

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：51101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350352

研究課題名(和文)新しい適応アルゴリズムを用いた民俗芸能演奏のIT化とその普及・継承

研究課題名(英文)Analyses of musical signals of traditional folk entertainment using LMS-based Fourier analyzer and succession of traditions

研究代表者

工藤 憲昌(Kudoh, Norimasa)

八戸工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：40270194

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：演奏音を分析する際の2つの課題，1)近接する音の漏れ込みが発生すること，2)オクターブ間の音の漏れ込みが発生すること，に対処するため，LMS(最小平均2乗)アルゴリズムに時変性と周波数変動の耐性を取り入れた方法を計算機シミュレーションにより検討し，御神楽等の演奏音の採譜処理を行って基本的な性能を確認した．次に，御神楽等の分析を行いその判定結果を広く普及しているMIDIファイルへ変換するシステムを開発した．このシステムには，演奏音が誤ったことを検出する機能がつけている．これにより，共通の楽譜が存在しない神楽の伝承の1つのツールを開発できたと考えている．

研究成果の概要(英文)：There are two problems as musical signals are analyzed: (1) Each estimated amplitude is influenced from adjacent notes; (2) Each estimated amplitude is influenced from the same notes on the different octaves. An LMS-based Fourier Analyzer, which can accommodate time-varying signals and frequency vibrated signals, are investigated in order to cope with these problems. Its performance is fundamentally verified by transcription of Kagura musical signals. And then, the transformation system, from analyzed data of musical signals to the widely used MIDI (Musical Instrument Digital Interface) format, is developed. Transcription system has also function to detect mistakes of musical performance. We concluded that we could develop one of helpful tools for succeeding Kagura folk entertainment.

研究分野：計測工学

キーワード：計測工学 自動採譜 情報システム 教育工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 御神楽や祭りの時の囃子など、民俗芸能の演奏者の高齢化が進み、その伝承が危ぶまれてきているため、後継者が御神楽などを練習しやすい環境の整備やツールの開発が強く望まれていた。

(2) 通常平均 2 乗誤差最小化 (LMS) 算法は少ない演算量という優れた性質を持つが、調整できるパラメータがステップサイズ  $\mu$  1 つであるため、楽音処理の要件である即応性と耐雑音性を同時に満たすことはできなかった。また、演奏音を分析する際の 2 つの課題、1) 近接する音の漏れ込みが発生すること、2) オクターブ間の音の漏れ込みが発生すること、に対処する必要があった。

(3) 演奏速度の変更や種々の編集・加工ができる MIDI (Musical Instrument Digital Interface) ファイル形式は洋楽を中心に広く用いられているが、神楽で扱う場合には音階の違いやテンポ等の調整が必要であり一般の方が使用するのには難しかった。また、練習システムとしては誤った演奏を指摘する機能が必要であるが、神楽音についてこのようなものがないと考えられた。

2. 研究の目的

(1) 御神楽や祭りの時の囃子など、民俗芸能の演奏者の高齢化が進み、その伝承が危ぶまれてきているため、後継者が御神楽などを練習しやすい環境の整備やツールの開発が強く望まれていた。本研究では、少ない演算量という優れた性質を持つ LMS アルゴリズムに、楽音の処理が可能のように、即応性、耐雑音性、周波数変動への耐性を付加したアルゴリズムを検討する。

(2) 演奏音を分析する際の 2 つの課題、1) 近接する音の漏れ込みが発生すること、2) オクターブ間の音の漏れ込みが発生すること、に対処する必要がある。これらの漏れ込みを低減する方法を検討し、MIDI ファイルに変換するシステムを開発する。ここでは、神楽を扱えるよう自動的に音階の調整 (ピッチベント)、テンポ等の調整を行なう。また、練習システムに誤った演奏を指摘する機能を設ける。

3. 研究の方法

(1) 研究の目的で述べたように、本研究では、少ない演算量という優れた性質をもつ LMS アルゴリズムに、即応性と周波数変動に耐性を付加したアルゴリズムを検討する。まず、演奏音を分析する際の 2 つの課題、1) 近接する音の漏れ込みが発生すること、2) オクターブ間の音の漏れ込みが発生すること、に対処するため、LMS アルゴリズムに時変性と周波数変動の耐性を取り入れた方法を検討し、これらの基本性能について、計算機シミュレ-

