

令和 5 年 6 月 19 日現在

機関番号：51101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K03043

研究課題名(和文) 補聴器用学習アルゴリズム開発プラットフォームの構築と教育システムへの展開

研究課題名(英文) Platform system to research howling cancelling algorithms of hearing Aids and deployment to an experiment system

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) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：ハウリングの低減には、学習アルゴリズムへの入力信号の擬似白色化を行う方法と相関信号を用いる方法の概ね2通りのアプローチがある。(1)前者は、学習信号と推定誤差信号から適応ノッチフィルタを用いて狭帯域信号を除去し、その信号をLMSアルゴリズムなどで参照することで正確に補聴器使用者のハウリング特性を学習するものであり、演算量が少なく実用的な性能を持つ。時変な信号や音声に対する収束特性向上の検討を行った。(2)後者については、演算量の削減を検討した。また、上記2つの方法について、GUI(Graphical User Interface)からパラメータの設定、データ収集、結果表示ができるようにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

補聴器の使用時や講演会、ライブ、テレビ会議システムでハウリングと呼ばれる発振現象が問題になっており、特に、補聴器は高齢者の生活の質の向上のため重要であり、高齢化に伴う使用者の増加から、そのハウリングを低減するハウリングキャンセラが強く期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to reduce howling of hearing aids, two different approaches, namely, (1) quasi-whitening input signals of adaptive algorithms, (2) C-LMS (correlation LMS) are known. In the former method, updating equation includes leakage integration to achieve faster convergence. Furthermore, IIR typed Notch filters are used to cope with unevenly frequency allocation. In the latter method, the state transition matrix of the adaptive algorithm is simplified to reduce computational complexity. Both methods can be controlled by GUI(graphical user interface).

研究分野：信号処理

キーワード：計測工学 補聴器 ハウリングキャンセラ 教育工学

1. 研究開始当初の背景

(1) 補聴器の使用時や講演会、ライブ、テレビ会議システムでハウリングと呼ばれる発振現象が問題になっている。特に、補聴器は高齢者の生活の質の向上のため重要であり、高齢化に伴う使用者の増加から、そのハウリングを低減するハウリングキャンセラが強く期待されている。

(2) 補聴器の原因となるものの特性は使用者の外耳道の構造、装着方法によって異なるため、なんらかの学習アルゴリズムを用いて適応的に特性を調整した方が良いとされている。一般に、学習アルゴリズムへの入力信号と観測雑音に強い相関がある場合、推定にバイアス（直流的な偏差）が生じることが知られている。補聴器の場合、上述の事象が発生するため対策が望まれている。

2. 研究の目的

ハウリングの低減には、学習アルゴリズムへの入力信号の擬似白色化を行う方法と相関信号を用いる方法の概ね 2 通りのアプローチがある。

(1) 学習アルゴリズムへの入力信号を擬似的に白色化する方法は、 $x(n)$ と推定誤差 $e(n)$ （これらの信号については後述する）から適応ノッチフィルタを用いて狭帯域信号（振幅が大きい狭い帯域幅の信号）を除去し、その信号を LMS アルゴリズムなどで参照することで正確に補聴器使用者のハウリング特性を学習するものである。演算量が少なく実用的な性能を持ち、楽器音のように時変でかつ離散的な狭帯域信号の和をモデル化した固定の簡易信号に対しては効果があることが報告されている。しかし、時変な信号や音声に対する検討はまだ行われていないため、この点について検討する。

(2) 相関信号を用いる方法は、相関最小 2 乗誤差最小化 (Correlation Least Mean Square) (C-LMS) のように、信号そのものではなく信号の相関信号を適応動作の入力とするもので、元々はエコーキャンセラのダブルトーク時にも学習が行えるよう開発された。このような状況下でも比較的正確に使用者のハウリング特性を学習できることは画期的であるが収束速度が非常に遅いことが欠点である。最近、適応アルゴリズムとしてカルマンフィルタに基づく方法が提案されているが、演算量が非常に多い。このため、バッテリーに制約がある補聴器への実装には向くように演算量の削減を検討する。

