

平成22年 6月18日現在

研究種目： 基盤研究 (C)
 研究期間： 2007 ~ 2009
 課題番号： 19560407
 研究課題名 (和文) 音響情報を用いた疲弊紙幣判別システムの構築
 研究課題名 (英文) Development of automatic fatigued bill classification system based on acoustic signal information
 研究代表者
 寺西 大 (TERANISHI MASARU)
 広島工業大学・情報学部・准教授
 研究者番号： 50237004

研究成果の概要 (和文)：

銀行設置のバンクマシンのための疲弊紙幣自動選別システムの開発を行った。バンクマシンの音響特徴を用いた疲弊紙幣の判別に自己組織化型ニューラルネットワークを用いることで、従来手法より高精度に疲弊紙幣の判別が可能となった。また、紙幣の疲弊度との相関情報に基づいて音響特徴の特徴選択を行うことで、特徴パターンの高精度化とサイズ削減が可能となり、疲弊札判別システムの性能をより実用的な水準に近づけた。

研究成果の概要 (英文)：

The study has developed and improved an automatic fatigued bill classification system for banking machines, based on acoustic signal information of passing bills. The classification resolution of fatigued bills is improved by introducing the fatigue level estimation method with the supervised self-organizing map. Furthermore, feature selection methods based on correlation information between fatigue levels and acoustic signal information of banking machines led the performance of the proposed method to practical level, by reducing classification time and improving classification accuracies of fatigue levels of bills.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

キーワード：計算機システム、信号処理、計測工学、自己組織化、ソフトコンピューティング

1. 研究開始当初の背景

市場に流通している紙幣のなかで、過度に疲弊した紙幣（以下疲弊札）は、ATM、CDなどの現金自動取り扱い装置の内部で破損して目詰まりを起こすことがあるため、これら

の装置の連続的運用の障害となっている。このため、銀行などでは流通紙幣から疲弊札の選別・回収が行われている。現在、この疲弊札選別作業は専ら手作業によっているために作業効率が悪く、疲弊札の自動選別装置の

開発が待ち望まれている。そこで、銀行内で使用されているバンクマシン（紙幣金種自動選別計数機）にこの疲弊札選別機能を付加する方向で研究開発が進められている。また、疲弊札の判断基準となる疲弊度合いは銀行毎に異なっているため、この疲弊札選別手法には、多段階の疲弊度判別機能ならびに、判別疲弊度の調整機能が求められる。

これまでに研究代表者は、バンクマシン内で発生する紙幣の通過音（以下では、紙幣音と記述する）に着目し、紙幣の疲弊による紙幣音の変化が、耳で聞き分けられるという事実から、音響信号情報を用いた疲弊札の判別手法を提案し、小規模の実測データを用いた基礎実験にて、提案手法の有効性を検証した。これまでの研究成果を進展させ、実用化レベルに到達するに当たっては、現在、下記のような解決すべき課題がある。

(1) 紙幣音響特徴量の明確化

これまでの研究より、紙幣音の判別には、紙幣音の時変周波数成分を基本とする特徴量が、また、特徴量の判別アルゴリズムにはテンプレートマッチングを用いる手法が有効であることが明らかとなった。しかし、少数サンプルを用いた基礎実験での正常判別率は約 90%であり、実用化レベルにはまだ到達していない。この原因として、紙幣音から算出した特徴量に、新札と疲弊札での類似部分が多く、判別基準が特徴量成分の一部成分の僅差に頼っていることが挙げられる。判別性能を改善するためには、新札と疲弊札でより明確な差違が現れる成分を持つ特徴量の算出方法を追求する必要がある。

(2) 判別性能の信頼性・再現性向上

上記(1)と関連して、判別性能の実用化レベルを保証するためには、市場流通紙幣を想定した大規模サンプルに対する識別性能の検証が不可欠となる。

(3) 判別疲弊度の多段階化・連続値化

銀行により異なる疲弊札の判断基準に対応するために、実用化される判別システムには、判別すべき疲弊札の調整機能が必要とされる。このために、判別疲弊度の多段階化が求められ、理想的には判別特徴量からの疲弊度の数値化について検討すべきである。

(4) 実時間処理を意識した判別アルゴリズムの確立

これまでに確立した特徴量の計算および判別アルゴリズムを組み込みシステムとして実装化する際には、判別完了までの処理を実時間で終える必要がある。そのためには、特徴量の計算時間と計算精度のトレードオフを見極める必要がある。

