

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ ПО ИНФОРМАТИВНЫМ ПАРАМЕТРАМ МЕТОДОМ ПОРОГОВОЙ ЛОГИКИ

Романович С.А., Сурков В.Д., Тихонович А.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Боровиков С.М. – к. т. н., доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. Обсуждается подход к индивидуальному прогнозированию класса надёжности изделий электронной техники для заданной наработки по значениям информативных параметров прогнозируемого экземпляра. Известные методы прогнозирования требуют сложных вычислений по определению прогнозирующей функции для каждого экземпляра. В качестве альтернативы может использоваться метод пороговой логики, основанный на преобразовании значений информативных параметров в двоичный код и принятии решения о классе надёжности прогнозируемого экземпляра по логической таблице без проведения вычислений.

Ключевые слова: прогнозирование, надёжность, информативные параметры, пороговая логика.

Введение. Известные методы индивидуального прогнозирования по информативным параметрам (кратко – признакам), такие как методы статистических решений и потенциальных функций [1] при числе признаков $k > 2$ перед принятием решения о классе надёжности каждого экземпляра для заданной наработки (K_1 – класс надёжных, K_2 – класс потенциально ненадёжных экземпляров) предполагают выполнение сложных математических вычислений по определению прогнозирующей функции, по значению которой принимают решение о классе надёжности прогнозируемого экземпляра. Необходимость выполнения вычислений ограничивает внедрение этих методов в производственную деятельность предприятий. Использование методов в условиях производства целесообразно лишь на основе применения вычислительной техники. Другие же, более простые методы, во многих случаях не позволяют достичь допустимых ошибок прогнозирования. Актуальной является задача разработки и внедрения простых методов, но обеспечивающих достаточную достоверность прогнозирования.

Основная часть. Простым и в то же время эффективным является метод индивидуального прогнозирования, основанный на принципах пороговой логики [1, 2].

Суть метода пороговой логики состоит в преобразовании значений признаков, полученных при измерении для j -го экземпляра, в двоичный код (единица или ноль) и принятии решения о классе надёжности этого экземпляра по набору (комбинации) двоичных чисел. При k признаках, используемых для прогнозирования, количество всех возможных наборов T , построенных из двоичных чисел, определяется выражением $T = 2^k$. Поэтому прогнозирующее правило для этого метода может быть представлено простой логической таблицей с числом строк не более T . Таблица может использоваться непосредственно в наглядной форме или храниться в запоминающих устройствах.

Преобразование значений признаков $x_1, \dots, x_k$ в двоичные числа $z_1, \dots, z_k$, называемые далее сигналами, выполняется по соотношениям [1, 2]

$$\left. \begin{aligned} z_i &= 1, \text{ если } x_i \geq x_{i0} \\ z_i &= 0, \text{ если } x_i < x_{i0} \end{aligned} \right\} \text{ при } m_{i1} > m_{i2}; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} z_i &= 1, \text{ если } x_i \leq x_{i0} \\ z_i &= 0, \text{ если } x_i > x_{i0} \end{aligned} \right\} \text{ при } m_{i1} < m_{i2}, \quad (2)$$

где x_{i0} – пороговое значение i -го признака;

m_{is} – среднее значение i -го признака в начальный момент времени для экземпляров класса надёжности K_s ($S = 1; 2$).

Прогнозирующее правило для данного метода прогнозирования задаётся соотношением

$$R = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i=1}^k \alpha(z_i) \geq P_0; \\ 0, & \text{если } \sum_{i=1}^k \alpha(z_i) < P_0, \end{cases} \quad (3)$$

где R – выходной двоичный сигнал (пороговая функция), равный единице для класса надёжных экземпляров (K_1) и нулю – для класса потенциально ненадёжных экземпляров (K_2);

$\alpha(z_i)$ – вес i -го двоичного сигнала, выбираемый в зависимости от того, какое значение (единица или нуль) принял i -й признак по результатам применения условий (1) или (2);

P_0 – порог (критерий) разделения классов, вещественное число.

Вес $\alpha(z_i)$ i -го двоичного сигнала характеризует ценность сигнала z_i для процедуры прогнозирования и определяется соотношением [1]

$$\alpha(z_i) = \begin{cases} P(K_1 | z_i = 1), & \text{если } z_i = 1; \\ P(K_1 | z_i = 0), & \text{если } z_i = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где $P(K_1 | z_i = \xi)$ – оценка вероятности того, что ИЭТ принадлежит к классу K_1 при условии, что двоичный сигнал z_i принял значение $z_i = \xi$; $\xi = 1, 0$.

Оценку вероятностей $P(K_1 | z_i = 1)$ и $P(K_1 | z_i = 0)$ получают по результатам испытаний экземпляров обучающей выборки, используя следующие выражения:

$$P(K_1 | z_i = 1) = \frac{n(K_1 | z_i = 1)}{n(z_i = 1)}, \quad (5)$$

$$P(K_1 | z_i = 0) = \frac{n(K_1 | z_i = 0)}{n(z_i = 0)}, \quad (6)$$

где $n(K_1 | z_i = \xi)$ – количество экземпляров класса K_1 в обучающей выборке, для которых двоичный сигнал z_i принял значение $z_i = \xi$; $\xi = 1, 0$;

$n(z_i = \xi)$ – общее количество экземпляров в обучающей выборке, для которых двоичный сигнал z_i принял значение $z_i = \xi$; $\xi = 1, 0$.

