

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：25406
 研究種目：基盤研究(C)（一般）
 研究期間：2018～2021
 課題番号：18K04175
 研究課題名（和文）マルチチャンネル適応ノイズキャンセラーの最適化と骨導音および気導音による音声復元
 研究課題名（英文）Speech signal recovery using an optimized multi-channel adaptive noise canceller based on bone- and air-conducted measurements
 研究代表者
 肖業貴（XIAO, YEGUI）
 県立広島大学・地域創生学部・教授
 研究者番号：50252325
 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）：本研究では骨導音と気導音を同時にそれぞれ参照信号とプライマリー信号とする適応ノイズキャンセラー（ANC）による音声復元を試みた。特に複数参照チャンネルの活用や最適化による音声復元に焦点を当てた。主な研究成果は以下のとおりである。複数参照チャンネルANCによる音声復元性能向上を可能にした。複数参照チャンネルANCを拘束条件付き線形結合器により束ね、最適化することによりさらに復元能力を向上させた。同様の拘束条件付き線形結合器を活用し複数プライマリーチャンネル（気導音）を配置したANCについても調べ、その有効性を確認した。すべての提案システムに対して実測骨導音・気導音を用いて性能検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は以下の学術的意義や社会的意義があると考えられる

マルチチャンネルANCの最適化による音声復元は、初の試みとして、理論的貢献のみならず、音声復元の精度向上を実現し、その実用化へ大きく前進した。

骨導音・気導音を活用した製品化（システムを含む）が進む中、本研究は関連産業に刺激を与え、技術向上へ貢献できると考える。

研究成果の概要（英文）： In this project, speech denoising is attempted by using of active noise canceller (ANC) that takes simultaneously the bone- and air-conducted (BC, AC) speech measurement as its reference and primary signal, respectively. Focus is put onto the use of multiple reference and/or primary channels. The main outcome is as follows: 1) an ANC with multiple BC signals is proposed, that improves the recovery quality as the number of reference BC is increased, 2) an ANC with multiple optimized reference channels is proposed, that the reference channels are connected by a constrained linear combiner (LC) which is optimized based on the minimization of the ANC error, and the recovery accuracy is further improved, and 3) we also tried an ANC that has multiple optimized primary (AC) channels and found that the recovery quality may also be improved. All proposed systems have been applied to real measurements to confirm their performance and capabilities.

研究分野：知能情報システム

キーワード：音声復元 適応ノイズキャンセラー 骨導音 気導音 線形結合器 非線形フィルタ 最適化

1. 研究開始当初の背景

音声認識・通信などにおいては、対象となる音声信号が雑音に乱されることが多い。そのため、音声信号の雑音処理（強調）は極めて重要である。70年代から盛んに研究され、今まで数多くの手法が開発されてきた。カルマンフィルタとその拡張形による方法、スペクトル・サブトラクションとその改良法などがよく知られている。最近では、複数のマイクロホン（マイクロホンアレー）を用いた手法も多く提案されている。しかしながら、背景雑音が大きくなると、従来のどの手法も性能が大きく低下してしまう。つまり、音声認識精度や音声通信における音質が大幅悪化し応用不可となってしまう。

一方、様々な業界や製品における音声認識・通信の応用では、雑音が大きくて、今までの雑音処理法は不十分である。たとえば、ハンズフリー業務においては、環境雑音や暗騒音が大きく、既存の音声認識エンジンは性能が著しく低下し、現場の実環境には耐えられない場合が多い。そのため、近年、背景雑音の影響を比較的受けにくい骨導音を用いた音声復元の研究が盛んに行われており、多くの製品が開発されている。骨導音が高周波数成分をわずかしき含まないことに加え、個人差や学習手法の限界等により、骨導音のみでは気導音の高周波成分の復元が十分に行えない。

2000年代半ばごろから、雑音にひどく乱される気導音と、雑音の影響を比較的受けにくい骨導音を同時に用いた音声復元法が提案されている。具体的には、汚された気導音をプライマリ信号、骨導音を参照信号とした適応ノイズキャンセラー（ANC: Adaptive noise canceller, 図1）を応用している。雑音を大きく抑制し、音質を改善するものの、気導音の高周波成分の復元は不十分である。我々は ANC の非線形適応フィルタとして Volterra フィルタや FLANN (Functional Link Artificial NN) による方法を提案してきた。従来法より性能が改善したが、高周波数成分の復元はまだ十分とは言えない。参照信号のチャンネルを増やすとともに、それを最適に利用することにより復元精度を向上させる必要がある。

