

Е. М. Тарасов, М. В. Трошина

**ВЫБОР ПРИЗНАКОВ И РЕШАЮЩИХ ПРАВИЛ  
ПРИ РАСПОЗНАВАНИИ СОСТОЯНИЙ РЕЛЬСОВЫХ ЛИНИЙ  
СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК**

В статье рассмотрены вопросы формирования рабочего множества признаков из априорного словаря признаков посредством оценки вероятности ошибки распознавания при селекции признаков. Исключение ошибок I и II рядов при распознавании состояний рельсовых линий предложено осуществить решающим правилом, предполагающим использование нескольких дискриминантных решающих функций. *Распознающее устройство; датчик информации; разделение классов; распознавание; дискриминантная функция; решающая функция; решающее правило*

В настоящее время контроль состояний рельсовых линий по маршруту движения отцепов (вагонов) на сортировочных горках осуществляется горочными рельсовыми цепями, представляющими собой короткие изолированные участки ( $l_{\text{уч}} = 25\text{--}50$  м), оборудованные нормально-разомкнутыми схемами. Функции контролирующего органа и распознающего устройства в таких горочных рельсовых цепях выполняют электромагнитные реле I класса надежности. Являясь первичным датчиком информации, горочные рельсовые цепи должны обеспечить функции контроля состояний рельсовых линий участков, а именно, фиксировать свободу, занятость и целостность рельсовых линий. Но, из-за того, что они выполнены по схеме разомкнутых рельсовых цепей, осуществление функции контроля целостности рельсовых нитей затруднительно, так как решающее устройство включается только в момент вступления отцепа на участок контроля, и в случае обрыва рельсовой нити включение невозможно и не фиксируется обрыв рельсовой нити. Неисправность и изъятие из схемы элементов рельсовой цепи также не выявляется, так как в нормальном режиме, при отсутствии отцепа на участке контроля схема находится в неактивном состоянии.

В используемых схемах контроля состояния рельсовых линий единственным информативным признаком  $x_i$ , характеризующим пространства состояний рельсовых линий  $X_i^m$ , размерностью  $m$  является амплитуда тока на входе ненагруженного рельсового четырехполюсника, которая подвержена влиянию возмущающего фактора в виде колебания проводимости изоляции

рельсовых линий, а также изменение сопротивления шунта  $Z_s$  колесной пары отцепа.

Реакция решающего устройства на воздействие информативного воздействия  $Z_s$  и на изменение проводимости изоляции (в сторону увеличения) одинакова, то есть признаковые пространства по  $X_i$  в классе образов свободного  $M_N$  и занятого  $M_s$  состояний рельсовых линий пересекаются. В то же время, реакция решающего устройства в классе образов свободного и неисправного состояний  $M_N$  и на воздействие сопротивления шунта колесной парой повышенной величины при  $M_s, Z_s \gg 0,5\text{ Ом}$  (0,5 Ом – нормированное сопротивление шунта горочной рельсовой цепи) одинакова, т. е. пространства неисправного и занятого состояний рельсовых линий из-за особенностей схемы пересекаются.

Решить задачу разделения классов при распознавании состояний рельсовых линий возможно использованием множества информативных признаков, характеризующих состояния объекта контроля. Известно [1, 2], что состояния рельсовых линий характеризуют физически реализуемые при измерении напряжения и тока на входе рельсовой линии и напряжения на ее выходе, а также их фазовые сдвиги при условии равенства нулю фазы источника питания сигнала опроса рельсовых линий.

На сортировочных горках средней мощности используются десятки коротких рельсовых цепей (80–90), и при построении классификатора состояний с множеством информативных признаков время измерений значений признаков, особенно фаз сигналов, значительно. С учетом того, что время занятия и освобождения участков контроля скатывающимися отцепами незначительно (динамика процесса занятия и освобождения высокая ( $t_{30} \leq 1,5\text{--}2$  с)), возни-

кает задача минимизации входного описания распознающего устройства, а именно, уменьшения количества информативных признаков без ухудшения распознающих свойств классификатора.

Очевидно, что количество признаков, необходимых для успешного решения задачи распознавания состояний рельсовых линий, зависит от разделяющих свойств выбранных признаков. Задача выбора признаков усложняется обычно тем обстоятельством, что наиболее важные признаки не всегда легко изменить либо, как оказывается во многих случаях (особенно в линиях с распределенными параметрами), соответствующие возможности реализации измерения сдерживаются экономическими обстоятельствами. В случае распознавания состояния вступления отцепа на участок контроля возможно использование скорости изменения тока на входе рельсовой линии  $v(i) = di / dt$ , но из-за того, что невозможно установить порог изменения тока, зависящего от состояния проводимости изоляции рельсовых линий контролируемого участка, использование принципа практически невозможно. Это приводит к тому, что результаты измерений содержат не много «различительной» информации. Подобные данные, полученные в результате измерений, могут привести к существенному усложнению соответствующей классификации, приводящей к анализу «расстройки» порогов пространства классов состояний из-за того, что они не несут достаточного количества различительной информации. Поэтому необходимо выделить из векторов измерений более существенные признаки с тем, чтобы создать более эффективную и точную систему классификации состояний рельсовых линий. Данная процедура является предварительной обработкой признаков с целью выделения наиболее информативных. Предварительная обработка включает решение двух основных задач: преобразование кластеризации и выбор признаков [3]. Выбор адекватного множества признаков, учитывающий трудности, которые связаны с реализацией процессов выделения или выбора признаков, и обеспечивающий в то же время необходимое качество классификации, представляет собой одну из наиболее трудных задач построения классификаторов распознающих систем.