Для определения порогового значения i -го признака можно использовать способ, состоящий в выборе в качестве значения x_{i0} средней точки между средними значениями

(математическими ожиданиями) m_1 и m_2 признака x , соответствующими классам надёжности K_1 и K_2 для экземпляров обучающей выборки в начальный момент времени [1, 2].

Преобразование признаков $x_1, \dots, x_k$ экземпляров обучающей выборки в двоичные сигналы $z_1, \dots, z_k$ выполняется по выражениям (1) или (2).

Для определения веса $\alpha(z_i)$ i -го двоичного сигнала с учётом выбранного порогового значения x_0 подсчитываются по соотношениям (5) и (6) оценки вероятностей $P(K_1 | z_i = 1)$ и $P(K_1 | z_i = 0)$. Они в соответствии с выражением (4) принимаются в качестве веса $\alpha(z_i)$.

Значение прогнозирующей функции $F(z_1^{(j)}, \dots, z_k^{(j)})$, соответствующее j -му экземпляру обучающей выборки, определяется по формуле [1–4]

$$F(z_1^{(j)}, \dots, z_k^{(j)}) = \sum_{i=1}^k \alpha(z_i^{(j)}), \quad (7)$$

где $\alpha(z_i^{(j)})$ – значение веса i -го двоичного сигнала z_i , соответствующее j -му экземпляру обучающей выборки.

Для оценки вероятности принятия правильных решений используют выражение

$$P_{\text{прав}} = \frac{n_{11} + n_{22}}{n}, \quad (8)$$

где n_{11} , n_{22} – количество правильно распознанных экземпляров соответственно классов надёжности K_1 и K_2 в обучающей выборке;

n – объём обучающей выборки.

Для определения порога разделения классов P_0 задаются несколькими точками из области определения прогнозирующей функции $F(z_1^{(j)}, \dots, z_k^{(j)})$ для изделий обучающей выборки. Для каждой выбранной точки, пользуясь правилом, задаваемым соотношением (3), подсчитывают по формуле (8) вероятность принятия правильных решений $P_{\text{прав}}$. В качестве искомого порога разделения классов P_0 принимают значение, которое отвечает условию

$$P_{\text{прав}} \rightarrow \max.$$

Представление прогнозирующего правила логической таблицей, используемой для прогнозирования, осуществляется следующим образом [1]. Для всех теоретически возможных наборов двоичных сигналов $z^1, z^2, \dots, z^k$ подсчитываются по выражению (7) значения прогнозирующей функции $F(z_1^{(j)}, \dots, z_k^{(j)})$. Используя построенное прогнозирующее правило вида (3), определяют, какому классу соответствует тот или иной набор двоичных сигналов.

Заключение. Метод позволяет существенно упростить процедуру прогнозирования однотипных экземпляров, не участвовавших в обучающем эксперименте, за счёт преобразования значений признаков в двоичный код и использования наглядных логических таблиц. Значимость работы состоит в возможности индивидуального прогнозирования класса надёжности ИЭТ без выполнения вычислений прогнозирующей функции.

Список литературы

1. Боровиков С.М. Статистическое прогнозирование для отбраковки потенциально ненадёжных изделий электронной техники. – М. : Новое знание, 2013. – 343 с.
2. Метод прогнозирования надёжности изделий электронной техники / С.М. Боровиков, А.В. Емельянов, А.А. Хмыль, А.И. Бересневич // Доклады НАН Беларуси. – 2006. – Т. 50, № 4. – С. 105–109.
3. Прогнозирование класса надёжности изделий электронной техники методом преобразования информативных параметров в дискретный код / В.О. Казюиц, С.М. Боровиков, М.П. Батура, Е.Н. Шнейдеров // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 91–97. DOI: 10.21293/1818-0442-2023-26-1-91-97.
4. Казюиц В.О., Боровиков С.М., Шнейдеров Е.Н. Эвристическая модель прогнозирования работоспособности полупроводниковых приборов // Доклады БГУИР. – 2022. – Т. 20, № 1. – С. 92–100.

UDC 621.382.019.3

PREDICTING THE RELIABILITY OF ELECTRONIC PRODUCTS BASED ON INFORMATION PARAMETERS USING THE THRESHOLD LOGIC METHOD

Romanovich S.A. Surkov V.D., Tikhonovich A.V.

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk,
Republic of Belarus*

Borovikov S.M. – Cand. of Sci., Associate Professor, Associate Professor of the Department of ICSD

Annotation. This article discusses an approach to individually predicting the reliability class of electronic products for a given operating life based on the values of the predicted component's informative parameters. Known prediction methods require complex calculations to determine the predictive function for each component. Alternatively, a threshold logic method can be used, based on converting the informative parameter values into binary code and making a decision on the predicted component's reliability class based on a logic table without performing calculations.

Keywords: forecasting, reliability, informative parameters, threshold logic.