

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：32682

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870629

研究課題名(和文) 老人性難聴のためのスペクトル変換

研究課題名(英文) Spectrum conversion for presbycusis

研究代表者

村上 隆啓 (Murakami, Takahiro)

明治大学・理工学部・講師

研究者番号：50409463

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：老人性難聴によって起きる聴覚における感度の低下では、音に含まれる高い周波数成分に対しての感度に著しい低下がみられることが知られている。本研究では、音に含まれる高周波数成分を比較的感度がよい低周波数帯域へ移動するスペクトル変換技術の性能改善を目指し、そのために必要となる要素技術の開発を行った。その結果、スペクトル変換技術の性能改善に必要な音の特徴量を推定するために重要なパラメータの決定法の導出に成功した。また、従来のスペクトル推定法では利用できる窓関数に制限があった問題に対して、スペクトル推定法の一般化を行うことで窓関数に関する制限の緩和に成功した。

研究成果の概要(英文)：In presbycusis (or age-related hearing loss), it is known that hearing loss at relatively high frequency bands is noticeable in comparison with that at low frequency bands. This KAKENHI project is aimed to improve the performance of the conventional spectrum conversion that is a technology for moving the high frequency components of a sound signal to the low frequency bands. For such a purpose, an algorithm for determining a parameter that is necessary to improve the performance of the spectrum conversion has been developed. In addition, the conventional method for estimating spectra has been generalized and consequently a limitation of window functions, which was intrinsic in the conventional algorithm, has been removed.

研究分野：複合領域

キーワード：老人性難聴 スペクトル変換 話速変換 信号の開始点 CRLB Sliding DFT 補聴器

1. 研究開始当初の背景

年齢にともなって現れる聴覚の衰えは老人性難聴とよばれ、感度の低下、ダイナミックレンジの低下、周波数分解能の低下、時間分解能の低下をもたらす。日常生活では、老人性難聴が原因となってコミュニケーションに支障が出ることもしばしばである。老人性難聴によって衰えた聴力を補填するためには、補聴器を用いることが一般的である。しかし、現在の補聴器は、デジタル技術の発達によって個々の使用者に合わせた調整が細かく行えるようになりつつある現在でも、老人性難聴者が満足して使用しているとは言い難い。

老人性難聴用補聴器の性能が大きくは改善されない原因の1つに、老人性難聴では感度の低下およびダイナミックレンジの低下が同時に起きていることが挙げられる。補聴器は、基本的には聴覚において低下した感度の分だけ音量を増幅する装置である。老人性難聴でも、感度の低下分だけ音量を増幅すればよいように思えるが、ダイナミックレンジの低下が同時に起きているため、大幅な音量の増幅が行えない。つまり、老人性難聴では小さい音量の音は聞こえないが、うるさいくらい大きい音量の音は従来通りにうるさく聞こえ、音量の増幅には制限が発生するのである。

一方、老人性難聴では、感度の低下は高周波数帯域で顕著であり、低周波数帯域では比較的感度の低下が小さい、という特徴が見られる。そこで、音に含まれる高周波数成分を、比較的感度が良好な低周波数帯域へ移動させるスペクトル変換とよばれる技術が注目されており、実際に補聴器にこの技術を実装した製品も市販されるようになった。ところが、そのような補聴器の使用者からは劇的な性能改善がみられたとの声が聞こえてこない。この原因の1つに、現在のスペクトル変換技術では大幅なスペクトルの変換によって音に歪みが生じるため、小規模なスペクトル変換しか行っていない点が考えられる。そのため、スペクトル変換によって補聴器の性能の改善を実感できるようにするためには、変換によって生じる波形の歪みの抑制が必要不可欠である。

2. 研究の目的

本研究では、最初に以下の3点に焦点を当てた。

- (a) スペクトル変換によって生じる波形の歪みを低減するアルゴリズムを開発する。
- (b) スペクトル変換の許容範囲を調査する。
- (c) リアルタイム処理を想定して、計算量を削減する。

これらを目的として研究を開始したところ、上記(a)において、従来法で行う前処理の性能が、音の特徴の変化のタイミングに依存していることが明らかとなった。この前処理では、音を各周波数成分に分解しており、

このときに離散フーリエ変換(DFT)を一定間隔で適用する短時間フーリエ変換(STFT)を用いる。このSTFTにおいてDFTを適用するタイミングと音の特徴が変化するタイミングが、前処理の性能に大きく影響するのである。この点をふまえて、本研究の目的を以下の3点に再構成した。

