

令和元年6月13日現在

機関番号：32682

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K18165

研究課題名(和文) 補聴器における入出力時間差の許容量の年齢による変化と老人性難聴用補聴器への応用

研究課題名(英文) Age-related changes in permissible delay times of hearing aids and its application for hearing aids for presbycusis

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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：補聴器の性能は、入出力時間差に関する制限があるために改善が難しい。一方、老人性難聴では、補聴器で発生する入出力時間差の許容量を大きく設定できることが示唆されている。本研究では、この許容量の年齢による変化を詳しく調査した。また、この調査の効率化のために必要となる音の補正に関連して、音響システムのパラメータの新しい推定法を導出した。さらに、音の補正への応用が期待されるデジタル信号処理技術の1つであるphase vocoderについて、従来方法において発生していた位相アンラップ問題を回避する方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、老人性難聴に起因するコミュニケーションの問題や認知症リスクの上昇が指摘されている。一方、老人性難聴を補助するための補聴器は、普及率が15%を下回っている。補聴器の低普及率の主な原因は、利用者の期待に対して性能が不十分であるためと考えられる。

本研究課題は、老人性難聴用補聴器の性能改善への試みの1つである。従来は、補聴器内部で行う音声処理方法の改善が多く試みられてきた。一方、本研究課題では、老人性難聴の特徴の積極的な利用による性能改善の可能性を探った。本研究課題によって得られた実験方法や集まったデータ等の成果を今後もより洗練させることで、補聴器の性能の大幅な改善が期待できる。

研究成果の概要(英文)：Due to the limitation about delay times between input and output, it is quite difficult to improve performance of hearing aids. Previous research, however, suggested that permissible delay times of hearing aids for presbycusis (or age-related hearing loss) could be extended to a certain degree.

In this KAKENHI project, the age-related changes in permissible delay times of hearing aids have been investigated in detail. By this investigation, it has also been revealed that some compensation is necessary for acoustic signals to investigate efficiently. In relation to the compensation of acoustic signals, several algorithms for estimating parameters of acoustic systems have been developed. In addition, a phase vocoder, which can be available for the compensation, has been improved by removing the well-known phase unwrapping problem.

研究分野：複合領域

キーワード：老人性難聴 補聴器 聴覚フィードバック 骨導音 phase vocoder ノンパラメトリックベイズモデル
マイクロホンアレー校正 ブラインドシステム同定

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

年齢に伴って現れる聴覚の衰えは「老人性難聴」と呼ばれ、表1に示すような4種類の聴覚機能の低下が見られる。日常生活においては、これらの機能低下が原因で音声を介したコミュニケーションに支障をきたす場面がしばしば発生する。特に日本では、高齢者の割合が高いため、これらの問題に直面することが多い。そのため、これらの低下した聴覚機能を補うことで高齢者のコミュニケーションを手助けする補聴器の必要性は、日に日に高まっている。

現在の補聴器はデジタル補聴器が主流であり、近年は高度なデジタル信号処理技術が実装されて高機能化している。一方、補聴器利用者の満足度は40%を下回っているという報告がされており、それを反映するかのように補聴器の利用を短期間でやめてしまう利用者が非常に多く、補聴器の普及率は15%を下回っている。補聴器の低満足度および低普及率は、補聴器の高機能化に反して利用者にとっては性能の改善が感じられていないことを意味している。

補聴器の高機能化に反して性能の向上が感じられない原因の1つに、補聴器で発生する入出力時間差に関する制限が考えられる。この入出力時間差は、補聴器に入力された音が雑音除去や増幅等のデジタル信号処理を経て出力されるまでにかかる時間である。補聴器では、入出力時間差が大きくなると視覚情報または自身の発話と聴覚情報との間にずれを感じるようになり、それが利用者に対して違和感や不快感を与える。そのため、現在の補聴器は入出力時間差を可能な限り短くすることが要求されており、一般的には入出力時間差が10ミリ秒(0.01秒)を超えないように設計されている。この制約により、補聴器の内部に実装されているデジタル信号処理は、10ミリ秒の長さの信号を使って実施する必要がある。ところが、多くのデジタル信号処理技術では、利用する信号の長さが性能に大きく影響する。そのため、現在の補聴器では入出力時間差に関する制約がボトルネックとなり、性能の向上を妨げている。

