

| | |
|---------|---|
| 氏名（本籍） | ふじのき けんすけ 藤ノ木 健介（三重県） |
| 学位の種類 | 博士（情報科学） |
| 学位記番号 | 甲第100号 |
| 学位授与年月日 | 平成25年3月22日 |
| 学位授与の要件 | 広島市立大学大学院学則第31条第2項及び学位規程第3条第2項の規定による |
| 学位論文題目 | Automated Sound Quality Evaluation with Multiscale Wavelet-Based Features（ウェーブレットのマルチスケール特徴量を用いた音質自動評価に関する研究） |
| 論文審査委員 | 主査 教授 石光俊介 副査 教授 小林康秀 副査 教授 生岩量久 副査 教授 章忠 |

論文内容の要旨

近年の工業製品においては、技術の発達により機能や品質が各メーカー間において同等性能を持つようになり、差別化されるべき機能が心地よさや高級感といった感性的なものに移行してきた。その中で、製品の品質イメージ向上や他社ブランドとの差別化の加速のために、音による付加価値が重要視されてきており、“製品らしい音”や“心地よい音”を設計するために必要となる音響指標およびその音質評価方法が注目されている。そのひとつとして、ボタン押し音の音響特性があげられる。一般に、音質の評価は主観評価と客観評価に大別できる。主観評価には、人間が音を聴いて実際にどのような印象を持つのかを調査する官能評価が広く用いられおり、人間の感性を利用していることから実際の感覚と適合する場合が多く、例えば自動車のドアの開閉音やエンジン音、ゴルフショット音などの工業製品の音質評価などに実際に用いられている。しかしながら、この評価方法は長時間に及ぶ聴感実験と多くの被験者を必要とし、実験コストと被験者への負担が高いことが問題となっている。また、人間が音を聴取した際に感じる印象には個人差が大きくばらつきがあることが知られており、評価者の好みの影響が実験結果に情緒レベルで反映されている場合もあり、評価基準の曖昧さも含まれていると考えられる。そこで、客観的かつ視覚的に音質を評価できる指標が求められるようになってきている。

従来の音質評価の客観的な解析法として、フーリエ変換による周波数解析や人間の心理量を反映した心理音響指標が広く使われてきたが、これらは定常音を前提とした解析方法であり、ボタン押し音のような非定常音に対しては必ずしも有効ではないという問題がある。そこで我々は先行研究において、カーオーディオ・メインユニットから得られたボタン押し音を、非定常音にも有効な連続ウェーブレット変換により時間周波数平面上で可視化を行った。また、

その解析結果を Semantic Differential (SD) 法によって評価した聴感実験の結果と照らし合わせ、音の物理特性とそれに対応する聴感印象の間にいくつかの関連性を見出した。

本論文では、音質評価実験の負担を軽減するために、ボタン押し音などの非定常音に対する客観音質評価の自動化について検討した。具体的にはボタン押し音の物理特性とその印象に対する関連性を利用し、ボタン押し音の特徴量と主観評価結果を用いて機械的に対応付けを行う音質評価方法を提案した。まずは連続ウェーブレット変換により時間周波数平面で可視化されたボタン押し音から、提案する3角形双直交ウェーブレットを用いてスケール情報を含む特徴量を抽出した。3角形双直交ウェーブレットは、固体物理学の結晶構造の定式化を利用した従来の1次元ウェーブレットの直接的な一般化として構成される非分離型の2次元ウェーブレットである。従来のウェーブレット解析では不可能であった信号の概形を等方的にマルチスケール表現することが可能ならぬに、構造が簡単で極めて扱いやすいという利点を持ち、この性質は信号のエッジを抽出する際に有利である。本研究では、よりエッジ検出性能に優れた3角形双直交ウェーブレットの新たな構成法を提案し、時間周波数平面でのボタン押し音に適用することで、その概形の特徴を良好に捉えたマルチスケール特徴量を抽出することに成功した。次に特徴量を簡略化するために、特徴量の低次元化を行った。その結果得られたウェーブレットによるマルチスケール特徴量は、累積音圧と残響特性の音響情報を含む1次元波形であり、ボタン押し音の時間軸上でのグローバルな概形を表現しつつ、振幅のピークから生じるテール状の局所的な音響特性も捉えている。

さらに、SD法による聴感印象と得られた特徴量とを関連付け、簡易的な認識評価実験を行うことで音質評価の自動化について検討した。本実験は、33種類の異なるボタン音の特徴量に対して、参照音と入力ボタン音の類似度を比較するものであり、認識率の評価にはSSD (Sum of Squared Difference) とDP (Dynamic Programming) マッチングを用いた。特徴量のスケールは、高スケールと低スケールのそれぞれ2種類を設定した。参照音はSD法による「好き嫌い」の主観評価において、最も得点が高いボタン音と低いボタン音、及び中間のボタン音を参照音とした。各参照音と他の32種類のボタン音に対して上記2種類の評価尺度で認識評価実験を行ったところ、いずれの参照音の場合においても特徴量を用いない場合より高い認識率が得られた。さらに、低スケールの簡略化された特徴量の場合に最も良好な認識結果が得られた。また、SSDとDPマッチングについて認識精度を比較した結果、DPマッチングを用いた場合の方が優れた認識結果が得られた。

以上の結果より、低スケールの簡略化された特徴量を用いた場合でも十分な認識結果が得られたことから、ウェーブレットによるマルチスケール特徴量を用いた本手法による音質評価の自動化の有効性が示唆された。また、本手法はボタン押し音に特化した評価方法ではなく非定常音を対象としていることから、自動車のドアの開閉音やエンジン音、ゴルフショット音、カメラのシャッター音などの他の非定常音にも広く適用できると予想され、工業製品の品質の更なる向上に寄与するものと期待される。

論文審査の結果の要旨

平成25年1月31日午後1時から2時30分まで博士学位論文発表会（公聴会）を開催した。学内外の14名が聴講した。申請者が論文内容について説明を行い、その後、論文内容に関する質疑応答を行った。

本論文は、音質評価実験の負担軽減のため、申請者が提案した新しいウェーブレット解析手法を用いたボタン押し音などの非定常音に対する客観音質評価の自動化について有用な検討がまとめられていた。その新しい手法とは申請者が提案した2次元ウェーブレット基底である3角形直交ウェーブレットである。これは日本発の最初の2次元直交ウェーブレットである。この手法は従来のウェーブレット解析では不可能であった信号の概形を等方的にマルチスケール表現することが可能ならぬに、構造が簡単で極めて扱いやすいという利点を持つ。本論文では連続ウェーブレット変換により可視化されたボタン押し音から、提案手法を用いて特徴を良好に捉えたマルチスケール特徴量を抽出し、さらに特徴量の低次元化を行っている。さらに、SD法による聴感印象と得られた特徴量とを関連付け、簡易的な認識評価実験を行うことで音質評価の自動化について検討し、その有効性を明らかにしている。また、本手法はボタン押し音に特化した評価方法ではなく非定常音を対象としていることから、自動車のドアの開閉音やエンジン音、ゴルフショット音、カメラのシャッター音などの他の非定常音にも広く適用できると予想され、工業製品の品質の更なる向上に寄与するものと期待される。手法の斬新さとその応用の有用性から優れた論文と判断できる。

以上により博士論文としては十分な内容であると判断された。本論文の主な成果は、*Journal of Signal Processing*, *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, *EURASIP*, *ICICEL*に7件の査読付き論文を発表したほか、査読付き国際会議9件などにも公表済みである。以上により審査委員会は論文審査を合格とした。