2. 研究の目的

本研究の目的は、研究代表者が提案する、バンクマシンの音響信号情報を用いた疲弊札

判別手法を実用化すべく、実時間稼働する疲弊紙幣判別システムを構築することにある。具体的には、研究期間内に、次の2点について明らかにした後、最終目的として、組み込み型疲弊札判別システムを構築する。

(1) 実時間処理を意識した判別アルゴリズムの確立

(2) 明確な紙幣音響特徴量の算出手法

研究期間前半にて、項(1)についての研究開発に取り組み、研究期間後半にて項(2)について検討を重ねて実時間判別アルゴリズムを確立するとともに、判別システム実機の製作と実用試験を目指す計画であった。

3. 研究の方法

(1) 教師あり自己組織化特徴マップ（教師あり SOM）を用いた音響特徴量による紙幣の疲弊度推定

研究目的(1)の達成に先立ち、紙幣の音響特徴量の判別アルゴリズムを見直し、新たに教師あり SOM を用いて、音響特徴量からの紙幣の疲弊度推定を提案する。音響特徴量の類似性に基づき、これらの自己組織化機能を持つ SOM に、あらかじめ測定された少数サンプル紙幣の数値疲弊度を教師データとして与え、音響特徴量と対応する疲弊度の関係の特徴マップに埋め込む。判別時には未知紙幣の音響特徴量に対応する特徴量ベクトルを特徴マップから選び出し、これに対応する疲弊度を取り出すことで紙幣の疲弊度判別を行う（図1）。判別アルゴリズムを疲弊度推定に切り替えることで、研究背景(3)で求められる「判別疲弊度の多段階化・連続値化」の実装化にも対応できる。

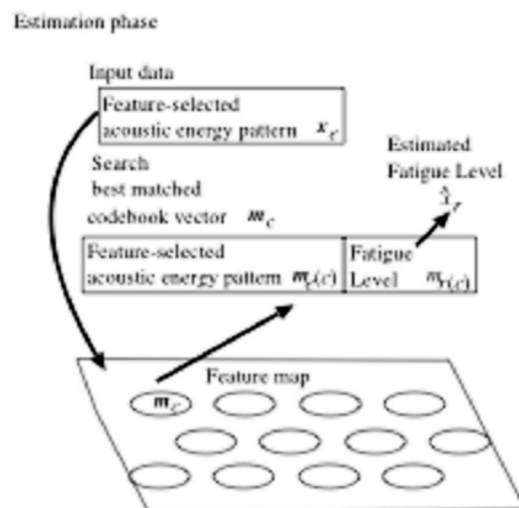


図1. 教師あり SOM による音響特徴量を用いた紙幣の疲弊度推定

(2) 紙幣疲弊度との相関情報に基づく音響特徴量の特徴選択

手法 (1) の有効性を基礎実験で確認した

後、研究目的(2)の達成のため、「明確な紙幣音響特徴量」の算出手法を探る。疲弊特徴の算出方法を、下記の2側面に関して探索する。

(1) 音響特徴量の「特徴選択」手法

(2) 各種特徴選択手法の組み合わせ

これらを実現するために、紙幣疲弊度と音響特徴量との相関情報(図2)に基づく特徴選択手法に着目し、有効な特徴選択アルゴリズムを探る。これと並行して、これまで疲弊札判別に有効とされてきた各種音響特徴量に、新たに提案する特徴選択手法を適用した際の判別性能の改善効果について検討する。

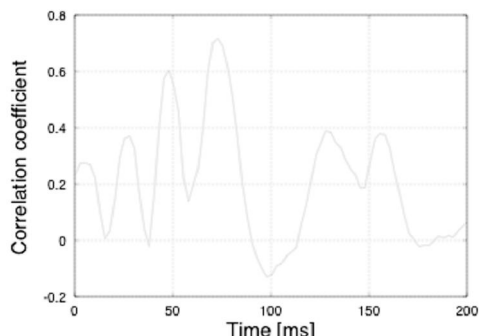


図2. 音響エネルギーパターンにおける紙幣疲弊度の相関関数

(3) バンクマシン音響信号の時変周波数特徴の導入

(2)で挙げた手法はいわば、「既存」の音響特徴量に対する「特徴選択」の有効性の検証である。これまでの研究では、疲弊紙幣判別に有効な音響特徴量は、音響エネルギーの「時間変化」をあらわす音響エネルギーパターンが主体であった。これに加えて、さらに有効性の高い音響特徴量を求めるために、この音響エネルギーパターンに「時変周波数成分」の導入を図る。具体的には、これまで全周波数帯域で算出していた音響エネルギーを帯域に分割して細分化し、上記の特徴選択手法にて疲弊度推定精度の向上を図る。