一方、老人性難聴の特徴に注目すると、表1に示すように時間分解能の低下が見られる。この原因は、聴覚で感知した音が脳で認識されるまでに必要な時間が、老人性難聴者では健聴者と比較して長くなるためと考えられる。これは見方を変えると、老人性難聴では音を認識するまでに長い時間が必要であり、結果として視覚情報または自身の発話と聴覚情報との間のずれに対する許容量が増大することが予想される。そこで本研究課題では、「補聴器で発生する入出力時間差の許容量は年齢によって増加する」という仮説を立て、その検証を行うこととした。

表1 老人性難聴の特徴

低下する機能	見られる症状
感度	小さい音が聞き取れない
ダイナミックレンジ	小さい音は聞こえないが、うるさい音は従来通りうるさく聞こえる
周波数分解能	複数の音が混ざると聞き取れない
時間分解能	早口の音声を聞き取れない、または従来は早口と感じなかった音声を早口と感じる

2. 研究の目的

上記の仮説を検証するために、本研究課題では最初に以下の3点に焦点を当てた。

- (1) 自身の発話に対する聴覚情報の遅延時間の許容量の調査
- (2) 視覚情報に対する聴覚情報の遅延時間の許容量の調査
- (3) 聴覚フィードバックを利用した調査における効率的な音の補正

上記(3)は、上記(1)の調査に関連するものである。上記(1)では、後述するように被験者が発話したときの音声に任意の遅延時間を与えて被験者へ聞かせる聴覚フィードバックを行い、そのときの違和感を主観評価する。この聴覚フィードバックでは、マイクロホンを用いて音声をフィードバックするため通常の発話時に被験者の聴覚が感知している骨導音が欠落している。被験者によっては骨導音の欠落に対する違和感を強く覚えるため、聴覚フィードバックにおける遅延時間に対する主観評価を正しく行えない可能性がある。そこで、上記(3)によって音声に含まれる骨導音の成分を補正することで、有効な評価結果の収集効率を改善する。

これらを目的として研究を開始したところ、上記(1)の調査において、骨導音の欠落に起因する違和感に加えて調査を実施する部屋で発生する反射などの音響空間特性に起因する違和感が強く現れる場合があることが明らかとなった。本研究課題では多くの被験者による評価結果が必要であり、有効な評価結果を効率よく収集する必要がある。そのためには、これらに起因する違和感を可能な限り軽減する必要がある。これらの点をふまえ、研究の目的を上記(1)および(3)を基盤にして以下の4点に再構成した。

- (1) 自身の発話に対する聴覚情報の遅延時間の許容量の調査
- (2) 聴覚フィードバックを利用した調査における骨導音成分の推定
- (3) 聴覚フィードバックを利用した調査における音響空間特性の推定
- (4) 聴覚フィードバックを利用した調査における効率的な音の補正

3. 研究の方法

上記の4点の目的それぞれについて、以下の方法によって研究を遂行した。

- (1) 自身の発話に対する聴覚情報の遅延時間の許容量の調査

発話時に被験者自身の音声が遅延して聞こえる場合の違和感について、主観評価を行う。この調査では、被験者が発話した時の音声を外耳孔（耳の穴）付近の空間に設置したマイクロホンで収録し、それに任意の遅延時間を与えたものをヘッドホンから被験者へ提示する聴覚フィードバックを行う。被験者は、このときの違和感を主観評価する。また、この調査における主観評価の基準について、被験者による評価結果のばらつきが小さくなる評価基準を策定する。

(2) 聴覚フィードバックを利用した調査における骨導音成分の推定

マイクロホンで収録した音声である気導音から、発話時に声帯から人間の体内を伝わって聴覚に伝わる骨導音を推定する。そのための準備として、気導音と骨導音の差異について精査する。具体的には、複数の被験者について発話時の気導音および骨導音を同時に測定し、両者を比較する。この調査では、聴覚で感知される音声に近い気導音および骨導音を測定するため、気導音は被験者外耳孔付近の空間に設置したマイクロホンによって測定し、また、骨導音は被験者外耳孔付近の皮膚上に設置した加速度センサによって測定する。