В априорный словарь признаков обычно включаются все параметры, описывающие состояние объекта распознавания, который может быть представлен в виде набора данных, полу-

ченных путем измерения  $m$  признаков, принадлежащих образам классов свободного и исправного  $\{M_N\}$ , занятого отцепом  $\{M_S\}$  и неисправного  $\{M_K\}$  состояний

$$M_N = \begin{matrix} X_1^T \\ X_2^T \\ \vdots \\ X_i^T \\ \vdots \\ X_m^T \end{matrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

$$M_S = \begin{matrix} X_1^T \\ X_2^T \\ \vdots \\ X_i^T \\ \vdots \\ X_m^T \end{matrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$M_K = \begin{matrix} X_1^T \\ X_2^T \\ \vdots \\ X_i^T \\ \vdots \\ X_m^T \end{matrix} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & x_{i2} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

классы( $n$ )
образы( $m$ )
матрицы признаков

$X_j^T$  – транспонированный вектор столбец  $X_i$ .

Если ошибки измерения некоторых признаков соизмеримы с областью их изменения, то такие признаки исключаются из исходной системы, так как дисперсия их обусловлена, в основном, ошибками измерения. Малая дисперсия  $\sigma_k^2$  определяет большую надежность  $k^{\text{го}}$  измерения, а большая дисперсия  $\sigma_k^2$  меньшую надежность  $k^{\text{го}}$  измерения. Результаты измерений, которым соответствуют малые дисперсии, более надежны и могут считаться более существенными признаками [1].

Полезность конкретного признака во множестве признаков можно определить по увеличению полной вероятности ошибки  $\Delta P_{\text{ош}}$  [4] при исключении этого признака из исходной совокупности:

$$\Delta P_{\text{ош}} = P_{\text{ош}} - P'_{\text{ош}}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{ош}}$  – полная вероятность ошибки распознавания классов  $M_1$  и  $M_2$  для априорного множества  $n$  признаков;

$P'_{\text{ош}}$  – полная вероятность ошибки распознавания классов  $M_1$  и  $M_2$  при исключении  $k$ -го признака из множества.

В зависимости от знака приращения  $\Delta P_{\text{ош}}$  имеет место:

- если  $P_{\text{ош}} < 0$  –  $k$ -й признак полезен, так как его исключение приводит к увеличению вероятности ошибки;
- если  $P_{\text{ош}} = 0$  –  $k$ -й признак бесполезен, так как вероятность ошибки не меняется;
- если  $P_{\text{ош}} > 0$  –  $k$ -й признак вреден, так как без него вероятность ошибки уменьшается.

Исключение  $k$ -го признака из исходного множества признаков приводит к изменению математических ожиданий и среднеквадратичных отклонений решающей функции  $\Delta^k m_{12}$  и  $\Delta^k \sigma_{12}$  для класса свободного и исправного состояния рельсовых линий  $M_1$ ,  $\Delta^k m_{21}$  и  $\Delta^k \sigma_{21}$  для класса занятого или неисправного состояний  $M_2$ . В случае нормального распределения плотности вероятностей решающих функций  $P(d_{12} / M_1)$  и  $P(d_{12} / M_2)$ :

$$P_{\text{ош}} = P_1 \left[ 1 - F \left( \frac{c - m_{12}}{\sigma_{12}} \right) \right] + P_2 F \left( \frac{c - m_{21}}{\sigma_{21}} \right), \quad (5)$$

где  $F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-t^2/2} dt$  – функция Лапласа;  $m_{12}$ ,

$m_{21}$  – математические ожидания и  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{21}$  – среднеквадратичные отклонения решающей функции для классов свободного  $M_1$  и занятого или неисправного  $M_2$  состояний рельсовых линий соответственно.

Выражение (5) после ряда преобразований [4] принимает вид:

$$\frac{\Delta^k m_{12} - \Delta^k m_{21}}{\Delta^k \sigma_{12} + \Delta^k \sigma_{21}} > \frac{m_{12} - m_{21}}{\sigma_{12} + \sigma_{21}}, \quad (6)$$

и по знаку означает, что  $k$ -й признак полезен.