この他に、上記 2 つのアプローチについて、GUI(Graphical User Interface)からパラメータの設定、データ収集、結果表示ができるよう検討を進めることが目的である。

3. 研究の方法

(1) LMS アルゴリズムを用いて補聴器のハウリングを低減する場合、補聴器への入力 $d(n)$ と適応動作の入力である $x(n)$ と強い相関によるバイアス（直流的な誤差）、楽器音や音声のように時変な信号への追従性が問題となる。本検討では、 $x(n)$ とハウリング対処後の推定誤差 $e(n)$ （4. 研究成果の項目の図 1 参照）から IIR 型適応ノッチフィルタを用いて狭帯域信号を除去し（擬似的に白色化し）、その信号を LMS アルゴリズムで参照することで $W(z)$ の推定結果のバイアスを低減する。時変性に対しては、従来の LMS 型のアルゴリズムの制御ループ内に、リーク付き積分操作 $(1-\gamma z^{-1})^{-1}$ を導入することで対処する。ここで、適応動作の安定性を確保するため、 $0 < \gamma < 1$ である。

(2) C-LMS は信号の相関信号を適応動作の入力とするもので、簡易化したカルマンフィルタのアルゴリズムを用いて演算量の低減を検討する。信号の有色性を利用して元々はエコーキャンセラのダブルトーク時にも学習が行えるよう開発された。このような状況下でも比較的正確に使用者のハウリング特性を学習できるが、収束速度が非常に遅いことが欠点である。最近、適応アルゴリズムとしてカルマンフィルタに基づく方法が提案されているが、演算量が非常に多いため遷移行列にシフト動作を組み込んで演算量の削減を図る。

(3) 上述の(1), (2)の方法を, マイク, スピーカ, フィルタ, アンプ等を用いて, 模倣的なシステムを構築し, 動作制御とそれによる実験データの収集表示を, GUIを用いて実現する.

4. 研究成果

(1) 図1に単純にLMSアルゴリズムを用いて補聴器のハウリングを低減する場合の構成を示す. $H(z)$ がハウリングの原因となる音響フィード経路の伝達関数, $W(z)$ がハウリング除去のための適応フィルタ, $G(z)$ が増幅器であり, $d(n)$ が補聴器への入力, $x(n)$ が補聴器の出力である. 研究の方法でも記述したように, $d(n)$ と適応動作の入力である $x(n)$ と強い相関がある場合, 図2に示すように推定値にバイアス(直流的な誤差)が生じ, ハウリング抑制性能が上がらないという問題点がある.

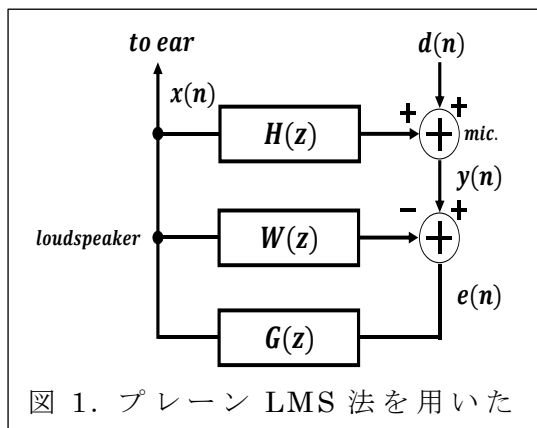
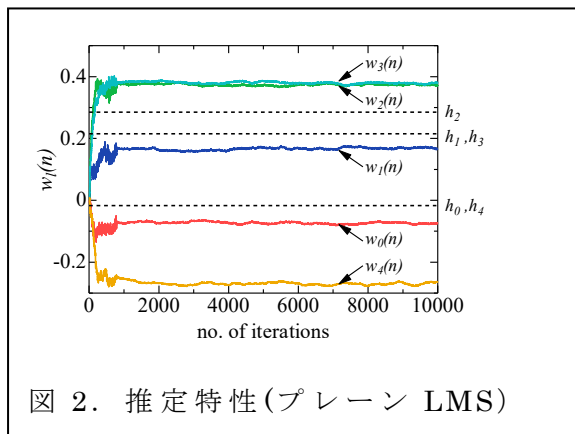


図2において, h が音響フィードバック経路の係数, w が適応フィルタの推定係数である.