4. 研究成果

(1) 教師あり自己組織化特徴マップ(教師ありSOM)を用いた音響特徴量による紙幣の疲弊度推定

2007年度は、教師ありSOMによる音響特徴量からの紙幣の疲弊度推定法の確立に取り組んだ。音響特徴量として、これまでの研究で最も有効であった音響エネルギーパターンを使用して、図1の教師ありSOMによる疲弊度推定を試みた。実紙幣サンプルを用いた実験結果から、提案手法により、あらかじめ測定された10段階にわたる紙幣の疲弊度(図3横軸)の大小関係をおおよそ正しく推定(図3縦軸)でき、判別疲弊度を従来の3段階に比べて大きく改善できる可能性があることが明らかとなった。また、学習後の教師あり

SOMのコードブックベクトルは、従来の疲弊度判別用のテンプレートとしてそのまま使用できるため、判別の高速性を損なうことなく、実装化にも有効であり、研究目的(2)の達成に有望な手法であることが確認できた。ただし、①最小・最大疲弊度における過大・過小推定、および②推定誤差分散の大きさの改善が検討課題として残された。

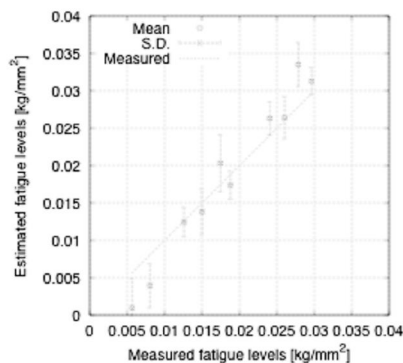


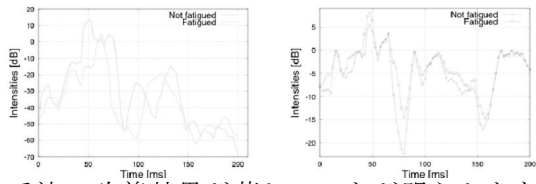
図3. 教師ありSOMを用いた、既知疲弊度紙幣(横軸)に対する実測音響データからの疲弊度推定(縦軸)性能

(2) 紙幣疲弊度との相関情報に基づく音響特徴量の特徴選択

2008～2009年度は、前年度確立した教師ありSOMを用いた音響エネルギーパターンからの紙幣疲弊度推定法に、疲弊度相関情報を用いた特徴選択手法を開発、導入した。前年度の検討課題の②の原因として、音響エネルギーパターンに含まれる、同一疲弊度を持つ紙幣の個体差が考えられた。そこで音響エネルギーパターンの各成分を、疲弊度との相関情報に基づいて選択することで、この個体差を吸収する。特徴選択手法として、疲弊度との低い相関を持つ成分を削除し、高相関成分のみを選択する手法(AEP-SHC)、およびエネルギー成分を相関値の大ききで重み付けする手法(AEP-CW)の2手法を提案し、疲弊度推定に適用した。

提案手法により音響エネルギーパターン(図4左)の特徴を選択した結果、高相関選択法(AEP-SHC)では音響エネルギーパターン成分のうち、疲弊度と無相関に近い成分が削減され、パターンサイズの縮小が図れた。また、相関重み付け法(AEP-CW)では(図4右)、重み付けにより同等疲弊度を持つ紙幣サンプルの個体差を吸収でき、疲弊度推定の誤差分散を減少させることで精度が改善されることが明らかとなった(図5)。提案した2種類の特徴選択手法を比較すると、相関重み付け法(AEP-CW)における疲弊度推定精度の改善効果の法が大きい結果となった。この実験結果より、特徴選択の方法としては、疲弊度と低い相関を持つパターン成分を、無相

関に近い成分として切り捨ててパターンサイズの削減を図るよりも、「相関の弱い部分」として重みつけて特徴として有効利用する



手法の改善効果が著しいことが明らかとなった。

図 4. 音響エネルギーパターンの一例 (左) と相関重み付けによる特徴選択結果 (AEP-CW) (右)

図 5. 特徴選択音響エネルギーパターンを用いた疲労度推定結果 (AEP-CW)

