ОБНАРУЖЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ
(Вычислительные системы)
1984 год Выпуск 102

УДК 007:62-50

ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ ПОИСКА НАИБОЛЕЕ СУЩЕСТВЕННЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

И.М.Иванова

Рассматривается задача построения логической разделяющей функции $F(x)$, с помощью которой решается вопрос о принадлежности объекта одному из G образов, $G \geq 2$. Впервые идея использования в задачах распознавания логических решающих правил была высказана Бонгардом М.М. и реализована в программе "Кора" [1,2]. Позднее эта идея получила широкое развитие [3-8], и логические решающие правила были использованы в решении целого ряда прикладных задач [7-9].

Не нарушая общности задачи, будем считать, что распознаются образы A и B, заданные обучающими выборками $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$, которые содержат M_1 и M_2 объектов соответственно. Каждый из объектов описан набором N признаков $x_1, x_2, \ldots, x_N$, замеренных в шкалах разных типов, при этом допускается, что некоторые из признаков могут быть не определены. Разделяющая функция $F(x)$ ищется в виде суммы сочетаний признаков в определенных значениях (набор конъюнкций):

$$F(x) = \sum_{1}^{Q} (x_{i1}^{a_{i1}} \wedge x_{i2}^{[\alpha_1, \alpha_2]} \wedge \ldots \wedge x_{ik}^{a_{ik}}) = \sum_{t=1}^{Q} K_t ,$$

где x_i^a - признак x_i в значении a, где a - некоторое конкретное число или любая величина из интервала $[\alpha_1, \alpha_2]$.

Задача состоит в том, чтобы на основании обучающих выборок $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$ построить квазиоптимальную в смысле $\min Q$ разделяющую функцию $F(x)$, удовлетворяющую следующему требованию*):

---

*) Здесь $F(x)$ является описанием образа A. Разделяющая функция, отражающая свойства образа B, строится аналогично.

$$F(x_1,x_2,\ldots,x_N) = \begin{cases} C \geq 1 & \forall x(x_1,x_2,\ldots,x_N) \in \tilde{A}, \\ 0 & \forall x(x_1,x_2,\ldots,x_N) \in \tilde{B}. \end{cases}$$

Чтобы получить достаточно хорошее описание образа A, нужно включить в $F(x)$ конъюнкции, отражающие наиболее общие для $x \in \tilde{A}$ свойства. Поскольку носителями этих типичных свойств являются сами объекты, то при построении функции $F(x)$ представляется целесообразным получать конъюнкции для каждого конкретного объекта $x(x_1,x_2,\ldots,x_N)$ и выбирать те из них, которые имеют наибольшую частоту в выборке A. В разделяющую функцию $F(x)$ включается по крайней мере столько конъюнкций из числа отобранных, сколько необходимо для определения всех M_1 объектов из $\tilde{A}$. Очевидно, что построенная таким образом функция $F(x)$ будет отражать наиболее типичные для образа A свойства, при этом естественно ожидать, что число членов в $F(x)$ будет близко к минимальному.

Работа алгоритма построения функции $F(x)$ начинается с анализа признаков x_i, замеренных в сильных шкалах (интервалов, отношений). Если множество значений x_i в обучающих выборках состоит из M элементов и $M \ll (M_1 + M_2)$, то при построении $F(x)$ признак x_i рассматривается так, как будто он замерен в шкале наименований или порядка. Если же $M \approx M_1 + M_2$, то для каждого образа определяются границы интервалов значений признаков x_i, и в соответствии со значением x_i производится упорядочивание объектов внутри интервала.

Обозначим через $[\alpha_{1i},\alpha_{2i}]$ и $[\beta_{1i},\beta_{2i}]$ интервалы значений x_i для A и B соответственно. Поскольку функция $F(x)$ строится для образа A, то в качестве интервалов для x_i будут рассматриваться интервалы $[\alpha_{1i}, \alpha_{2i}]$, в которые проектируются M_1 объектов $x \in \tilde{A}$ и $M_{2i} \leq M_2$ – из $\tilde{B}$. Чтобы оценить значимость признака x_i для распознавания, интервал $[\alpha_{1i}, \alpha_{ji}]$ разбивается на $P \leq M_1$ элементов длины $\Delta = \dfrac{\alpha_{2i}-\alpha_{1i}}{P}$ и для каждого Δ_j, $j=1,2,\ldots,P$, подсчитываются частоты $r_{1j} = \dfrac{m_{1j}}{M_1}$ и $r_{2j} = \dfrac{m_{2j}}{M_{2i}}$, где m_{1j} и m_{2j} – число объектов, попавших в Δ_j, из $\tilde{A}$ и $\tilde{B}$ соответственно. Элементы Δ_j, $j = k_1,k_1+1,\ldots,k_2$, объединяются в односвязный интервал $[\alpha'_{1i}, \alpha'_{2i}]$, если

