то его квадратом $M \times M$ называется множество всех упорядоченных пар (α, β) , где $\alpha, \beta \in M$. Пусть R - любое подмножество из $M \times M$. Оно определяет в множестве M бинарное отношение, которое мы также будем обозначать R : если $\alpha, \beta \in M$, то говорят, что элемент α находится в отношении R к элементу β и записывают это через $\alpha R \beta$ в том и только в том случае, если пара (α, β) принадлежит подмножеству R . Таким образом, записи $\alpha R \beta$ и $(\alpha, \beta) \in R$ равносильны. Изучение бинарных отношений в множестве M не отличается, следовательно, от изучения подмножеств множества $M \times M$. Можно говорить, в частности, о включении бинарного отношения R в бинарное отношение $R', R \subseteq R'$, а также о пересечении объединений бинарных отношений.

Для всякого бинарного отношения R в множестве M существует обратное отношение R^{-1} , определяемое следующим образом: $\alpha R^{-1} \beta$ тогда и только тогда, когда $\beta R \alpha$.

Единичное отношение E определяется следующим образом: $\alpha E \beta$ тогда и только тогда, когда $\alpha = \beta$.

Отметим также пустое отношение O , определяемое пустым подмножеством множества $M \times M$.

Бинарное отношение R называется антисимметричным, если $R \cap R^{-1} \subseteq E$.

В этих терминах рассматриваемая задача может быть сформулирована так:

В исходном признаковом пространстве M множества упорядоченных пар точек $\alpha, \beta \in M$, принадлежащих обучающей последовательности, задано отношение R_0 . Для данного R_0 требуется найти такое R_{01} , чтобы выполнялись следующие три условия:

- ① $R_o \equiv R_{o1}$;
- ② $R_{o1} \cap R_{o1}^{-1} = E$;
- ③ $R_{o1} \cup R_{o1}^{-1} = M \times M$.

Если интерпретировать отношение R_o так, что $a R_o b$ означает "а рудное, а b нерудное", то эти три условия соответствуют - верно означают:

- ①. Расширение отношения "а рудное, b нерудное", имеющего место между парами точек обучающей последовательности, на новые пары точек (входящих или не входящих в обучающую последовательность).
- ②. Если $a \neq b$ и если верно, что "а рудное, а b нерудное", то не верно, что "а нерудное, а b рудное".
- ③. Любая пара (a, b) точек $a, b \in M$ удовлетворяет одному из 2-х отношений: "а рудное, b нерудное" или "а нерудное, b рудное".

В силу результата Шпильрайта о продолжении частичной упорядоченности данного множества M до линейной упорядоченности этого множества для всякого R_o такого, что ④. $R_o \cap R_o^{-1} = E$, всегда найдется такое R_{o1} , что будут выполнены условия ①, ②, ③ [1].

Одним из алгоритмов, ориентированных на решение задач описанного класса, является алгоритм "Динамические признаки" (ДИП).

Назначение алгоритма. Алгоритм ДИП предназначен для распознавания некоторого антисимметричного отношения R_{o1} в M и обратного ему отношения R_{o1}^{-1} при условии, что обучающая последовательность задает в M также антисимметричное отношение $R_o \equiv R_{o1}$, а множество M есть множество всех двоичных n -разрядных слов.

Описание алгоритма. Прежде всего отметим, что при $a = b$ требования ①, ②, ③ допускают неопределенность в ответе на вопрос: либо $a R_{o1} b$, либо $a R_{o1}^{-1} b$? Не желая вводить "неопределенность" в качестве третьего возможного значения результата применения алгоритма к произвольной паре $(a, b) \in M \times M$, мы условимся не применять его к парам типа (a, a) (ясно, что такое условие не ограничивает сферы применения алгоритма в практических ситуациях). С этой оговоркой алгоритм ДИП состоит в следующем. Из слов, принадлежащих обучающей последовательности, формируется L_{os} пар (a_i, b_i) , $i = 1, 2, \dots, L_{os}$ таких, что для каждой пары (a_i, b_i) истинно утверждение $a_i R_o b_i$ и либо обратное утверждение $a_i R_o^{-1} b_i$, если $a_i \neq b_i$.

а R_o интерпретируется интересующим нас в каждом конкретном случае способом. С каждой парой (a_i, b_i) сопоставляется троичное n -разрядное слово c_i по правилу:

$$c_i^l = \begin{cases} 0, & \text{если } a_i^l = b_i^l \\ +, & \text{если } a_i^l = 0 \text{ и } b_i^l = 1, \\ -, & \text{если } a_i^l = 1 \text{ и } b_i^l = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где $l = 1, 2, \dots, n$, а a_i^l, b_i^l, c_i^l обозначают соответственно l -тые разряды слов a_i, b_i и c_i . С каждой обратной парой (b_i, a_i) сопоставляется слово \bar{c}_i по правилу:

$$\bar{c}_i^l = \begin{cases} 0, & \text{если } a_i^l = b_i^l \\ -, & \text{если } a_i^l = 0 \text{ и } b_i^l = 1, \\ +, & \text{если } a_i^l = 1 \text{ и } b_i^l = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Таким образом, отношению R_o соответствует L_{os} слов c_i , и обратному отношению R_o^{-1} соответствует L_{os} слов \bar{c}_i .

Отношения R_{o1} и R_{o1}^{-1} определяются теперь следующим образом. Для произвольной пары (a_j, b_j) , подлежащей распознаванию (пусть таких пар будет L_{ms}), строится слово c_j по правилу (1). Затем по указанному ниже способу находятся величины S_j и \bar{S}_j . Считается, что $a_j R_{o1} b_j$, если $S_j \leq \bar{S}_j$, и $a_j R_{o1}^{-1} b_j$, если $S_j > \bar{S}_j$.