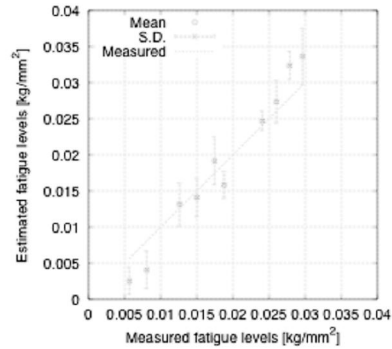
(3) バンクマシン音響信号の時変周波数特徴の導入

疲労度との相関情報に基づく特徴選択手法を用いることで、疲労度推定の高精度化が期待できることが明らかとなった。しかし、2008年度までの研究成果からは、研究の目的(1)および(2)の達成に近づいたとはいえ、実用試験に十分耐えうる疲労度推定性能を達成できたとは言いがたかった。特に課題であった時変周波数成分にもとづく音響特徴量の高信頼度化に関する検討が課題として残された。このため、2009年度では、さらなる明確な音響特徴量の計算手法の追求と、疲労度判別の高精度化に寄与できる特徴選択手法の有効性をさらに高めるべく、選択対象となる音響エネルギーパターンへの①「周波数成分特徴」の導入と、これに対する②特徴選択による疲労度推定の高精度化を試みた。

① 帯域音響エネルギーパターン(BEP)の計算

従来音響特徴として使用している音響エネルギーパターンは、周波数面から見ると、音響信号の全帯域の音響エネルギーを求めている(以降、従来の音響エネルギーパターンを「全域音響エネルギーパターン(AEP)」と記述する)。これを3帯域に分割して音響エネルギーパターンを求めることで、周波数ごとに異なる音響エネルギーの時間変化を特徴量として反映することができる(図6)。

② 帯域音響エネルギーパターンの特徴選択
求めた帯域音響エネルギーパターン成分についても、紙幣疲労度との高相関成分と低層完成成分が混在している。(2)の特徴選択法を適用して、「特徴選択帯域音響エネルギーパターン」を求めることにより、音響エネルギーの時間・周波数両方の成分に特徴選択が行え、全域音響エネルギーパターンにくらべて、より詳細で明確な音響特徴量を



生成できる。

③ 特徴選択法の組み合わせの試行

2008年度の研究成果より、提案した2種類の特徴選択手法(-SHC, -CW)については、相関情報の重み付け選択法(-CW)の効果が優位であったが、これら②手法を組み合わせた場合の効果についても検証する。すなわち、まず相関情報の重み付け(-CW)で特徴選択したのち、高相関成分のみを選択(-SHC)する、組み合わせ特徴選択手法(-SHCW)を帯域音響エネルギーパターン(BEP)に適用する。

この方針にもとづき、帯域音響エネルギーパターンの算出およびその特徴選択を行い、これを用いて疲労度推定を行った。実測データを用いた実験の結果、音響エネルギーの帯域化と特徴選択の相乗効果により、疲労度推定精度が順次改善されることが明らかとなった。特に、帯域音響エネルギーパターンに、疲労度相関の重み付けを行い、これらの高相関成分の選択に基づく特徴選択を適用した場合(BEP-SHCW)(図7)、疲労度推定精度の改善効果が最も顕著であった(図8)。

