音響計測によるブラシ砥石の稼働状態診断システム

福島 礼史*・斎藤 制海*・阿部 健一*

Acoustic Inspection for Working States of Burnishing Brush

Ayafumi FUKUSHIMA*, Osami SAITO* and Ken-ichi ABE*

This paper describes the acoustic inspection for working states of burnishing brush with the neural network. Here the two cases have been considered as the input data for neural network. One is the acoustic signals from brush and the other is their spectrum data.

Key Words: acoustic inspection, neural network, burnishing brush

1. 緒 言

FA における最近の計測技術は、位置、速度などの一物理量の計測にとどまらず、状況を判断できる、端的に言えば人間の五感に代わる計測といった一段高い技術が要求されるようになってきた。人間の五感のうちで FA 分野で特に必要なのは視覚、聴覚、触覚であるといわれている。視覚代行の研究としては画像処理や画像理解などがあり、これらはロボットアイなどにすでに実用化が進められている。また触覚に関しては圧電素子を利用した触覚付きハンドグリップなどの研究が進められている。これらに比べて人間の聴覚に代わる計測技術の研究¹⁾はまだそれほど多くなくこれからの研究テーマといえる。

本論文では、機械装置から発する音響信号から、ニューラルネットワーク²⁾を応用して装置の稼働状態を診断する音響計測システムについて報告する。

2. 装置とその音響信号

ここで対象とした装置は **Fig. 1** に示すブラシ砥石である。ブラシ砥石は、自動車の変速機ギヤなどプレス加工した機械部品のバリとりやエッジ研磨に用いられる。すなわち回転するブラシ状の砥石 B を A の送り出し装置でワーク（被研磨物体）に接触させ、ブラシ砥石を回転させながらワークを研磨する。このとき研磨を均一にするためにワークを載せたテーブル C も、

Fig. 1 Instrument of burnishing brush

B と偏心させながら回転させる。

ブラシ砥石の毛足のワークへの接触状態が良好だと良い研磨結果が得られるが、接触が弱いとバリが十分除去できなく、逆に接触が強すぎるとワークを傷つけてしまう。このようにワークと砥石の毛足の接触状態が仕上がりに大きく影響するのでその調整には十分注意を払う必要がある。現場では熟練工が A の送りだし量を研磨時に発する音や仕上がりぐあいを目視しながら初期調整し、数百個の研磨処理が行われると、毛足が磨耗するので再調整し、たえず最適な状態を保つようにしている。ここでは、これらの熟練工の音響信号によるブラシ砥石の稼働状態の判断を自動化し、ブラシ砥石の毛足の調整装置の全自動化を目指す。

Fig. 2 は実機から発する音響を集録した音響データである。このとき、マイクロフォンはブラシ接触部から約 30 cm の位置に配置した。(a) はブラシとワークが非接触の状態、モータの回転音などの背景音響であり、(b) は A の装置でブラシを送りだし、ワークと接触を開始しはじめた弱い接触状態、(c) は理想的な接触状態、(d) は過剰な接触状態である。以下、この時系列データを生データと呼ぶ。

Fig. 3 は **Fig. 2** の生データのサンプル値 1024 個 (20.48 ms 分) を用いて、DFT によりそのパワースペクトルを求めた結果である。これより各状態における音響信号の周波数上の特長が明らかである。たとえば非接触の場合は、低い周波数成分しか含まず、ブラ

* 豊橋技術科学大学 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

* Toyohashi University of Technology, Toyohashi
(Received September 13, 1990)

(Revised November 8, 1990)

Fig. 2 Acoustic signals from brush

シとワークが接触し始めると高い周波数成分が現れる。また理想接触や過剰接触の場合は比較的類似したパターンをもち、高い周波数もかなり大きい成分をもつ。

3. ニューラルネットワークによる判断

音響信号からブラシ砥石の稼働状態の判断は、階層型ネットワークで行うこととした。すなわち Fig. 2 の生データのパターン間の相違、または Fig. 3 のパワースペクトルの相違をニューラルネットワークで識別させようとするわけである。階層型ネットワークを用いたのは、ユニット間の重みパラメータが学習により容易に決定でき、ネットワークの構成に聴覚機能の先験的知識を必要としないからである。具体的には 255 ユニットからなる入力層、ユニット数可変の中間層、4 ユニットからなる出力層からなる 3 層ネットワークを用いた。まず生データによる識別能力について検討した。Fig. 2 の生データ 10.24 ms 分を周波数 25 kHz で 255 点サンプルし、直接入力層のユニットに順次入力した。中間層はユニット数を 20~100 個のあいだで可変とし、ユニット数と識別能力を比較検討し