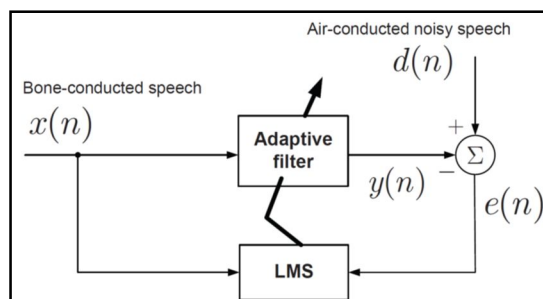


図1. シングルチャンネル ANC の構成

2. 研究の目的

本研究の目的は、複数の参照チャンネルをもつ新しい ANC システムを提案するとともに、それを最適化する適応アルゴリズムを導出した上、骨導音と気導音による、実用化に耐えられる音声復元システムを構築することである。

3. 研究の方法

ANC では、参照チャンネルをシングルからマルチへ変更し、性能改善を図る試みが 70 年代から行われている。しかし、複数の参照信号の利用は機械的で最適化していない。また、プライマリチャンネルをマルチにし、適応型重みつき平均（拘束線形結合器と同等）を導入することにより ANC の性能改善を図る努力もなされている。その有効性が FECG 抽出への応用により明らかにされている。本研究では、マルチ参照チャンネルにおける線形・非線形適応フィルタの後ろに直列的に拘束線形結合器を新たに導入し、複数の参照信号に対してめりはりをつけてその利用を最適化できる ANC を提案する。今までの ANC の構造的な不完全さを克服し、雑音抑制性能をさらに改善する究極な ANC 構成といえる。具体的な方法は以下の通りである。

- (1) まず、マルチ参照チャンネルの ANC を導入し、参照チャンネルの増加による性能改善が可能かどうかについて実測データを用いてシミュレーション実験を行う。ただし、参照チャンネルの最適化を行わない。システムの構成は図2に示す。
- (2) 次に、マルチプライマリチャンネルをもつ ANC（図3）を導入し、既存の最適化アルゴリズムを応用してその最適化を行う。最適化されたプライマリチャンネル数の増加による性能改善を検証する。実測音声データを用いてシミュレーション実験を行う。
- (3) マルチ参照チャンネルとマルチプライマリチャンネルを同時にもつ ANC を導入し、参照チ

チャンネルとプライマリーチャンネルの同時最適化を行って、音声復元の向上を図る。まず、参照チャンネルの最適化アルゴリズムを導出する必要がある。プライマリーチャンネルの最適化は従来のアルゴリズムを活用する。実測データへの応用を通して性能改善の度合いを検証する。

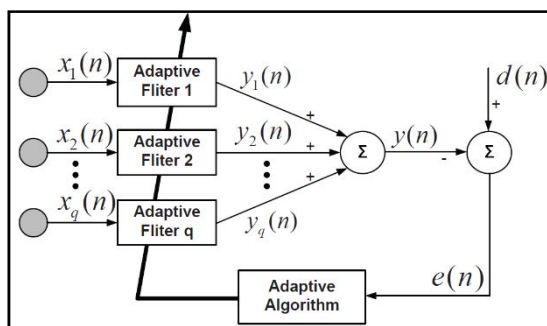


図 2 . マルチ参照チャンネル ANC の構成

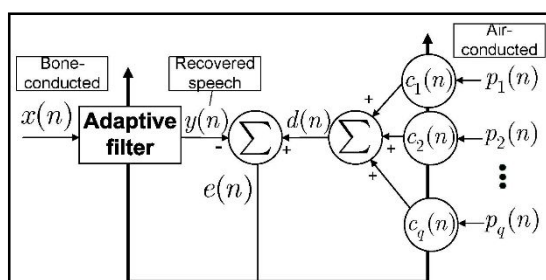


図 3 . マルチプライマリーチャンネル ANC の構成

4 . 研究成果

- (1) まず、マルチ参照チャンネルを有する ANC を導入し、音声復元を行った。実測データを用いたシミュレーション実験により、参照チャンネルの増加による復元精度向上を確認できた。表 1 に復元音声と実測音声との相関係数による評価結果を示す。

表 1 . 相関係数による復元精度評価

ρ	q^*	NOR	WHI65	WHI75	PIN65	PIN75
FIR	1	0.6803	0.6379	0.0508	0.7295	0.2763
	2	0.7065	0.6703	0.0534	0.7594	0.2807
	3	0.7209	0.6841	0.0519	0.7700	0.2847
Volterra	1	0.7315	0.6770	0.0527	0.7644	0.2767
	2	0.7118	0.6744	0.0541	0.7658	0.2788
	3	0.7256	0.6872	0.0529	0.7752	0.2837
FLANN	1	0.7882	0.6621	0.0023	0.7522	0.2924
	2	0.7653	0.6789	0.0202	0.7654	0.2747
	3	0.7914	0.6928	0.0088	0.7779	0.2799
GFLANN	1	0.8243	0.6822	0.0036	0.7680	0.3036
	2	0.7876	0.6821	0.0213	0.7608	0.2789
	3	0.8300	0.7067	0.0137	0.7889	0.2912

