

А.Г. Деревянченко, д-р техн. наук, В.Д. Павленко, канд. техн. наук, А.А.Фомин
Одесса, Украина

ОТБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ И РАСПОЗНАВАНИЕ СОСТОЯНИЙ ИНСТРУМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

An approach to diagnosing the cutting tools blades states with neuron nets using is considered. Definition of the space for computer-assisted diagnosis of surfaces states of cutting tolls is dissused.

Современное машиностроительное производство характеризуется всё более широким использованием автоматизированных и автоматических станочных систем и комплексов, для обеспечения работоспособности которых необходимо создавать системы контроля и диагностирования их текущих состояний. К наименее надёжным элементам таких систем относятся режущие инструменты (РИ), внезапные или постепенные отказы которых приводят к значительным простоям станков [1]. Поэтому задача разработки нового математического обеспечения и алгоритмов распознавания состояний РИ, минимизации размерности соответствующих пространств признаков X , является актуальной.

По результатам контроля состояний РИ формируется исходная диагностическая информация в виде последовательности векторов $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m$. Каждый вектор имеет размерность q – количество рассматриваемых признаков РИ. Эти вектора составляют обучающую статистическую выборку. Считается заранее известным принадлежность любого вектора выборки к определённому классу состояний РИ. По этим данным синтезируются решающие правила, разделяющие классы состояний РИ между собой. После набора данных необходимо минимизировать размерность пространства признаков, сохраняя при этом требуемое качество распознавания. Сокращение числа признаков, как правило, улучшает качество распознавания [2] и позволяет снизить минимально необходимое количество объектов статистической выборки, сохраняя её представительность.

Исследование информативности признаков производится путём решения ряда задач распознавания на выборках, включающих различные сочетания признаков, с последующим анализом полученных результатов. Задача распознавания l образов РИ состоит в разбиении пространства признаков X на l взаимно непересекающихся

областей. В качестве критерия оптимальности разбиения X используем максимум функции вероятности правильного распознавания объектов выборки P , %:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^l r_i}{\sum_{i=1}^l R_i} \cdot 100, \quad (1)$$

где l — количество классов состояний РИ в экзаменационной выборке; r_i — количество правильно классифицированных элементов i -го класса в экзаменационной выборке; R_i — количество элементов i -го класса в экзаменационной выборке.

Распространённым подходом к исследованию информативности признаков и отбору наиболее информативных их совокупностей в X является использование методов перебора (полный, сокращённый, случайный перебор) [3]. Их существенным недостатком является большое количество вариантов, среди которых необходимо отобрать одно или несколько удовлетворительных решений. Непосредственный поиск таких решений мало эффективен и нуждается в автоматизации.

При решении задачи классификации двух состояний РИ (задача дихотомии) проблема минимизации размерности X достаточно просто. Однако, при решении многоклассовых задач, проблема выбора наиболее информативных наборов диагностических признаков является более острой, так как здесь качество распознавания выражается набором показателей качества распознавания каждого состояния. Автоматизация поиска удовлетворительных решений в этом случае возможна при использовании вспомогательных целевых функций. Для диагностики состояний РИ в данной работе используется несколько целевых функций (критериев отбора) информативных совокупностей диагностических признаков. В качестве первой функции предлагается использовать сумму процентов правильного распознавания P из (1) по всем классам на одинаковых наборах диагностических параметров.

$$F(P) = \frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^{l-1} P_i, \quad (2)$$

Чтобы избежать усреднения процентов правильного распознавания, исходную целевую функцию (2) нужно модифицировать. Ниже приведено две модификации, учитывающие близость суммируемых слагаемых друг к другу:

$$F(P) = \frac{1}{l-1} \frac{\sum_{i=1}^{l-1} P_i}{\alpha \cdot (P_{\max} - P_{\min}) + 1}, \quad (3)$$

$$F(P) = \frac{1}{l-1} \frac{\sum_{i=1}^{l-1} P_i}{e^{\beta(P_{\max} - P_{\min})}}, \quad (4)$$

где $P_{\max}$ и $P_{\min}$ — максимальное и минимальное значения процента правильного распознавания среди заданных классов состояний РИ на рассматриваемом наборе диагностических примеров соответственно; α, β — весовые коэффициенты.

