

異常音検知によるモータの品質検査法

On the quality inspection of motors by detecting abnormal noise

南葉 宗弘†
Munehiro Namba

1. まえがき

機械部品を構成要素に含む製品には、作動時に音が発生する箇所が多く存在する。近年、あらゆる製品に対し静粛性への要求は高まっており、作動音の品質を高い水準で一定に保つことが重要となっている。とりわけ部品や構造等の不良が原因で異常な音が発生する製品は、製造時の検査によりの確に検出し、後の工程への流出を防がなくてはならない。従来、作動音が正常であるか異常であるかの判断は専門の作業者の聴感判定に委ねられていた。しかし環境や作業者間の基準の違いなどにバラツキが存在し、一定の品質を保つことが困難であるという問題があった[1-4]。

製品検査の一つに、作動時に発生する音の聴感試験がある。本報告は、モータ検査基準の厳格化を目的とし、音声識別の手法を用いて自動化する方法について検討する。通常の音声識別問題と比べ、正常音と異常音の区別がかなり曖昧であることや、あらかじめ用意できる異常音のサンプル数が少ないこと、さらには異常音の種類が多いといった点を考慮しなくてはならない。そこで提案法では、事例ベースのアルゴリズムを用いて正常音および異常音モデルを作成し、それらとの適合度を閾値処理することで異常音の検知を試みた。

2. 異常音の検知

2.1 音の発生要因

モータは回転軸とこれを取り囲む円筒状のパッケージで構成される。回転させるにはパルス状の信号をモータに送る制御が行われるため、正常なモータはスイッチのタイミングに応じた調和振動音を作動時に生じる。しかし、異物の混入や樹脂のバリなどが原因でモータ1回転毎に突発的なノイズが生じたり、ワッシャ不良や回転軸と軸受けとの干渉などによって定常的なノイズを生じたりすることがある。図1に正常音と異常音の波形の例を示す。この図のように、基本となる調和振動以外の成分が含まれているものを異常音と呼ぶ。

2.2 特徴解析

特定の帯域に異常音の特徴が現れる場合には、簡単なバンドパスフィルタを用いるだけで十分とされる[1]。ただし、単純なスペクトルでは時変的な特徴を平均化してしまうため、異常音の特徴が間欠的に現れるような場合には適さない。そこで時間波形の2乗平均処理を用い、音圧の時間変化をとらえることを試みた例がある[4]。し

かし間欠的ではあっても音圧変化の大きさがごく小さい異常音には適用することができない。本報告では、モータの安定作動時に発生する音がほぼ定常であることにもとづき、人間の音声認識の場合と同様、短時間スペクトルを特徴と取り扱うことにする。スペクトルを全極型モデルにあてはめることもできるが[3]、モータの場合、作動音の基本周波数をモータの回転数から導くことができるため、低中域帯の調和周波数の振幅スペクトル値を短時間フーリエ変換により求め、そのまま特徴として用いる。

2.3 識別法

異常音の検知では、

- ① 正常音と異常音の明確な区別が困難であり、かつ1つの音声データ中には正常音と異常音が混在する。
- ② 音の発生要因の数だけ異常音の種類が存在する。
- ③ あらかじめ用意できる異常音のサンプル数が少ない。

といった問題がある。①の問題から、識別器を教師付の学習によって構築することは極めて困難であることが分かる。音声データに正常/異常のラベル付けを施すことも難しい上に、音声中のどこが正常でどこが異常かを明確に指定することは事実上不可能に近い。②の問題はパラメトリックな音声モデルを用いることは適切でないことを示している。③の問題は識別器の学習に大量のデータを必要とするようなアルゴリズムを適用することができないことを意味し、②の問題と合わせて考えても、異常音データは特徴化したものをそのまま全数記憶してモデルとすることが望ましいと考える。