(3) 聴覚フィードバックを利用した調査における音響空間特性の推定

音響空間の特性を表すインパルス応答の推定を行う。ここでは、音響空間への入力既知であるがインパルス応答の長さが未知である場合について、推定を行う。

(4) 聴覚フィードバックを利用した調査における効率的な音の補正

音声信号を補正するためのパラメータが得られた後を想定して、波形に発生する歪みが小さい補正方法を開発する。

4. 研究成果

(1) 自身の発話に対する聴覚情報の遅延時間の許容量の調査

被験者による主観評価結果のばらつきが小さくなる評価基準について、検討を行った。本研究課題の準備段階に位置づけられる研究では、同様の聴覚フィードバックを利用した主観評価において得られた評価結果に被験者間での大きなばらつきが見られた。これは、被験者によってポジティブな評価とネガティブな評価の境界が異なることが原因と考えられる。そこで、ポジティブな評価とネガティブな評価の境界が評点の中心となるような評価基準を設定した。新しく設定した評価基準を表2に示す。

新しく設定した評価基準を用いて、若年者（20～25歳の男女19名）および高齢者（67～90歳の男女19名）による主観評価を行った。得られた評価結果の平均を図1および図2に示す。これらの図より、若年者では従来の補聴器における遅延時間の許容量の上限とほぼ同様に、約10ミリ秒の遅延に対してはしゃべりにくくなく遅れも気にならないがそれよりも遅延が大きくなると急激にしゃべりにくく感じて遅れも気になることが確認できた。一方、高齢者では約50ミリ秒の遅延に対しても遅れが多少気になるがしゃべりにくさはあまり感じないことが分かった。この結果より、若年者と比較して高齢者では、従来よりも大きな遅延時間が発生した場合でも違和感を覚えない可能性が極めて高いことが明らかとなった。

表2 設定した評価基準

評点	「発話時にしゃべりにくくないか？」 の評価基準	「発話時に遅れが気にならないか？」 の評価基準
優（4点）	しゃべりにくくない	遅れがまったく分からない
良（3点）	しゃべりにくい気にならない	遅れが分かるが気にならない
可（2点）	しゃべりにくい	遅れが気になる
不可（1点）	とてもしゃべりにくい	遅れがはっきり分かる

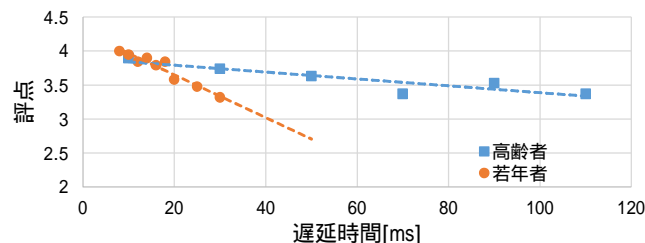


図1 「発話時にしゃべりにくくないか？」の評価結果

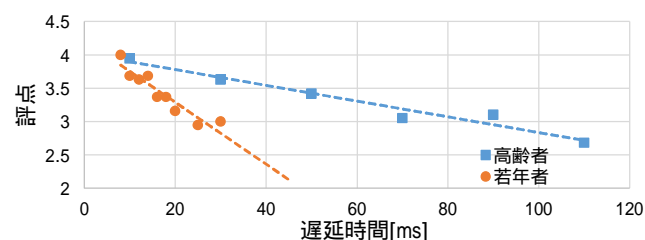


図2 「発話時に遅れが気にならないか？」の評価結果

(2) 聴覚フィードバックを利用した調査における骨導音成分の推定

複数の被験者について、発話時の気導音と骨導音を同時に測定し、両者間の到達時間差を調査した。図3に、ある被験者による母音「あ」の波形を示す。この図および他の被験者による測定結果より、気導音は骨導音よりもわずかに遅れて外耳孔付近に到達することが分かった。これは、気導音が空気中を伝搬するのに対して骨導音は骨や皮膚等の固体または液体中を伝搬しており、骨導音の方が音の伝搬速度が速くなるためと考えられる。