$$\sum_{j=k_1}^{k_2} r_{1j} \geq \sum_{j=k_1}^{k_2} r_{2j} \quad и \quad \sum_{j=k_2+1}^{K} r_{1j} < \sum_{j=k_2+1}^{K} r_{2i},$$

либо

$$\sum_{j=k_2+1} r_{1j} = \sum_{j=k_2+1} r_{2j} = 0, \quad K \leq P.$$

В результате для признака x_i будет получен частичный интервал $[\alpha'_{1i}, \alpha'_{2i}] \subseteq [\alpha_{1i}, \alpha_{2i}]$ или несколько частичных интервалов $\cup[\alpha'_{1i}, \alpha'_{2i}] \subseteq [\alpha_{1i}, \alpha_{2i}]$. Если у какого-то $x \in \tilde{A}$ значение признака x_i оказалось вне частичного интервала, то при построении для этого объекта конъюнкций x_i считается либо неопределенным, либо замеренным в слабой шкале. После построения интервалов $[\alpha'_{1i}, \alpha'_{2i}]$ производится уточнение их границ, а именно, в качестве границ берутся $\alpha''_{1i} = \min a_j$ и $\alpha''_{2i} = \max a_j$, $j=1,2,\ldots,R$, $R = \sum_{k=k_1}^{k_2} m_{1k}$, a_j – значение x_i у $x \in \tilde{A}$ и $a_j \in [\alpha'_{1i}, \alpha'_{2i}]$. Из признаков x_i значимыми при распознавании будут те, для которых можно указать один или несколько частичных интервалов.

Построение конъюнкций K_i для любого объекта $x_k(a_1,a_2,\ldots,a_N) \in \tilde{A}$ начинается с перекодировки тех признаков x_i, замеренных в сильных шкалах, для которых выделены частичные интервалы $[\alpha''_{1i}, \alpha''_{2i}]$. Для любого объекта $x(x_1,x_2,\ldots,x_N)$ признак x_i кодируется "I", если его значение попало в тот же частичный интервал, что и у рассматриваемого объекта $x_k \in \tilde{A}$, в противном случае – "0". Чтобы сократить и упорядочить перебор признаков при построении конъюнкций, для объекта $x_k \in \tilde{A}$ строятся матрицы подобия $MP_0 \equiv [C_{ji}]$, $j=1,2,\ldots,M_1$, $i=1,2,\ldots,N$, и различия $MR_0 \equiv [d_{ji}]$, $j=1,2,\ldots,M_{2i}$, $i=1,2,\ldots,N$, отражающие соответственно сходство объекта x_k с $x \in \tilde{A}$ и его различие с $x \in \tilde{B}$. Матрицы MP_0 и MR_0 получаются путем покомпонентного сравнения $x_k(a_1,a_2,\ldots,a_N)$ с каждым из объектов $x(x_1,x_2,\ldots,x_N) \in \tilde{A}$ и $x(x_1,x_2,\ldots,x_N) \in \tilde{B}$. Если у объекта $x_j \in \tilde{A}$, $j=1,2,\ldots,M_1$, значение признака $x_i = a_i$, то элемент матрицы подобия $C_{ji}=1$, если $x_i \neq a_i$, то $C_{ji} = 0$. При сравнении $x_k(a_1,a_2,\ldots,a_N)$ с $x(x_1,x_2,\ldots,x_N) \in \tilde{B}$ элемент матрицы различий $d_{ji} = 1$, если $x_i \neq a_i$ и $d_{ji} = 0$, если $x_i = a_i$. Если хотя бы у одного из сравниваемых объектов значение какого-то признака не определено, то соответствующий элемент матрицы MP_0 или MR_0 приравнивается "0". Матрице MP_0 приписывается $(M+1)$-й столбец, его элементами являются порядковые номера объектов в выборке $\tilde{A}$. Этот столбец в построении K_1 не участвует, по нему определяются порядковые номера объектов $x \in \tilde{A}$, для которых $K_1 = 1$. Таким образом, в MP_0 и MR_0 "I" помечены те признаки, из которых может быть построена конъюнкция, удовлетворяющая следующим требованиям: $K_1=0$ $\forall x \in \tilde{B}$ и $K_1 = 1$ для R_1 объектов $x \in \tilde{A}$, $R_1 \geq 1$. Чтобы $K_1 = 0$ $\forall x \in \tilde{B}$, необходимо и достаточно, чтобы на каждой строке матрицы MR_0 хотя бы один из составивших K_1 признаков был равен "I". На этом факте основан алгоритм последовательного построения конъюнкций K_1 возрастающей длины l, l - число признаков в K_1. Во время работы алгоритма K_1 хранятся в таблице T, номера строк которой сопоставлены с порядковыми номерами объектов $x \in \tilde{A}$. Признаки, по которым будет производиться перебор при построении конъюнкций длины $l \geq 2$, размещены в таблице T_1. В дальнейшем будем обозначать матрицы подобия и различия, на основании которых строятся K_1 длины l, через MPl и MRl. Шагом алгоритма будем считать получение конъюнкций длины $l = L$.