- (1) DFTを適用するタイミングと音の特徴が変化するタイミングの関係を明らかにする。
- (2) 音の特徴の変化を的確にとらえるために、音の特徴を表すパラメータの効果的な推定法を開発する。
- (3) 計算量を削減する。

3. 研究の方法

本研究は、以下の3種類の方法によって遂行した。

(1) 音の特徴の中で、特にSTFTの性能に大きな影響を与えると考えられる「音の開始点」の変化と、STFTによって得られるスペクトルの変化の関係を、厳密なモデリングによって明らかにする。

(2) 上記(1)の成果をもとに、音の開始点を推定するアルゴリズムを開発する。また、音の特徴を推定するアルゴリズムにおいて必要となる様々なパラメータについて、パラメータの値と推定性能の関係を明らかにする。

(3) STFTに用いられるDFTの計算量削減方法として知られているsliding DFTを応用する。

4. 研究成果

(1) DFTを適用する有限長のフレームにおいて音が開始されたとき、そのフレームには音が開始される前の無音区間と音が開始された後の音声区間が混在する。そのため、そのままDFTを適用すると、音の開始点を含まない音声と比較してスペクトルが変化する。そこで、音の開始点を含むフレームにおける観測信号を、開始点を含まない周期信号と矩形窓との積でモデリングした(図1参照)。そして、このDFTが両者のDFTのたたみ込みで表せることを利用して、スペクトルを求めた。

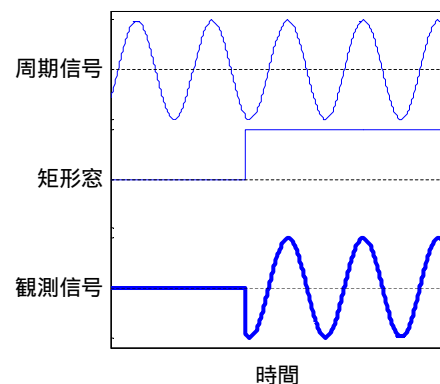


図1: 開始点を含んだ信号のモデル

(2) 上記(1)のモデルにもとづいて、開始点を含んだ信号のDFTの中に、信号の開始点を表すパラメータが含まれることを確認した。そして、DFTによって得られる振幅スペクトルから、最小2乗誤差を利用して信号の開始点を推定するアルゴリズムを提案した。シミュレーションによって、周期信号が単一の正弦波の場合および調波構造を持つ場合の両方において、効果的に信号の開始点を推定できることを示した。

信号の開始点に代表される信号のパラメータを推定するときは、できるだけ多くの標本を観測できた方が推定の精度が改善される。一方、多くの標本を得るために長い時間の観測を行うと、音のように非定常性が強い信号の場合は、信号の特徴の変化を推定できなくなる。そのため、可能な限り少ない標本数で必要な推定精度を得る必要がある。そこで、信号の特徴を表すパラメータの1つである基本周波数の推定を例として、Cramer-Rao Lower Bound (CRLB) とよばれる量を利用した標本数の決定法を提案した。この方法では、必要な推定精度をあらかじめ決定しておき、これをCRLBから得られる式に代入することで必要な標本数の下限が得られる。シミュレーションによって、提案法によって得られた標本数を用いて基本周波数推定を行うと、その推定精度があらかじめ決定した推定精度以上になることが確認できた(表1参照)。

表1: CRLBに基づいて決定した標本数を用いて推定した基本周波数の正解率

あらかじめ決定した正解率[%]	推定した基本周波数の正解率[%]
90	90.0
95	95.3
99	98.8

(3) 従来のsliding DFTは、STFTにおいてDFTを適用する間隔が1点のときに、一般的なSTFTと比較して計算量を大幅に削減できるアルゴリズムとして知られている(図2参照)。しかし、このアルゴリズムでは、DFTを用いるときに一般的に使用される窓関数について制限があった。窓関数の適用は、DFTによって得られるスペクトルの周波数分解能やサイドロープの影響を制御する非常に重要な処理である。そのため、使用できる窓関数に制限がある従来のsliding DFTは、使用できるアプリケーションも限られていた。そこで、信号に窓関数を適用してからDFTを行う処理を複素指数関数によって展開することで、新しい型の一般化sliding DFTを導出した(図3参照)。これによって、従来は使用できなかった窓関数を使用できるようになりsliding DFTの応用範囲が広がった。