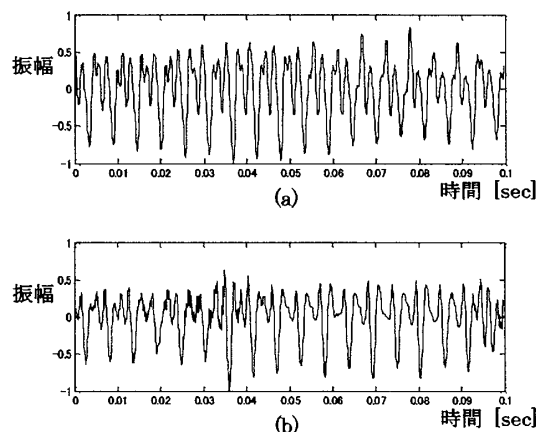


図1 音声波形の例：(a)正常音，(b)異常音

† 東京学芸大学 技術・情報科学講座 情報科学分野

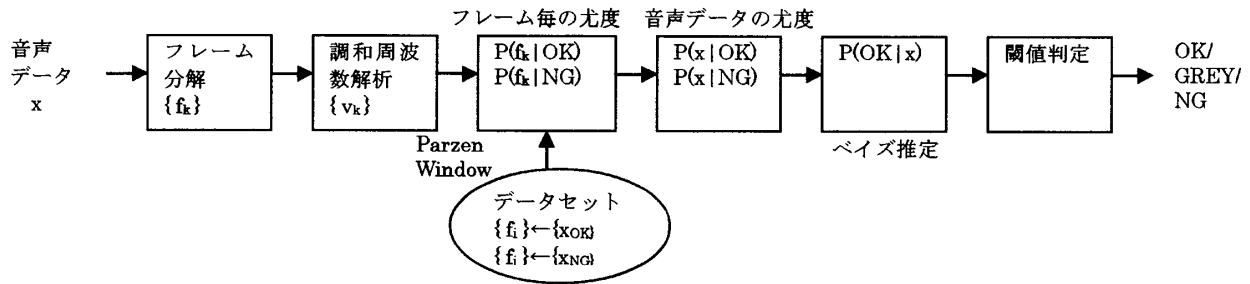


図2 異常音検出による検査システムの流れ

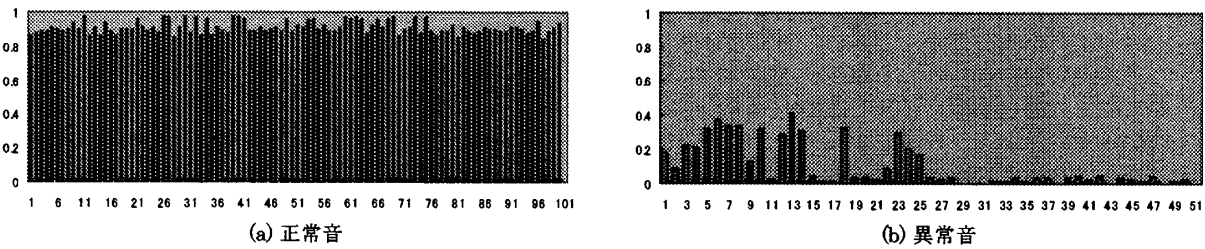


図3 提案システムによる実験結果 (縦軸は $P(OK|x)$ 値, 横軸は作動音データの番号)

図2に提案システムの流れを示す。短時間フレーム分解された音声データ x は、調和周波数解析により特徴ベクトル化される。その後、フレーム f_k が正常音である尤度 $P(f_k|OK)$ 、および異常音である尤度 $P(f_k|NG)$ を、それぞれの確率分布モデルより計算する。確率分布モデルはあらかじめ別に用意しておいた事例データセットにガウス関数型の Parzen 窓を適用して推定する。次にフレーム毎に計算した尤度を統合し、音声データ x が正常音である尤度 $P(x|OK)$ および異常音である尤度 $P(x|NG)$ を計算し、ベイズ推定により事後確率 $P(OK|x)$ を求める。最終的に、その値を閾値処理することにより、OK/GREY/NG (正常/不定/異常) のいずれかとして判別する。

3. 実験

3.1 実験データ

実験データに用いた音声は、同種モータの作動音を、マイクロフォンを用い、44.1k[Hz]サンプリング、16[bit]量子化でデジタル録音したものである。すべてのデータはあらかじめ人間の聴感判定によって正常音か異常音かにグループ分けがなされている。データ数は、正常音 100 サンプル、異常音 50 サンプルである。

3.2 結果

正常音 100 サンプルの内 25 サンプルと、異常音 50 サンプルの内 25 サンプルをシステム内の確率分布推定用データセットとして利用した場合の、提案システムによる実験結果を図3に示す。なお閾値の設定は 0.4 以下を NG, 0.4~0.6 の間を GREY, 0.6 以上が OK となるように設定した。図3(a)は正常音とグループ分けされたモータが、検査システムではどの程度正常と判断されたかを 0 から 1 の事後確率値 $P(OK|x)$ で表したグラフであり、(b)は異常音についてのグラフである。正常な作動音はすべて 0.8 以上の数値であるのに対し、異常な作動音はいずれも 0.5 以下の数

表1 検査結果

		提案システムによる判別		
		OK	GREY	NG
作業員判定	OK	100	0	0
	NG	0	1	49

値をとっていることが分かる。表1に示す検査結果の通り、人が行う聴感試験とほぼ同等の検査能力を実現できた。

4. まとめ

事例ベースの識別アルゴリズムを用いて異音検査を自動化する方法について検討を行った。従来、定量化の難しかった聴覚検査を定量的な指標で自動化できることが示された。今後、さらに多くの作動音声データを用いて検証を進める必要がある。

参考文献

- [1] H. Sugimoto and K. Fukada "Abnormal noise detector for gear units", J. Acoust. Soc. Am., vol. 82, pp.1856, 1987.
- [2] 武藤, 宮坂, "軸受け異常音デジタル解析システム ACOUS NAVI", NSK 技報, no. 674, pp. 27-30, 2002.
- [3] Z. Zhang and H. Kawabata, "Study of Detection Method of Abnormal Sound Using Cellular Neural Network", Trans. J. Soc. of Mechanical Engineers. C, vol. 69, no. 688, pp. 3207-3214, 2003.
- [4] 大瀧, 小管, 三譚, 植原, 藤江, "異音を定量的に検出する手法の開発", 富士通テン技報, vol. 23, no. 2, pp. 37-46, 2005.