Если обозначить оценку полезности  $k$ -го признака при распознавании классов  $M_1$  и  $M_2$ , через  $a_{12}^{(k)}$ , то в соответствии с (4) можно записать:

$$a_{12}^{(k)} = (\Delta^k m_{12} - \Delta^k m_{21}) - \frac{m_{12} - m_{21}}{\sigma_{12} + \sigma_{21}} (\Delta^k \sigma_{12} + \Delta^k \sigma_{21}). \quad (7)$$

Согласно (7) и по условию выражения (4):

- если  $a_{12}^{(k)} > 0$ , то  $k$ -й признак полезен;
- если  $a_{12}^{(k)} < 0$ , то он вреден;
- если  $a_{12}^{(k)} = 0$ , то он бесполезен.

Основной задачей распознавания состояний рельсовых линий является построение решаю-

щих функций, разделяющих пространство измерений в определенный момент времени  $\Delta t$  (пространство образов) на некоторые классы, а затем по измеренным данным распознавать классы состояний.

Если рассматривать случай разделения пространства состояний рельсовых линий на два класса  $M_1$  – свободного и исправного и  $M_2$  – занятого или неисправного состояний, то решающая функция имеет вид дискриминантной функции вида

$$d_{12}(X, W) = d_1(X, W_1) - d_2(X, W_2). \quad (8)$$

В общем случае параметры-коэффициенты  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)$  решающей функции неизвестны. Для определения величины коэффициентов, как правило, используются обучающие процедуры с обучающим множеством образов состояний, относительно которых предполагается известной проводимости классификация состояний.

Процедура определения вида решающей функции может быть разделена на три этапа:

- формирование решающего правила;
- определение коэффициентов решающей функции с использованием обучающей выборки образов;
- оценка точности распознавания состояний рельсовых линий полученной решающей функцией.

Определение решающей функции  $d_{12}(X, W)$  равносильно разделению  $n$ -мерного пространства признаков на две непересекающиеся области  $N_1$  и  $N_2$ . Если данный образ попадает в область  $N_1$ , то классификатором принимается решение о его принадлежности к классу  $M_1$ , то есть

$$X_i = (x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n) \in N_1 \rightarrow M_1$$

и аналогично,

$$X_i = (x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n) \in N_2 \rightarrow M_2.$$

Качество разделения решающими функциями пространства образов на классы, а следовательно, минимум ошибки распознавания состояний, в первую очередь, определяется видом решающей функции и принципом разделения пространства образов на классы.

В настоящее время при распознавании состояний объектов сложной структуры используются несколько принципов разделения пространства образов на классы [1]. Наиболее эффективно при практической реализации использовать решающее правило, предполагающее применение  $K$  решающих функций, обладаю-

щих свойством таким, что если образ  $X$  принадлежит классу  $M_i$ , то

$$d_i(X) > d_j(X), \quad \forall j \neq i, \quad (9)$$

и образ  $X_i$  принадлежит классу  $M_i$ , т. е. если  $i$ -ая решающая функция  $d_i(X)$  имеет наибольшее значение, то  $X_i \in M_i$ .

Разделяющие границы в этом случае имеют вид (для случая трех классов):

$$\begin{aligned} d_i(X) - d_j(X) &= 0, \\ d_i(X) - d_k(X) &= 0, \\ d_j(X) - d_k(X) &= 0. \end{aligned} \quad (10)$$

При данном методе деления образов области неопределенности отсутствуют и это позволяет избежать ошибок первого и второго родов, что недопустимо в системах интервального управления движением поездов (СИУДП) на магистральных железных дорогах. Ошибка первого рода в СИУДП характеризует распознавание состояния рельсовой линии как занятое или неисправное при фактическом свободном и исправном состоянии, и движение поездов должно быть **разрешено**, а ошибка второго рода характеризует распознавание состояния рельсовой линии как свободное и исправное при фактическом занятом или неисправном состоянии, и движение поездов должно быть **запрещено**.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарасов Е. М.** Принципы распознавания в классификаторах состояний рельсовых линий. М.: «Маршрут», 2003. 156 с.
2. **Тарасов Е. М.** Принципы деления пространства образов на классы решающими функциями // Известия Самарского научного центра РАН, Самара, 2003. С. 78-83.
3. **Дж. Ту, Гонсалес Р.** Принципы распознавания образов. М.: Мир. 1978. 416 с.
4. **Анисимов Б. В., Курганов В. Д., Злобин В. К.** Распознавание и цифровая обработка изображений: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Высшая школа, 1983. 295 с.

## ОБ АВТОРАХ

**Тарасов Евгений Михайлович**, проф., каф. математическ. методов и инф. технологий, проректор по НИИ Самарск. акад. гос. и муниципальн. управления. Дипл. инженер-электрик (КИИТ, 1980). Д-р техн. наук по элементам и устройствам вычислительн. техники и систем управления (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. инвариантных и распознающих систем.

**Трошина Марина Васильевна**, асп. той же каф. Дипл. инженер-электрик (КИИТ, 1986). Иссл. в обл. распознающих систем.