ションと主に周波数領域からの理論解析により確認する。

(2) 研究の方法 (1) で検討した方法を用いて御神楽等の実際の演奏音を分析し、自動的に音階の調整 (ピッチベント)、テンポ等の調整を行なって MIDI ファイルへ変換するシステムを構築する。なお、神楽笛の音階は大まかに FFT 分析しその後国際会議 ICSP2010 で発表した方法を用いて詳細に求めた。また、実際の演奏では、笛などで、ある音から異なる音へ移行する際に、笛の穴の押さえ方が不十分であるために規定外の音が発生するなどの問題点があるため、これら実演奏に伴う対処や方式上の改良点について検討する。

(3) 上述した対処や方式上の改良点に加え、音楽的な知識を取り込んだエージェントプログラムを作成する予定である。また、演奏を支援するツール (横笛の場合、穴の押さえなどの情報を計算機に取り込み正誤判定を行う) を作成する。さらに、実際に、既に要望されている地元 (八戸市内の浜市川地区) の御神楽保存会の方に、この MIDI ファイルを使ってもらい改良点等の意見を反映させる。

4. 研究成果

(1) LMS アルゴリズムに時変性と周波数変動の耐性を取り入れた方法を検討した。ここでは、時変な離散フーリエ係数を求める適応型フーリエアナライザについて述べる。分析対象の信号  $x(n)$  は、式 (1) に示すように  $p$  個の角周波数  $\omega_i (i=1 \sim p)$  の正弦波と分散  $\sigma^2_\phi$ 、平均ゼロのガウス性白色雑音  $\phi(n)$  の和から構成される。

$$x(n) = \sum_{i=1}^p \{a_i(n) \cos \omega_i n + b_i(n) \sin \omega_i n\} + \phi(n) \quad (1)$$

ここで、 $n$  は時間指標であり、 $\omega_i$  は任意の角周波数である。ここで、角周波数と  $p$  についての事前の情報は得られているものとする。式 (1) の正弦波の振幅、 $a_i(n)$  は式 (2) でモデル化されるように時変とする。適応型フーリエアナライザの目的は、 $a_i(n)$  を短い追従時間でより正確に推定することである。 $b_i(n)$  も同様である。

$$a_i(n) = a_i + \alpha_i n \quad (2)$$

上記のように、時間  $t$  の 1 次の関数であるため制御ループの中に  $(1 - z^{-1})^{-2}$  の関数を導入すればよい。具体的には、推定値  $\hat{a}_i(n)$  は以下のように更新される。なお、 $\mu$  は適応の速度を決めるステップサイズで正の小さな値であり、 $\gamma$  は安定性を確保するために 1 未満の正の値である。 $\hat{b}_i(n)$  も同様である。

$$\hat{a}_i(n+1) = (1 + \gamma) \hat{a}_i(n) - \gamma \hat{a}_i(n+1) + \mu \epsilon(n) \cos \omega_i n \quad (3)$$

これらを用いて $x(n)$ の推定値 $\hat{x}(n)$ は以下のよう求められる。

$$\hat{x}(n) = \sum_{i=1}^p \{\hat{a}_i(n) \cos \omega_i n + \hat{b}_i(n) \sin \omega_i n\} \quad (4)$$

また、推定誤差 $e(n)$ は $e(n) = x(n) - \hat{x}(n)$ により求める。次に、研究成果(1)の周波数特性について述べる。頁数の制約から周波数成分数 $p$ が1の場合の結果のみ図1に示す(通常のLMSと検討した方法の比較)。通常のLMSと比較して、検討した方法は、帯域幅が広く(つまり周波数変動に強く、かつ、即応性があり)、中心帯域以外の減衰量大きいことが分かる。

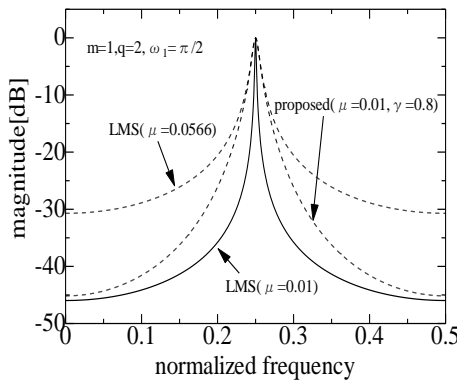


図1 振幅特性の比較(p=1)