Процедура построения на шаге L конъюнкции K_L длины $l = L$ состоит из преобразования матриц подобия и различия, нахождения с их помощью $(L-1)$-го приближения K'_{L-1} конъюнкций K_1 длины $l \geq L$ и получения на основании K'_{L-1} конъюнкции K_L, которая определяла бы R_L объектов $x \in \tilde{A}$, причем $R_L > R$. Здесь $R = \max R_t$, $t = 1, 2, \ldots, (L-1)$, - пороговое число. В начальный момент при построении K_1 длины $l=1$ $R_0=1$ и $MP1 = MP_0$, $MR1 = MR_0$.

Преобразование матриц $MP(L-1)$ и $MR(L-1)$ имеет своей целью ускорение процесса построения конъюнкций K_1 длины $l \geq L$ и состоит в том, что из рассмотрения исключаются объекты $x \in \tilde{A}$ и $x \in \tilde{B}$, на которых заведомо $K_L = 0$, а также те признаки x_i, которые не могут составить конъюнкцию, определяющую более R объектов $x \in \tilde{A}$.

Обозначим через m_j $j = 1, 2, \ldots, M_{1L}$, и S_i, $i = 1, 2, \ldots, N$, число единиц в строках и столбцах матрицы $MP(L-1)$. Чтобы построить конъюнкцию длины $L \geq 1$, для которой $R_L > R$, нужно из $MP(L-1)$ убрать строки с $m_j < L$ и занулить столбцы с $S_i \leq R$. Действительно, объекты $x \in \tilde{A}$, соответствующие исключенным строкам, имеют с $x_k \in \tilde{A}$ сходство не более чем в $(L-1)$-м признаке и, следовательно, для них $K_L = 0$. Зануление столбцов с $S_i \leq R$ обусловлено тем, что K_L, содержащие эти признаки, могут определить не более R объектов $x \in \tilde{X}$. Заметим, что параллельно с занулением столбцов в MP(L-1) проводится зануление тех же столбцов в MR(L-1). Кроме того, исключение строк и зануление столбцов взаимосвязаны, т.е. после зануления столбцов могут вновь появиться строки с $m_j < L$, и наоборот. Поэтому преобразование MP(L-1) следует проводить до тех пор, пока не будет получена матрица MP(L-1), в которой нет строк с $m_j < L$ и для ненулевых столбцов $S_i > R$. Если в результате преобразования из MP(L-1) исключены все строки, или в MR(L-1) есть нулевая строка, то построение очередных конъюнкций проводится в соответствии с таблицей T_1. В случае, когда требуемая для построения K_L матрица MP(L-1) получена, в MR(L-1) проводится поглощение строк. Процедура поглощения состоит в том, что из MR(L-1) удаляется строка j1, если в MR(L-1) существует строка j2 такая, что все единицы строки j2 содержатся в строке j1. Процесс поглощения прекращается, когда в MR(L-1) останутся только непоглощенные строки. В преобразованных матрицах подсчитываются величины m_j $(j=1,2,\ldots,M_{1L})$ и S_i $(i=1,2,\ldots,N)$ - число единиц в строках и столбцах MP(L-1), r_i $(i=1,2,\ldots,N)$ и P_j $(j = =(1,2,\ldots,M_{2L})$ - число нулей в столбцах и число единиц в строках матрицы MR(L-1). На этом преобразование матриц заканчивается и осуществляется непосредственное построение конъюнкции K_L длины $l=L$. Заметим, что полученные на втором шаге преобразованные матрицы MP1 и MR1 сохраняются в течение всей работы алгоритма с объектом $x_k \in \tilde{X}$, т.к. эти матрицы являются исходными для построения всех возможных конъюнкций K_l длины $l \geq 2$.