$x(n)$ とハウリング対処後の推定誤差 $e(n)$ からIIR型適応ノッチフィルタを用いて擬似的に白色化するため狭帯域信号を除去し, その信号をLMSアルゴリズムで参照することで $W(z)$ の推定結果のバイアスを低減する. その構成を図3に示す.

また, 時変性に対しては, 従来のLMS型のアルゴリズムの制御ループ内に, リーク付き積分操作 $(1-\gamma z^{-1})^{-1}$ を導入することで対処する. ここで, 適応動作の安定性を確保するため, $0 < \gamma < 1$ である. 図4に示すように, 推定値にバイアスも少なく事変な信号に追従できていることがわかる.

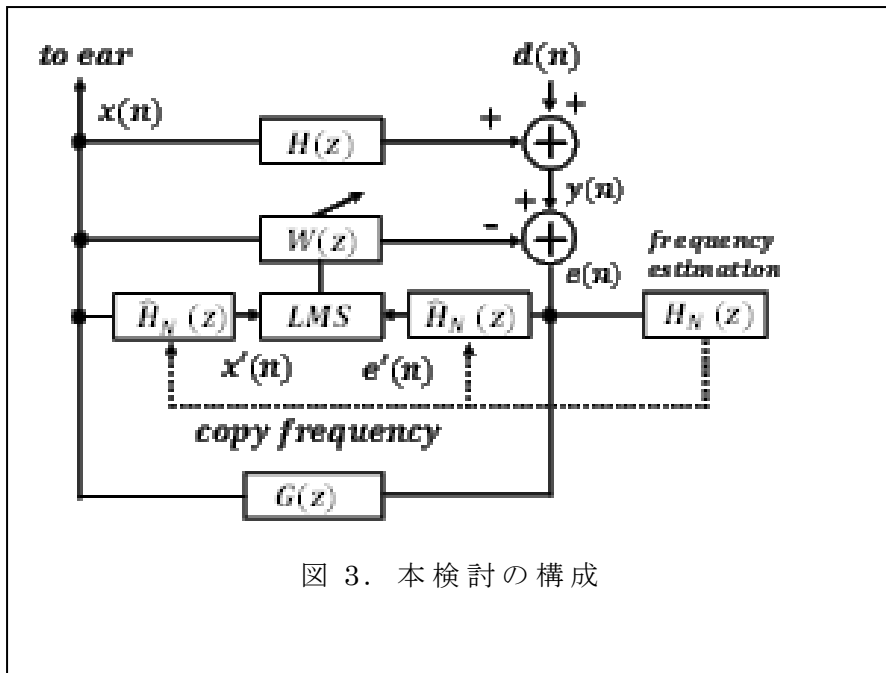


図 3. 本検討の構成

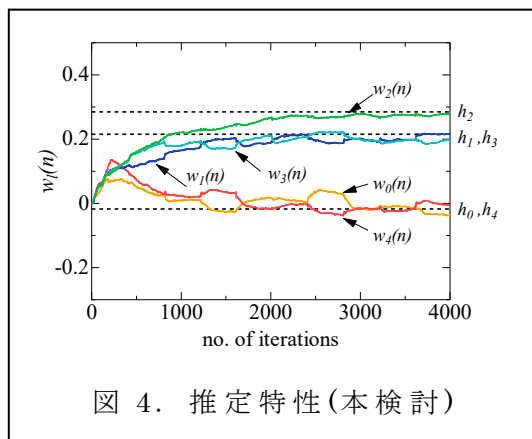


図 4. 推定特性(本検討)