Fig. 3 Power spectrums of signals

た。出力層の 4 ユニットにおいて第一ユニットが 1 他は 0 のとき、すなわち (1000) のとき非接触、(0100) のとき接触開始、(0010) のとき理想接触、(0001) のとき過剰接触と判断することにした。

ユニット間結合の重みの決定は、誤差逆伝播アルゴリズムを用いた。ブラシ砥石の接触状態を熟練工に確認してもらったうえで、各状態の音響信号を DAT に集録し、学習用およびテスト用データを準備した。

学習パターン数は各状態 150 個計 600 個使い、学習回数を 1,000 回から 10,000 回まで変化させた。このときのテストデータの識別能力を中間ユニット数を 20 個と 100 個にした場合について Fig. 4 に示した。なおテストデータによる識別の場合、出力層の状態は 1/0 を正確に取るわけではなく、四つのユニットのうち最大値をとるユニットを 1、他を 0 とした。

Fig. 4 よりわかるように、中間層のユニット数を増やせば識別能力は若干の改善を示すが、それでも 60 % 程度の識別能力しかなく実用的ではない。そこでつぎに Fig. 3 のパワースペクトルを識別パターンとして利用することとした。

まず、生データのサンプル値 1024 個を用い、DFT

Fig. 4 Discrimination results with acoustic signals

Fig. 5 Discrimination results with power spectrums

によりパワースペクトルを求める。ついで 12.5 kHz までの周波数成分を 255 点の代表点で求め、これを入力層の入力パターンとした。学習は上と同様誤差逆伝播アルゴリズムを用いた。Fig. 5 に中間層のユニット数を 20 個としたときの結果を、学習回数を横軸に、テストデータによる識別率を縦軸に、学習パターン数を $25 \times 4 = 100$ 個の場合と、 $150 \times 4 = 600$ 個の場合を示した。これより学習を十分行えば 97% の高い識別率を得ることができた。なお中間層のユニット数は種々変化させて調べたが、識別能力にそれほど差異はなく結果的に 20 個で十分であることがわかった。

Table 1 Discrimination results of each state (number of learning pattern $150 \times 4 = 600$, number of hidden unit 20, iteration 10000)

Test pattern	Discrimination results (%)			
	Non-touch	Light touch	Ideal touch	Heavy touch
Non-touch	99	1	0	0
Light touch	1	98	0	1
Ideal touch	0	0	97	3
Heavy touch	0	0	4	96

このときの各状態の識別率の内訳は Table 1 に示すとおりである。Table 1 からわかるように、理想接触を過剰接触、あるいはその逆に誤判断するケースがいくぶんみられるが、これは Fig. 3 からわかるように両者のパワースペクトルのパターンが似かよっていることから予想された事態である。以上パワースペクトルを入力パターンとすると DFT といった信号の前処理を必要とし、2 段階処理といった欠点はあるが実用的な結果を得ることができた。

4. 結 言

ニューラルネットワークを利用し、音響信号よりブラシ砥石の稼働状態を診断する方法について述べた。生データを直接入力とした場合は十分な識別能力を得ることはできなかったが、原信号を一旦 DFT によりパワースペクトルに変換し、それをニューラルネットワークに入力すれば高い識別率が得られた。

実用上の問題として、外乱雑音に対しても反応することである。ブラシ砥石が設置される場所は必ずしも音響環境のよいところではない。今後選択的に音響を捉える機能を検討する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 今井, 井口, 前川: アコースティック・インスペクション, 計測自動制御学会論文集, 23-5, 421/426 (1987)
- 2) 麻生英樹: ニューラルネットワーク情報処理, 産業図書 (1988)