Коэффициент α можно найти из выражения:

$$\alpha = \frac{1}{\sum_{i=1}^{l-1} P_i} \quad (5)$$

Коэффициент β в первом приближении можно считать равным α .

Выбор наиболее информативных сочетаний признаков состояний РИ осуществляется согласно следующей методике: исходная статистическая выборка сводится к последовательности задач дихотомии (например, методом последовательного приведения). Каждая задача дихотомии решается на различных наборах диагностических признаков, полученных методом полного перебора. При помощи выражений (2)-(4), применяемых к полученной картине распознавания (набору процентов правильного распознавания $P_i^{(j)}$, $i = 1, 2, \dots, l-1$ для каждого класса на различных сочетаниях признаков $j = 1, 2, \dots, C_q^k$, где C_q^k - число сочетаний из q по k , $k = 1, 2, \dots, q$), отбираются наиболее информативные их сочетания.

Статистический материал для решения задачи диагностики состояния РИ представляет собой множество состояний резцов для прецизионного точения, каждое из которых представлено в виде набора тринадцати признаков формы контуров зон износа задних поверхностей [1]: 1-кривизна контура (степень близости к окружности); 2-компактность контура; 3-форм-фактор (величина, обратная компактности); 4-радиус описанной окружности; 5-радиус вписанной окружности; 6-максимальная протяжённость вдоль горизонтальной оси; 7-максимальная протяжённость вдоль вертикальной оси; 8-длина верхней грани контура; 9-длина нижней грани контура; 10-площадь; 11-площадь описанного прямоугольника; 12-периметр контура зоны износа инструмента; 13-диаметр окружности, эквивалентной контуру по площади. После получения удовлетворительной точности распознавания по всем классам состояний РИ, достигнутой при рассмотрении комбинаций из четырёх признаков, дальнейший поиск решения прекращается.

В таблицах 1-3 представлены решения, удовлетворяющие условиям поиска. Они получены с использованием выражений (2)-(4) для различного количества диагностических признаков. Поиск информативных сочетаний признаков производится на наборах признаков для которых значения критерия (2) – (4) удовлетворяет условию:

$$F(P) > \max_j F(P_i^{(j)}) (1 - \varepsilon), \varepsilon > 0. \quad (5)$$

Это даёт возможность сравнения эффективности применения критериев (2)-(4) при автоматизации поиска наилучших решений.

Таблица 1

Результаты отбора наилучших решений по двум признакам в окрестности $\varepsilon = 3\%$

Крите- рий	Признаки состояний РИ	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	Значение критерия F(P)
(2)	2,9	94.23	94.73	93.75	100.00	100.00	96.54
	3,8	92.30	89.47	87.50	100.00	100.00	93.85
	3,9	94.23	94.73	93.75	100.00	100.00	96.54
	3,10	88.46	89.47	93.75	100.00	100.00	94.33
(3)	2,9	94.23	94.73	93.75	100.00	100.00	96.24
	3,9	94.23	94.73	93.75	100.00	100.00	96.24
	3,10	88.46	89.47	93.75	100.00	100.00	93.79
(4)	2,9	94.23	94.73	93.75	100.00	100.00	96.12
	3,9	94.23	94.73	93.75	100.00	100.00	96.12

Таблица 2

Результаты отбора наилучших решений по трем признакам в окрестности $\varepsilon = 1\%$

Крите- рий	Признаки состояний РИ	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	Значение критерия F(P)
(2)	1,2,7	98.07	92.10	96.87	100.00	100.00	97.41
	2,7,11	92.30	97.36	100.00	100.00	100.00	97.93
	7,8,10	92.30	94.73	100.00	100.00	100.00	97.40
(3)	2,7,11	92.30	97.36	100.00	100.00	100.00	97.56
	7,8,10	92.30	94.73	100.00	100.00	100.00	97.03
(4)	2,7,11	92.30	97.36	100.00	100.00	100.00	97.40