(2) 研究成果の(1)で示したように、適応型フーリエアナライザはBPF(帯域通過)特性を有し、他の周波数では完全にヌル特性ではないため、推定対象の音高と隣接する音高が存在する時、その隣接音高の影響を受けて誤検出につながる。この隣接音高からの干渉を漏れ込みと呼び、漏れ込みを除去する必要がある。隣接音高の周波数は既知であるため、推定対象の音高の振幅を推定する際に隣接音高の振幅も同時に推定し、その振幅を破棄して推定対象の音高の振幅のみを採用することで漏れ込みを低減できる。図2に漏れ込みを除去する方法の振幅特性を示す。推定対象の音高の周波数付近のみを通過させ、隣接音

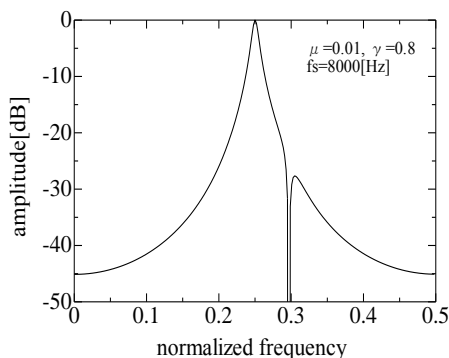


図2 干渉除去後の振幅特性

高の周波数成分は除去できていることが分かる。実際には、隣接する音階の周波数全てに対してこの処理を行う。

(3) 演奏音の分析結果を基にMIDIファイルを作成し、市販の自動採譜ソフトを用いて楽譜化を行った。神楽笛の持つ各音高の基本周波数は洋楽の平均律に従っていないため、ノートナンバーについては神楽笛の持つ各音の基本周波数に最も近い値を設定した。表1に、各音高の持つ基本周波数に対応するノートナンバーを示す。

表1 基本周波数とノートナンバーの対応表

音高	基本周波数[Hz]	ノートNO.
No.1	687.56	77
No.2	848.39	80
No.3	991.17	83
No.4	1057.05	84
No.5	1246.18	88
No.6	1373.69	89
No.7	1688.59	92
No.8	1968.06	95

演奏情報として最低限必要なのは、テンポ、拍子、どの音階を発音・消音するか、音の長さである。音階と音の長さは振幅推定から得ることができる。神楽の演奏はテンポが一定でないため、全体の平均時間を実測し、120BPM(Beats Per Minute)に固定した。拍子に関しても不明であるため、一般によく用いられる4/4を採用した。図3に本システムで採譜した神楽の楽譜の一部を示す。今回の分析では約7分ある演奏のうち、最初23秒の採譜結果を図3に示す。この楽譜を実際にコンピュータで類似した音源を用いて演奏させ、それを聴いたところ、ほぼ神楽の演奏を再現できているということを確認できた。楽譜にする際に既存の市販のソフトウェアを用いている制約から小節内のテンポを一定にする必要があり、神楽笛にも関わらず、非常に短い音に対しては同時に演奏されているように(和音)表示されている部分がある。この点は、テンポの変化を推定することで改善が必要である。

また、本システムでは、楽音信号とその推定のそれぞれの電力を比較することにより、演奏中のミスを発見することができる。



図3 本システムによって得られた  
神楽の楽譜

(4) 支援ツールの概要を示す. MIDI化したファイルはテンポが自由に設定できるため, 練習の時に, 遅く演奏するようにすれば, 慣れていない方も練習できる. しかも, 演奏ミス指摘する機能も持たせている. このため, 当初, 適応型フーリエアナライザにより分析したMIDIの結果と楽譜があれば演奏支援になると考えていた.

しかし, 八戸市浜市川神楽の練習風景を見学させていただいたところ, 年配の方の口伝の指導のもと, 小中学生が演奏していた. このため, 練習の初期段階においても演奏の練習が効率的に進むよう, MIDIファイル, 楽譜の他に, 実時間で笛の穴のふさぎ方を示すようなGUI(Graphical User Interface)を開発することにした. 図4に支援ツールのGUIを示す. 現在, GUI単体の開発を終え, 適応アルゴリズムにより神楽音分析結果とのインタフェースを開発しているところである. 今後, 練習に使用していただき, 改善を図っていく予定である.