(2) 研究の方法でも述べたように、C-LMS は信号の相関信号を適応動作の入力とするもので、補聴器のような状況下でも比較的正確に使用者のハウリング特性を学習できるが、図 5 に示すように収束速度が非常に遅いことが欠点である。適応アルゴリズムとしてカルマンフィルタに基づく方法が提案されているが、演算量が非常に多いため遷移行列にシフト動作を組み込んで演算量の削減を図った。

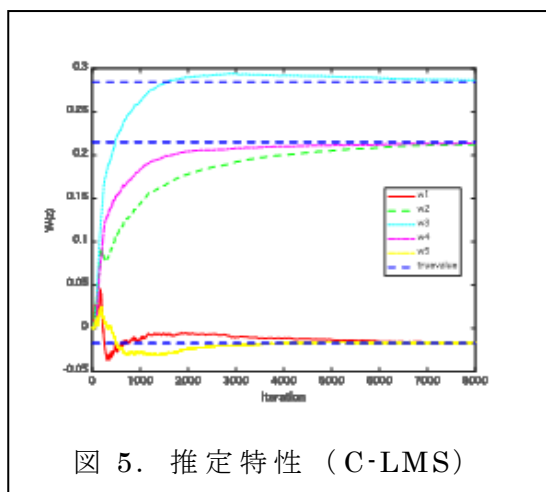


図 5. 推定特性 (C-LMS)

(3) 上述の(1), (2)の方法を, マイク, スピーカ, フィルタ, アンプ等を用いて, 模倣的なシステムを構築し, 動作制御とそれによる実験データの収集表示を, GUIを用いて実現し, 研究室以外の学生に試用してもらい評価結果を反映した. GUIの表示例を図6と図7に示す.