Алгоритм последовательного построения конъюнкций K_l возрастающей длины заключается в том, что на шаге L находится (L-1)-е приближение K'_{L-1} конъюнкций K_l длины $l \geq L$, на основании которого затем строится K_L длины $l = L$.

Для получения K'_{L-1} на шаге L выбирается признак $x_{i(L-1)}$, который совместно с приближением $K'_{L-2} = x_{i1} \wedge x_{i2} \wedge \ldots \wedge x_{i(L-2)}$, полученным на предыдущем (L-1)-м шаге, образует конъюнкцию $K'_{L-1} = K'_{L-2} \wedge x_{i(L-1)}$, являющуюся (L-1)-м приближением для всех K_l длины $l \geq L$. Отметим, что при $L = 1$ $K'_{L-2} = K'_{L-1} = 1$. Для выбора признака $x_{i(L-1)}$ в преобразованной матрице MR(L-1) отыскива -

ется строка, содержащая $P = \min P_j$ $(j=1,2,\dots,M_{2(L-1)})$ единиц. Из P признаков, номера которых помечены в строке единицей, в качестве $x_{i(L-1)}$ берется признак x_i, для которого отношение $\frac{S_i}{r_i}$ наибольшее. Этот признак совместно с K'_{L-2} составит $(L-1)$-е приближение $K'_{L-1} = K'_{L-2} \wedge x_{i(L-1)}$ для всех K_i длины $l \geq L$. Номера оставшихся в строке $(P-1)$ признаков заносятся в $(L-1)$-ю строку таблицы T_1, они будут использованы в качестве $(L-1)$-х признаков $x_{i(L-1)}$ при следующем получении $(L-1)$-го приближения K_i. Если $P=1$, то в $(L-1)$-ю строку таблицы T_1 заносится "0".

Для нахождения K_L из матриц MP(L-1) и MR(L-1) убираются строки, в которых $c_{j(i(L-1))} = 0$ и $d_{j(i(L-1))} = 1$, и полученные в результате матрицы MPL и MRL преобразуются. В преобразованной матрице MRL отыскивается столбец iL, у которого $r_{iL} = 0$. Если такой столбец существует, то соответствующий ему признак x_{iL} совместно с K'_{L-1} составит конъюнкцию $K_L = K'_{L-1} \wedge x_{iL}$, в противном случае осуществляется переход к шагу $(L+1)$. Полученная конъюнкция $K_L = 1$ для R_L объектов $x \in \tilde{A}$, $R_L = S_{iL} > R$, и $K_L = 0$ $\forall x \in \tilde{B}$. Конъюнкций K_L столько, сколько единичных столбцов в матрице MRL.

Если на шаге L получено несколько конъюнкций K_{Lt} длины L, то для каждой K_{Lt} определяется $R_{Lt} = S_{iLt}$ – число объектов $x \in \tilde{A}$, на которых $K_{Lt} = 1$, и затем устанавливается пороговое число R, для чего находится $R_L = \max\limits_t R_{Lt}$. Если $R_L > R$, то за пороговое число берется R_L, в противном случае R не меняется. Конъюнкции K_{Lt} и соответствующие им R_{Lt} заносятся в таблицу T, причем в те ее строки, номера которых совпадают с номерами объектов, определенных данной K_{Lt}. Номера определенных конъюнкцией объектов находятся по $(N+1)$-му столбцу матрицы MPL. Если при заполнении таблицы T оказалось, что строка с номером j не пустая, т.е. объект $x_j \in \tilde{A}$ уже определен, то в строке оставляется та из конъюнкций, которая имеет большее R_{Lt}. Признаки K'_{L-1}, составившие с K'_{L-1} конъюнкции K_{Lt}, из дальнейшего рассмотрения исключаются, так как совместно с K'_{L-1} они могут образовать конъюнкцию, определяющую не более R объектов $x \in \tilde{A}$. Для этого в MPL и MRL зануляются столбцы, соответствующие исключаемым признакам.