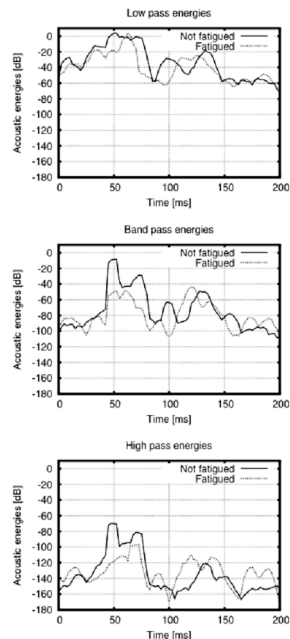


図 6. 帯域音響エネルギーパターンの一例:
(上) 低域エネルギー

(中) 中帯域エネルギー
(下) 高域エネルギー

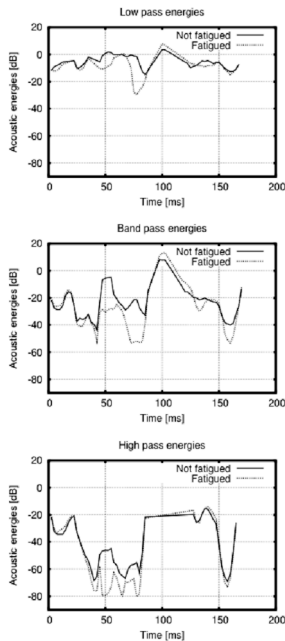


図 7. 特徴選択帯域音響エネルギーパターン (BEP-SHCW) の一例
(上) 低域エネルギー
(中) 中帯域エネルギー
(下) 高域エネルギー

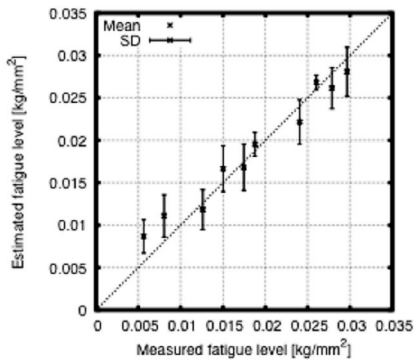


図 8. 特徴選択帯域音響エネルギーパターンを用いた疲労度推定結果 (BEP-SHCW)

以上の成果を国内外学会にて講演発表(19件)するとともに、論文(10編)にまとめ、掲載された。

(4) まとめと今後の展望

本研究で得られた成果は、研究目的であった「バンクマシンの音響信号情報を用いた疲労札判別手法の実用化」に対して、下記の点において実用化レベルに近づいたと言える。

①教師あり SOM を用いた紙幣疲労度推定法の導入により、判別可能な疲労度の分解能が向上し、疲労札判別精度が向上した。

②相関情報に基づく音響特徴量の特徴選択により、音響特徴に含まれる紙幣個体差、疲労と無関係な成分の吸収が可能となり、疲労度の推定誤差分散の減少の意味において、疲労札の判別精度を向上できた。

③「特徴選択帯域音響エネルギーパターン」を求めて、バンクマシン音響信号の時変周波数成分をもつ音響特徴量を使用した場合、従来の時間変化のみの音響エネルギーパターンに比べて高精度な疲労札判別が行えた。さらに特徴選択手法を適用することで、これら時変周波数成分を詳細に特徴選択でき、現段階で最も高精度な疲労札判別が行えた。

このように、研究期間内にて、疲労札判別のための最適音響特徴量、およびその有効な特徴選択法について新たな手法を提案・確立し、その有効性を明らかにすることができた。その反面、これらの手法のハードウェアへの実装については、準備段階にとどまり、十分成果が出たとは言い難い。今後は、ハードウェア実装に向けて、確立された音響特徴量の算出、特徴選択、さらにこれを用いた疲労紙幣の判別の実装方法について、処理速度と実用検証の面に重点を置いて検討を行う必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

① M. Teranishi, S. Omatu, T. Kosaka, Fatigue level estimation of monetary bills based on frequency band acoustic signals with feature selection by supervised SOM, Nonlinear Theory and Its Applications, 査読有、Vol. 1, 2010, 掲載決定

② M. Teranishi, S. Omatu, T. Kosaka, Continuous fatigue level estimation for the classification of fatigued bills based on an acoustic signal feature by a supervised SOM, Artificial Life and Robotics, 査読有、Vol. 13, No. 2, 2009, pp. 547-550

③ 寺西大、大松繁、小坂利壽、教師あり SOM を用いた紙幣音響特徴に基づく疲労度推定、電気学会論文誌 C 部門誌、査読有、128-C、No. 12、2008、pp. 1804-1810

[学会発表] (計 19 件)

① M. Teranishi, S. Omatu, T. Kosaka, Fatigue Level Estimation of Bill based on Feature-Selected Frequency

Band Acoustic Signal by using Supervised SOM, 9th WSEAS International Conference on APPLIED COMPUTER SCIENCE (ACS '09), 2009. 10. 18, Genoa, Italy

② M. Teranishi, S. Omatu, T. Kosaka, Fatigue Level Estimation of Bill Based on Feature-Selected Acoustic Energy Pattern by Using Supervised SOM, The Fifth International Conference on Soft Computing As Transdisciplinary Science and Technology (CSTST2008), 2008.10.30, Cergy-Pontoise, France

③ M. Teranishi, S. Omatu, T. Kosaka, Bending Rigidity Estimation for Classification of Fatigued Bill Based on Acoustic Energy Pattern by Supervised SOM, 2007 IEEE Three-Rivers Workshop on Soft Computing in Industrial Applications(SMCia/07), 2007.8.2, Passau, Germany

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺西 大 (TERANISHI MASARU)

研究者番号 : 50237004