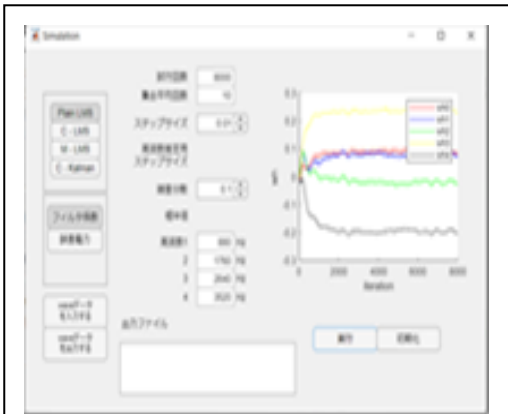


図 6. GUI の表示 1

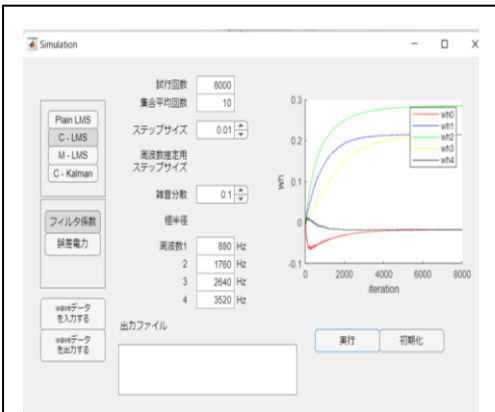


図 7. GUI の表示 2

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 工藤憲昌, 長屋 輝, 釜谷博行, 田所嘉昭	4. 巻 第56号
2. 論文標題 ダウンサンプリング処理を用いた自動運転のためのオブジェクトの移動検出	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 八戸工業高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 pp.1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 工藤憲昌, 釜谷博行, 田所嘉昭	4. 巻 第55号
2. 論文標題 補聴器用ハウリングキャンセラに関する検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 八戸工業高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 工藤憲昌, 釜谷博行, 田所 嘉昭	4. 巻 第54号
2. 論文標題 多チャンネルANCの構成についての検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 八戸工業高等専門学校紀要 第54号	6. 最初と最後の頁 45,49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 加藤 聡, 岡田 康, 渡部 徹, 釜谷博行, 原元司	4. 巻 34(4)
2. 論文標題 学習オートマトンによる位置情報利用型ルーティング	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 知能と情報: 日本知能情報ファジィ学会誌	6. 最初と最後の頁 728,732
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Takumi Toda, Norimasa Kudoh, Hiroyuki Kamaya, Yoshiaki Tadokoro
2. 発表標題 Development of a research platform for howling canceller
3. 学会等名 電気関係学会東北支部大会 講演論文集1A01
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 工藤憲昌, 長屋 輝, 釜谷博行, 田所嘉昭
2. 発表標題 チャープ信号を用いたオブジェクトの移動検出に関する検討
3. 学会等名 電気学会 電子・情報・システム部門全国大会講演予稿集GS9-4 , pp1-5
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川原拓海, 釜谷博行, 原元司, 工藤憲昌
2. 発表標題 深層強化学習を用いた内界センサに基づく6脚ロボットの歩行動作の獲得
3. 学会等名 電気関係学会東北支部大会 講演論文集4D01
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川原拓海, 釜谷博行, 原元司, 工藤憲昌
2. 発表標題 深層強化学習を用いた足場配置計画による6脚ロボットの歩行動作獲得
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第336回研究集会, 336-5, pp.1-5
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Toda, Norimasa Kudoh, Hiroyuki Kamaya, Yoshiaki Tadokoro
2. 発表標題 A study on howling canceller for hearing aids
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部大会 講演論文集AA09
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hikaru Nagaya, Norimasa Kudoh, Hiroyuki Kamaya, Yoshiaki Tadokoro
2. 発表標題 A study on detecting movement of objects using chirp signals
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部大会 講演論文集AA08
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 尾崎大地, 釜谷博行, 原元司, 工藤憲昌
2. 発表標題 畳み込みニューラルネットワークを用いた手話認識に関する研究
3. 学会等名 2020年度電気関係学会東北支部大会 講演論文集T06
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 長屋輝, 工藤憲昌, 釜谷博行, 田所嘉昭
2. 発表標題 チャープ信号を用いたオブジェクトの移動検出に関する検討
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第323回研究集会 323-3 pp.1-4
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 平川周汰, 工藤憲昌, 釜谷博行, 田所嘉昭
2. 発表標題 相関信号を用いた補聴器用ハウリングキャンセラの検討
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部 第323回研究集会 323-6 pp.1-5
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuta Hirakawa, Norimasa Kudoh, Hiroyuki Kamaya, Yoshiaki Takotoro
2. 発表標題 A study on howling canceller for hearing aids using correlation signals
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部大会 講演論文集1102
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hikaru Nagaya, Norimasa Kudoh, Hiroyuki Kamaya, Yoshiaki Takotoro
2. 発表標題 A study of detecting movement of objects using chirp signals
3. 学会等名 2019年度電気関係学会東北支部大会 講演論文集1103
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長屋輝, 工藤憲昌, 釜谷博行, 田所嘉昭
2. 発表標題 チャープ信号を用いたオブジェクトの移動検出に関する検討
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部55周年記念学術講演会A10, pp.1-4,
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山地龍生, 釜谷博行, 工藤憲昌, 原元司
2. 発表標題 訓練データ選別によるエージェント学習の性能評価
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部第337回研究集会 資料番号337-4
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大澤士竜, 釜谷博行, 工藤憲昌, 原元司
2. 発表標題 多脚歩行ロボット制御のための深層強化学習におけるパラメータ調整
3. 学会等名 計測自動制御学会東北支部第337回研究集会, 資料番号337-5
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山地龍生, 釜谷博行, 工藤憲昌, 原元司
2. 発表標題 訓練データ選別によるエージェント学習の効率化
3. 学会等名 2022年度電気関係学会東北支部連合大会, 講演論文集4D01
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大澤士竜, 釜谷博行, 工藤憲昌, 原元司
2. 発表標題 Unity環境内における深層強化学習を用いた多脚ロボットの歩行動作獲得
3. 学会等名 2022年度電気関係学会東北支部連合大会, 講演論文集4D02
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	釜谷 博行 (Kamaya Hiroyuki) (70224657)	八戸工業高等専門学校・その他部局等・教授 (51101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------