Таблица 3

Результаты отбора наилучших решений по четырем признакам в окрестности $\varepsilon = 0.5\%$

Крите- рий	Признаки состояний РИ	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	Значение критерия $F(P)$
(2)	1,2,6,7	96.15	97.36	100.00	100.00	100.00	98.70
	1,2,7,8	100.00	94.73	100.00	100.00	100.00	98.94
	1,2,7,13	98.07	94.73	100.00	100.00	100.00	98.56
	1,3,7,8	100.00	97.36	96.875	100.00	100.00	98.84
(3)	1,2,6,7	96.15	97.36	100.00	100.00	100.00	98.51
	1,2,7,8	100.00	94.73	100.00	100.00	100.00	98.68
	1,3,7,8	100.00	97.36	96.875	100.00	100.00	98.69
(4)	1,2,7,8	100.00	94.73	100.00	100.00	100.00	98.58
	1,3,7,8	100.00	97.36	96.875	100.00	100.00	98.63

Значение границы ε выбирается для каждой таблицы отдельно, исходя из соображений получения минимального числа решений, удовлетворяющих (5). Анализ таблиц 1-3 показал, что с помощью критериев (3) и (4) удаётся сократить количество приемлемых решений - по сравнению с аналогами, полученными по критерию (2). Максимальный эффект при поиске информативных наборов наступает от использования критерия (4). Указанное свидетельствует об эффективности применения целевых функций для решения поставленной задачи.

На основе отобранных информативных наборов диагностических признаков можно строить более эффективные системы диагностирования состояний РИ. Весьма эффективным средством построения таких систем становится теория нейронных сетей (НС) [4]. Ставилась цель построения НС для распознавания состояний РИ на основе использования в качестве обучающей выборки упомянутого выше множества состояний (каждое состояние РИ, согласно табл.4, описано набором признаков 1,3,7,8). Последовательно были построены три НС различной сложности. Первая НС представляет простейшую однослойную структуру. Количество нейронов в слое $k_1=50$. Вторая НС представляет собой более сложную структуру, состоящую из двух слоёв нейронов. Количество нейронов в первом слое НС $k_1=50$, во втором слое – $k_2=50$. Третья НС отличается от второй лишь увеличением количества нейронов в первом и

втором слое так, что $k_1=100$, $k_2=100$ соответственно в первом и втором слое. Обучение полученных НС производилось с использованием метода обратного распространения [4] при помощи набора инструментов NEURAL NETWORKS TOOLBOX в системе MATLAB 6.0. Для сравнения эффективности построенных НС результаты сравниваются с решением, полученным при помощи метода статистических решений [1]. Результаты решения задачи сведены в таблицу 4.

Таблица 4

Результаты диагностирования состояний РИ различными методами

Метод диагностирования РИ	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	Количество итераций
Метод стат. решений	100	97.36	96.875	100	100	-
НС, структура 1	90.38	98.07	92.30	92.30	94.23	400
НС, структура 2	96.15	98.07	96.15	98.07	98.07	600
НС, структура 3	100	100	100	100	100	1000

Приведенные результаты свидетельствуют о высокой эффективности применения аппарата НС для решения задач диагностирования и классификации. При использовании НС можно добиться более точного результата чем при работе со статистическими методами. Однако для достижения такой точности приходится строить сложные многослойные НС, что неизбежно увеличивает время обучения сети, уменьшает устойчивость сходимости сети при обучении, существенно повышает вычислительный объём.

Список литературы: 1. Деревянченко А.Г., Павленко В.Д., Андреев А.В. Диагностирование состояний режущих инструментов при прецизионной обработке.- Одесса: Астропринт, 1999.-184 с. 2. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов: Пер. с англ. — М.: Мир, 1978 — 411 с. 3. Пакет прикладных программ ОТЭКС (для анализа данных) / Н.Г. Загоруйко, В.Н. Ёлкина, С.В. Емельянов, Г.С. Лбов. — М.: Финансы и статистика, 1986. — 160 с. 4. Ф. Уоссермен, Нейрокомпьютерная техника, М., Мир, 1992.

Представлена докт. техн. наук Перепелицей Б.А.