Если на шаге L произошло увеличение порогового числа R, то проводится коррекция матриц MP1 и MR1, а также таблицы T_1. В матрице МР1 отыскиваются столбцы, у которых число единиц $S_i \le R$. Эти столбцы зануляются в МР1 и МR1, а из таблицы T_1 исключаются соответствующие этим столбцам признаки. После проведения коррекции алгоритм готов к выполнению (L+1)-го шага.

Допустим, на шаге L в МRL получена нулевая строка или из МРL исключены все строки. Это означает, что с K'_{L-1} нельзя построить конъюнкций длины $l \ge L$. В этих случаях находится новое (L-1)-е приближение, для чего в K'_{L-1} производится замена последнего признака $x_{i(L-1)}$ на один из признаков, хранящихся в строке (L-1) таблицы T_1, выбранный признак из T_1 исключается. С новым (L-1)-м приближением $K'_{L-1} = x_{i1} \wedge x_{i2} \wedge \ldots \wedge x_{i(L-2)} \wedge x'_{i(L-1)}$ будут строиться K_l длины $l \ge L$, т.е. алгоритм продолжит работу с шага L. Для этого на основании матриц МР1 и МR1 формируются матрицы МРL и МRL. Матрица МРL образуется из строк матрицы МР1, для которых $\sum_{n=1}^{L-1} c_{j(in)} = L-1$, а матрица МRL - из тех строк матрицы МR1, в которых $\sum_{n=1}^{L-1} d_{j(in)} = 0$. Признак $x_{i(L-1)}$, исключенный из K'_{L-1}, в дальнейшем построении K_l длины $l \ge L$ не участвует, поэтому в МРL и МRL зануляется соответствующий этому признаку столбец. После выполнения этих операций осуществляется преобразование матриц и построение K_L.

Если в ходе построения K_l все признаки в строке (L-1) таблицы T_1 исчерпаны, то выполняется переход к (L-2)-й строке таблицы. В K'_{L-1} убирается признак $x'_{i(L-1)}$ и признак $x_{i(L-2)}$ заменяется на признак из (L-2)-й строки таблицы T_1, т.е. получается (L-2)-е приближение $K'_{L-2} = x_{i1} \wedge x_{i2} \wedge \ldots \wedge x_{i(L-3)} \wedge x'_{i(L-2)}$ и алгоритм продолжит работу с (L-1)-го шага, восстановив предварительно с помощью МР1 и МR1 матрицы МR(L-1) и МR(L-1) и т.д. Поднимаясь вверх по таблице T_1, алгоритм строит все возможные при пороге R конъюнкции K_l длины $l \ge 2$. Работа алгоритма с объектом $x_k \in \tilde{A}$ заканчивается, когда в качестве первого приближения K'_1 для K_l длины $l \ge 2$ будет взят каждый признак, указанный в первой строке таблицы T_1, т.е. таблица T_1 пустая.

Построение конъюнкций для объекта $x_{k+1} \in \tilde{A}$ проводится аналогично, с той лишь разницей, что в качестве порогового числа R будет взято R_{1t}, указанное в строке (k+1) таблицы Т, если объект x_{k+1} был определен ранее. Если x_{k+1} не был определен, то R = 1.