Величины S_j и \bar{S}_j , $j = 1, 2, \dots, L_{ms}$ находятся в соответствии с формулами

$$S_j = \min_i \sum_{l=1}^n \varphi(c_i^l, c_j^l), \quad (3)$$

$$\bar{S}_j = \min_i \sum_{l=1}^n \varphi(\bar{c}_i^l, \bar{c}_j^l), \quad (4)$$

где функция $\varphi(x, y)$ задается таблицей

$a_i \backslash b_j$	0	+	-
0	0	1	1
+	1	0	2
-	1	2	0

Легко показать, что описанный алгоритм удовлетворяет условиям

- ①, ②, ③.

Описание программы. Алгоритм ДИП реализован в виде стандартной программы, написанной в терминах кода ЭВМ БЭСМ-6 (в диспетчером). Эта программа предназначена для работы с данными, объем которых не превышает емкости МОЗУ. Программа содержится на 18 перфокартах и занимает в МОЗУ 165₈ ячеек. Участком программы, зависящим от параметров конкретных задач, является содержимое одной "информационной" перфокарты (7 ячеек).

Некоторые возможные применения алгоритма ДИП. Эксперимент. Как уже было отмечено в описании алгоритма, интерпретация отношения R_{oi} (α , следовательно, отношения R_{oi}') может меняться от одной конкретной задачи к другой. При этом следует помнить лишь то, что выбор конкретной интерпретации для R_{oi} накладывает ограничение (обозначим его через \textcircled{A}) на организацию материала обучения:

\textcircled{A} Обучающая выборка должна быть такой, чтобы из элементов этой выборки можно было бы построить отношение R_{oi} , т.е. последовательность пар $(\alpha_1, \beta_1), (\alpha_2, \beta_2), \dots, (\alpha_{40}, \beta_{40})$ таких, что для каждой (i -й) из них выполнялось бы условие: предложение " $\alpha_i R_{oi} \beta_i$ " истинно для данной интерпретации отношения R_{oi} , а предложение " $\beta_i R_{oi} \alpha_i$ " - ложно.

Теперь становится ясным, каков круг возможных применений алгоритма ДИП. Всякий раз, когда мы располагаем исходным материалом, удовлетворяющим ограничению \textcircled{A} для некоторой интересующей нас конкретной интерпретации отношения R_{oi} , можно, формально говоря, применять данный алгоритм. Что касается вопросов, связанных с эффективностью всякого конкретного применения, то, как обычно, мы можем лишь надеяться (на основании того или иного интуитивно понимаемого опыта) на удовлетворительный результат. В связи с этим обстоятельством на ЭВМ БЭСМ-6 был проведен эксперимент по сравнению алгоритма ДИП с алгоритмом (назовем его алгоритмом № 2), который распознает рудное месторождение от нерудных по отдельности, т.е. с использованием "статических" признаков. Эксперимент был поставлен на конкретном геологическом материале, относящемся к определенному геологическому району Магаданской области, представленном А.П.Куклиным. Этот материал содержал 20 рудных и 20 территориальных соседних с ними нерудных месторождений в обучающей последовательности и 22 другие пары - в контрольной выборке. Количество двоичных признаков (72) было равно 48. Решающее правило для второго алгоритма было кусочно-линейным. В качестве эталонных были оставлены все 40 реализаций обуча-

ющей последовательности (20 реализаций образа "рудное" и 20 "нерудное").

В табл. I представлены совместно результаты применения обоих алгоритмов для распознавания данной контрольной выборки.

Т а б л и ц а I

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Здесь каждой точке соответствует одна клеточка таблицы. Контрольные пары точек упорядочены таким образом, что нижней строке таблицы соответствуют нерудные месторождения, верхней - рудные. Каждая строка интерпретируется отношением "точка в начале стрелки - нерудное месторождение, точка в конце стрелки - рудное".

Знак "+" означает, что соответствующая точка распознавалась алгоритмом № 2 как "рудное", а знак "-" означает, напротив, что соответствующая точка распознавалась как "нерудное".

Алгоритм ДИП правильно распознал 17 пар из 22 (34 месторождения из 44) и неправильно - 5 пар (10 месторождений). Второй алгоритм правильно распознал 29 месторождений и неправильно - 15. Заметим, что отношение $\alpha R_{oi} \beta$ в данном эксперименте интерпретировалось как " α рудное, β нерудное" специально для того, чтобы иметь возможность сравнить результаты применения алгоритма ДИП с результатами применения второго алгоритма, распознающего не отношения в M , а свойства "быть рудным" и "быть нерудным" для каждой точки $\alpha \in M$. Вместо только что отмеченной интерпретации для R_{oi} можно было бы выбрать другую интерпретацию, в соответствии с которой R_{oi} означает "более рудное, чем..." При этом, очевидно, первая интерпретация является частным случаем второй, что в свою очередь означает, что вторая интерпретация позволяет, оставаясь в рамках ограничения \textcircled{A} , более свободно выбрать материал для обучения. Нам представляется, что в этом случае можно - посредством определенной последовательной процедуры применения алгоритма ДИП к различным участкам некоторого геологического района - составить карту наиболее перспективных месторождений в данном районе.

Л и т е р а т у р а

И. А. Г. КУРОШ. Лекции по общей алгебре, М., 1962.