* $q = 1 : ch1; q = 2 : ch1, ch2; q = 3 : ch1, ch2, ch3.$

- (2) 次にマルチプライマリーチャンネル ANC を用いた音声復元効果を検証した。その結果、プライマリーチャンネル数の増加による復元精度の向上を確認できた。図 4 に 提案 ANC による復元結果（音声の時間周波数分析）を示す。
- (3) マルチ参照とマルチプライマリーチャンネルを同時に有する ANC の最適化による音声復元では、アルゴリズムの導出を行った。実測データによるシミュレーション実験を実施し、成果を検証・総括・発表する段階に入っている。
- (4) 本研究と関連する基礎研究として、2 次経路のオンライン推定を有する新たな狭帯域 ANC システムの性能解析、近年特に注目されているフィードバック ANC に対する新たなシステムの提案なども行ってきた。成果発表を行ってきたが、今後は EV への応用も検討する予定である。

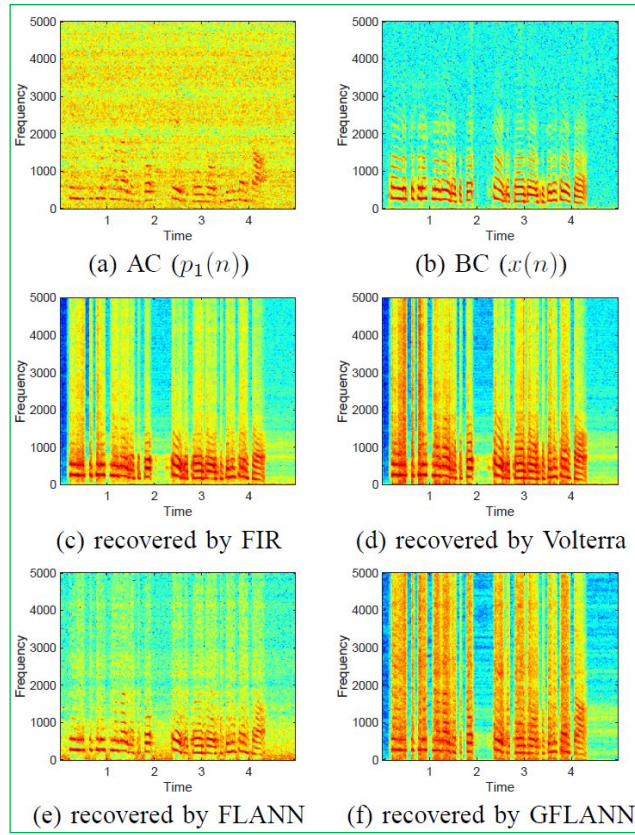


圖 4 . 音声復元結果 (時間周波数分析)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Y. Ma, Y. Xiao, et al.	4. 巻 183
2. 論文標題 Statistical analysis of narrowband active noise control using a simplified variable step-size FXLMS algorithm	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Signal Process.	6. 最初と最後の頁 1000-1014
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.sigpro.2021.108012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 W. Wu, Y. Xiao et al.	4. 巻 29
2. 論文標題 An efficient filter bank structure for adaptive notch filtering and applications	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Trans. Audio, Speech, lang. Process.	6. 最初と最後の頁 3226-3241
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TASLP.2021.3120600	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Y. Ma, Y. Xiao, et al.	4. 巻 29
2. 論文標題 A robust feedback active noise control system with online secondary-path modeling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Signal Process. Letts	6. 最初と最後の頁 1042-1046
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LSP.2022.3166396	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 7件）

1. 発表者名 X. Tan, Y. Ma, Y. Xiao, L. Ma, K. Khorasani
2. 発表標題 A new feedback narrowband active noise control system with online secondary-path modeling based on adaptive notch filtering
3. 学会等名 2020 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, Hanoi, Vietnam, December 10 - 13, 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Z. Wang, Y. Xiao, et al.
2 . 発表標題 Multi-frequency narrowband active noise control with online feedback-path modeling using IIR adaptive notch filters
3 . 学会等名 APCCAS 2019 - IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Bai, Z. Wang, Y. Xiao, et al.
2 . 発表標題 A multi-channel narrowband active noise control system with simultaneous online secondary- and feedback-path modeling
3 . 学会等名 APCCAS 2019 - IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Y. Xiao, T. Bai, R. Xiao, Y. Ma
2 . 発表標題 A nonlinear adaptive noise canceller with multiple reference channels for speech enhancement using both bone- and air-conducted measurements
3 . 学会等名 2018 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Y. Ma, Y. Xiao, et al.
2 . 発表標題 A new robust narrowband active noise control system with online secondary-path modeling and frequency mismatch compensation
3 . 学会等名 2018 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Bai, Y. Xiao, et al.
2. 発表標題 Active noise control with online feedback-path modeling using adaptive notch filter
3. 学会等名 2018 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 L. Zhang, Y. Xiao, et al.
2. 発表標題 Speech recovery using adaptive noise canceller with multiple optimized primary channels
3. 学会等名 2022 International Conference on Signal and Image Processing (国際学会)
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

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