Построение конъюнкций для $x \in \tilde{A}$ заканчивается, если для каждого объекта была получена конъюнкция, отражающая его наиболее типичные в $\tilde{A}$ свойства, или каждый из объектов $x \in \tilde{A}$ описан конъюнкцией, которая встречается не менее чем у R' объектов $x \in \tilde{A}$. Здесь R' - некоторая пороговая величина, определяемая условиями задачи. В функцию $F(x)$ включаются все различные K_l длины $l \geq 1$, которые вошли в таблицу T, если для каждого $x \in \tilde{A}$ запоминалась только одна конъюнкция K_l. Если для каждого объекта запоминалось несколько конъюнкций, то в $F(x)$ включается столько, сколько необходимо, чтобы $F(x) \neq 0$ $\forall x \in \tilde{A}$. Вообще говоря, включение K_l в функцию $F(x)$ является самостоятельной задачей, которая, в частности, может рассматриваться как задача сокращения размерности, если конъюнкции взять в качестве признаков, принимающих значения "0" и "I".

При выводе K_l на печать значения составивших конъюнкцию признаков легко определяются согласно таблице T и выборке $\tilde{A}$, т.к. между порядковым номером объекта и номером строки таблицы T установлено взаимно-однозначное соответствие, при этом для признаков, замеренных в сильных шкалах, указывается частичный интервал $[\alpha''_{1i}, \alpha''_{2i}]$, которому принадлежит значение признака x_i у данного объекта. Если в конъюнкцию K_l вошел признак x_i, для которого не удалось выделить частичный интервал, то, согласно процедуре, изложенной в [5], проводится "расширение" K_l по признаку x_i. И вообще, с помощью "расширения" K_l может быть получена некоторая "обобщенная" конъюнкция, выделяющая в подпространстве размерности l исходного N-мерного пространства некоторую область, в которой содержатся объекты только одного образа.

Итак, в работе предложен алгоритм построения на основании обучающей выборки логической разделяющей функции $F(x)$, отражающей наиболее типичные свойства образа. Поиск закономерностей проводится для каждого конкретного объекта из выборки и является процедурой последовательного построения конъюнкций возрастающей длины. Алгоритм работает в условиях разнотипных признаков и неполного описания объектов, позволяет сократить и упорядочить перебор при построении конъюнкций. Алгоритм обеспечивает получение конъюнкций самых результативных по числу определяемых объектов, причем конъюнкции не содержат избыточных признаков, т.е. удаление любого признака приводит к нарушению условия: $K_l = 0$ $\forall x \in \tilde{B}$.

Алгоритм опробован на опубликованных в литературе модельных и реальных задачах, решенных с помощью логических разделяющих функций [6,8,10], а также использован при решении задач медицинской диагностики. Полученные результаты показали высокую эффективность алгоритма.

Литература

1. БОНГАРД М.М. Проблема узнавания. -М.: Наука, 1967.

2. ВАЙНЦВАЙГ М.Г. Алгоритм обучения распознаванию образов "Кора".-В кн.: Алгоритмы обучения распознаванию образов.М.,1973.

3. Распознавание образов и медицинская диагностика /Неймарк Ю.И., Баталова З.С., Васин Ю.Г., Брейдо М.Д.-М.:Наука,1972.

4. ЛБОВ Г.С., КОТЮКОВ В.И., МАНОХИН А.Н. Об одном алгоритме распознавания в условиях разнотипных признаков.-В кн.: Вычислительные системы, вып. 55. Новосибирск, 1973.

5. ИВАНОВА И.М. О построении на ЭВМ разделяющей функции для задач медицинской диагностики. 1. Построение обобщенного синдрома. -В кн.: Динамика систем, вып.10. 1976.

6. ЗАГОРУЙКО Н.Г. Эмпирическое предсказание.-Новосибирск:Наука, 1979.

7. ЛБОВ Г.С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных. -Новосибирск: Наука, 1981.

8. ПШИБИХОВ В.Х., ТИМОФЕЕВ А.В. Полные системы логических разделяющих функций и оптимальные распознающие графы. -В кн.: Методы вычислений, вып. 9. 1974.

9. ИВАНОВА И.М. О построении на ЭВМ разделяющей функции для задач медицинской диагностики. 2. -В кн.: Динамика систем, Горький, 1978.

10. ЛБОВ Г.С., КОТЮКОВ В.И., МАШАРОВ Ю.П. Метод обнаружения логических закономерностей на эмпирических таблицах. -В кн.: Эмпирическое предсказание и распознавание образов (Вычислительные системы, вып. 67). Новосибирск, 1976.

Поступила в ред.-изд.отд.
20 апреля 1984 года