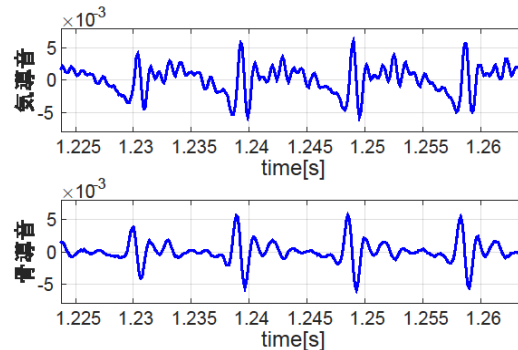


図3 ある被験者の母音「あ」の波形（上段：気導音，下段：骨導音）

(3) 聴覚フィードバックを利用した調査における音響空間特性の推定

音響空間の特性を表すインパルス応答の推定について、音響空間への入力既知であるがインパルス応答の長さが未知の場合におけるインパルス応答とその長さの同時推定に成功した。提案法はノンパラメトリックベイズモデルを利用しており、長さが未知のインパルス応答を無限の長さを持つインパルス応答と無限次元のバイナリベクトルの乗算によってモデル化し、これらの各要素は beta-Bernoulli 過程により生成されると仮定する。この仮定により、バイナリベクトルの要素の多くが零となるように推定が誘導され、結果として有限の長さを持つインパルス応答が推定される。このモデルおよび音響空間の雑音が双曲線正割分布に従うという仮定に基づき、majorization-minimization アルゴリズムおよびギブスサンプラーのハイブリッド推定法を導出した。音響空間のインパルス応答を模した信号を用いたシミュレーションにおける推定結果の正規化平均2乗誤差 (MSE) を図4に示す。この図より、提案法では次数が未知であるにも関わらず次数が既知である従来法と比較して良好な結果が得られることが分かった。

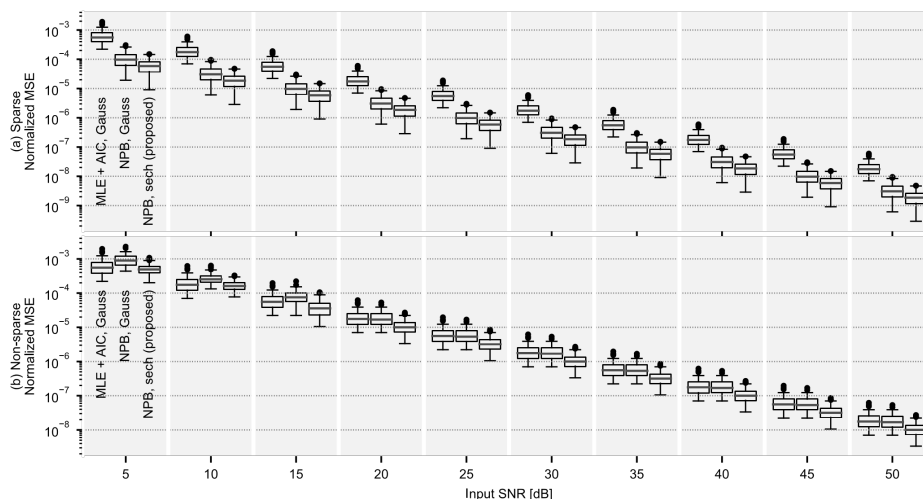


図4 インパルス応答推定における正規化 MSE の箱ひげ図

(4) 聴覚フィードバックを利用した調査における効率的な音の補正

音声信号の補正として、音声信号の音高（周波数）を変えずに長さのみを変換する話速変換および音声信号の長さを変えずに音高のみを変換する音高変換が想定される。phase vocoder は、話速・音高変換法の1つとして広く知られている。従来の phase vocoder では、ある時刻での位相スペクトルから瞬時周波数を推定するために多価関数である atan の主値から真の値を復元する位相アンラップ問題を解決する必要があるが、この問題の解決の失敗に起因する波形の歪みがしばしば発生する。そこで、原理的に位相アンラップ問題が発生しない phase vocoder を提案し、従来法において発生する波形の歪みを抑えることに成功した。提案法による話速変換および音高変換の概要を、図5および図6にそれぞれ示す。