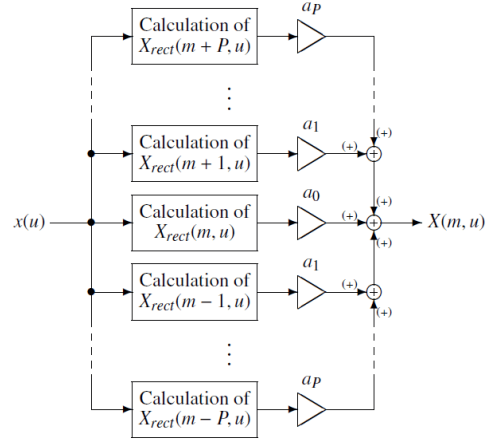
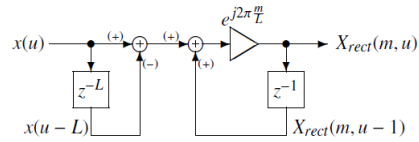


図2: 従来のsliding DFT (ρ は窓関数に応じた係数)

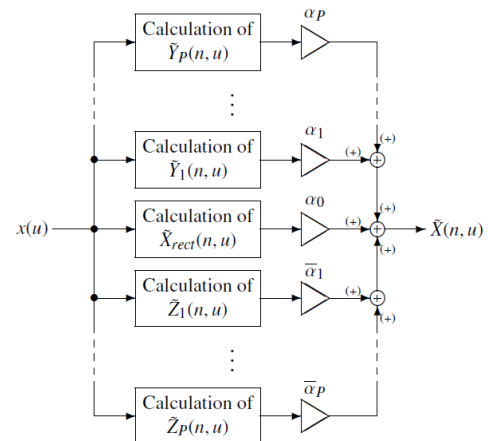
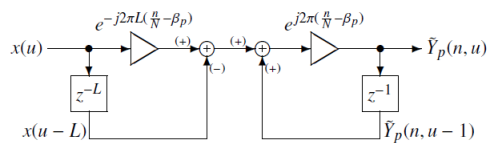
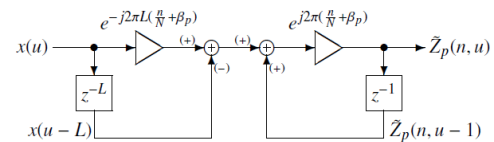


図3: 新しく提案した一般化sliding DFT (ρ は窓関数に応じた係数)

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2件)

[1] Takahiro Murakami and Yoshihisa Ishida, "Generalized sliding discrete Fourier transform", IEICE Trans. Fundamentals, 査読有り, Vol.E99-A, No.1, 2016, pp.338-345.

[2] Takahiro Murakami, Hiroyuki Yamagishi, and Yoshihisa Ishida, "Minimum length of a signal for fundamental frequency estimation and its application", IEICE Trans. Fundamentals, 査読有り, Vol.E98-A, No.9, 2015, pp.1914-1923.

[学会発表](計5件)

[1] Kodai Fujita and Takahiro Murakami, "Polyphonic music transcription using supervised nonnegative matrix factorization combined with musical key estimation", International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'16), March 2016, Honolulu, USA.

[2] 迎純平, 石田義久, 村上隆啓, "音声のスパース性に基づく複数音源定位における最尤推定による計算量削減", 第30回信号処理シンポジウム, 2015年11月, 福島

[3] 太田安莉, 石田義久, 村上隆啓, "フレーム内における信号の開始点の推定", 第30回信号処理シンポジウム, 2015年11月, 福島

[4] Anri Ota, Yoshihisa Ishida, and Takahiro Murakami, "Start point estimation of a signal in a frame", 168th Meeting Acoustical Society of America (168th ASA), October 2014, Indianapolis, USA.

[5] Junpei Mukae, Yoshihisa Ishida, and Takahiro Murakami, "Improvement of the histogram in the DUET algorithm", 168th Meeting Acoustical Society of America (168th ASA), October 2014, Indianapolis, USA.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村上 隆啓 (MURAKAMI Takahiro)
明治大学・理工学部・専任講師
研究者番号: 50409463

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者
なし

(4) 研究協力者

太田安莉 (OTA Anri)
奇藤圭人 (KITO Keito)
藤田航大 (FUJITA Kodai)
迎純平 (MUKAE Junpei)