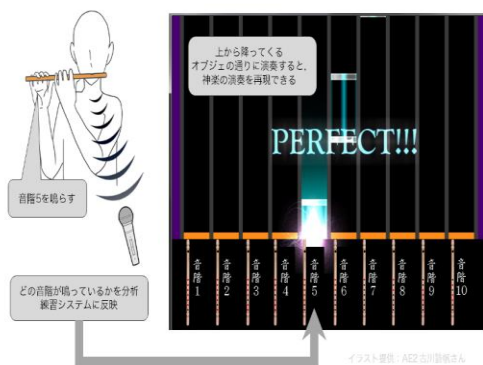


図4 支援システムのGUIの概要

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 工藤憲昌, 釜谷博行, 田所嘉昭, 「適応型フーリエアナライザの定常特性」八戸工業高等専門学校紀要, 第49号, pp23-25(2014年12月)
- ② 工藤憲昌, 石橋諭, 渡部裕貴, 釜谷博行, 田所嘉昭, 「適応型フーリエアナライザを用いた神楽音分析」八戸工業高等専門学校紀要, 第50号, pp1-5(2015年12月)
- ③ 工藤憲昌, 石橋諭, 釜谷博行, 田所嘉昭, 「適応型フーリエアナライザを用いた神楽の伝承支援ツールの一試み」八戸工業高等専門学校紀要, 第51号, pp1-3(2016年12月)

〔学会発表〕(計8件)

- ① 工藤憲昌, 釜谷博行, 田所嘉昭, 「適応型フーリエアナライザの推定特性に関する検討」計測自動制御学会東北支部50周年記念学術講演会講演論文集C205, pp.1-4, (2014年12月)
- ② 石橋諭, 工藤憲昌, 田所嘉昭, 「LMSフーリエアナライザを用いた楽音の分析」計測自動制御学会東北支部第295回研究集会 295-5,1-4 (2015年6月)
- ③ Satoru Ishibashi, Norimasa Kudoh and Yoshiaki Tadokoro, “Analyses of musical signals using an LMS-based Fourier analyzer”, 平成27年度電気関係学会東北支部大会 講演論文集 2A10 (2015年8月)
- ④ 石橋諭, 工藤憲昌, 田所嘉昭, 「LMSフーリエアナライザを用いた神楽音の分析」計測自動制御学会東北支部第302回研究集会 302-3,1-5 (2016年6月)
- ⑤ Satoru Ishibashi, Norimasa Kudoh, and Yoshiaki Tadokoro, “Analyses of Kagura musical signals using LMS-based Fourier analyzer”, 平成28年度電気関係学会東北支部大会 講演論文集 2E10 (2016年8月)
- ⑥ 工藤憲昌, 石橋諭, 釜谷博行, 田所嘉昭, 「LMS型フーリエアナライザを用いた神楽音の分析」, H28年電気学会電子・情報・システム部門全国大会講演予稿集GS10-3, pp1-5 (2016年9月)
- ⑦ Kosei Narita, Norimasa Kudoh, Hiroyuki Kamaya, and Yoshiaki Tadokoro, “A Study on an ANC System Using Narrow-Band Signals”, CD-ROM Proceedings of IEEE TENCON2016, pp.1-4, Singapore (2016年11月)
- ⑧ Satoru Ishibashi, Norimasa Kudoh, Hiroyuki Kamaya, Yoshiaki Tadokoro, “Analyses of Kagura musical signals

using LMS-based Fourier analyzer” ,  
CD-ROM Proceedings of IEEE  
TENCON2016, pp.1-4, Singapore (2016  
年 11 月)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

工藤 憲昌 (KUDOH Norimasa)

八戸工業高等専門学校・産業システム工学  
科 電気情報工学コース・教授

研究者番号 : 40270194

### (2) 研究分担者

釜谷 博行 (KAMAYA Hiroyuki)

八戸工業高等専門学校・産業システム工学  
科 電気情報工学コース・教授

研究者番号 : 70224657