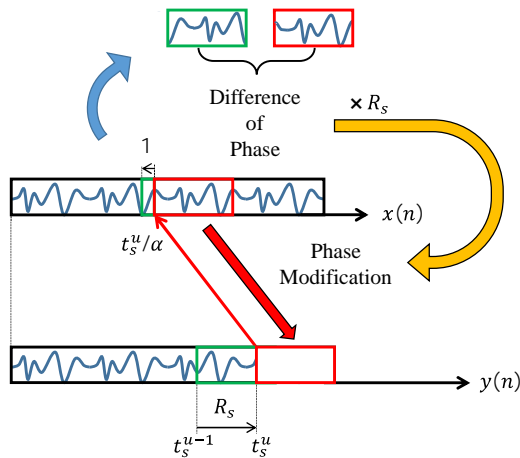


図5 提案法による話速変換の概要

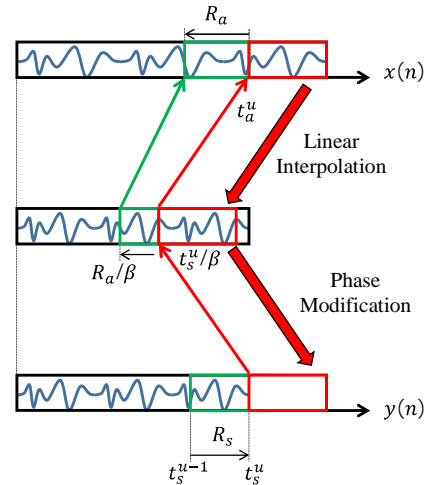


図6 提案法による音高変換の概要

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

[1] 丹治寛樹, 村上隆啓, 鎌田弘之, "優ガウス性の分布に基づくシステム同定のためのノンパラメトリックベイズモデル", 電気学会論文誌C, 査読有り, Vol.139, No.4, pp.380-387, 2019年4月, DOI:10.1541/ieejieiss.139.380

[2] 米口遼一, 村上隆啓, "位相アンラップが不要な Phase Vocoder", 電気学会論文誌C, 査読有り, Vol.138, No.4, pp.352-359, 2018年4月, DOI:10.1541/ieejieiss.138.352

〔学会発表〕(計8件)

[1] Saki Ohashi, Hiroki Tanji, and Takahiro Murakami, "Blind system identification for acoustic impulse responses based on maximum likelihood estimation", Proc. 2018 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2018), pp.189-194, Okinawa, Japan, November 2018.

[2] Hiroki Tanji, Takahiro Murakami, and Hiroyuki Kamata, "Robust FIR system identification for super-Gaussian noise based on hyperbolic secant distribution", Proc. 2018 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS 2018), pp.195-199, Okinawa, Japan, November 2018.

[3] 大橋沙季, 丹治寛樹, 村上隆啓, "部分空間法に基づいた有色雑音を想定したブラインドシステム同定", 第33回信号処理シンポジウム, pp.125-130, 東京, 2018年11月

[4] 丹治寛樹, 村上隆啓, 鎌田弘之, "観測雑音に双曲線正割分布を用いた上界最小化に基づくカルマンフィルタ", 電気学会システム研究会資料, pp.51-55, 東京, 2018年8月

[5] 重松颯人, 村上隆啓, "高齢者の聴覚における遅延時間の許容量の評価", 平成29年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, pp.143, 東京, 2018年3月

[6] 落合裕貴, 村上隆啓, "聴覚フィードバックのための気導音と骨導音間の遅延時間の測定", 平成29年度電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会, pp.140, 東京, 2018年3月, 東京支部学生会奨励賞受賞

[7] Soichiro Aoki, Hiroki Tanji, and Takahiro Murakami, "Array shape calibration using near field pilot sources with unknown distance", Proc. Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference 2017 (APSIPA ASC 2017), No.TA-P3.4, Kuala Lumpur, Malaysia, December 2017.

[8] Ryoichi Yoneguchi and Takahiro Murakami, "Time-scale and pitch-scale modification by the phase vocoder without occurring the phase unwrapping problem", Proc. 22nd International Conference on Digital Signal Processing (DSP 2017), pp.1-5, London, UK, August 2017, DOI:10.1109/ICDSP.2017.8096149.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名：青木 創一朗

ローマ字氏名：AOKI Soichiro

研究協力者氏名：米口 遼一

ローマ字氏名：YONEGUCHI Ryoichi

研究協力者氏名：大橋 沙季

ローマ字氏名：OHASHI Saki

研究協力者氏名：戸田 佑希

ローマ字氏名：TODA Yuki

研究協力者氏名：落合 裕貴

ローマ字氏名：OCHIAI Yuki

研究協力者氏名：重松 颯人

ローマ字氏名：SHIGEMATSU Hayato

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。