

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06461

研究課題名(和文) 騒音制御点とマイクロホン位置を分離できる能動騒音制御手法の開発

研究課題名(英文) Development of active noise control separating error microphone from zone of quiet

研究代表者

伊藤 良生 (ITO, Yoshio)

鳥取大学・工学部・教授

研究者番号：70263481

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：音響空間において騒音を打ち消すためのアクティブノイズコントロール(ANC)に関して、従来は騒音制御点と誤差検出マイクロホンの位置が離れていることは想定しておらず、ANCの適用範囲が限定されていた。この問題を解決するため、騒音制御点と誤差検出マイクロホン位置を分離することが可能なANC構成法を提案した。本提案手法は、騒音制御点と誤差検出マイクロホンまでの音響空間を補償するシステムを新たに導入するものである。実装により提案回路の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでANCは、自動車内や手術室、病室など広範囲な空間への適応が望まれていたが、ダクト開口部や人間の頭部周辺など限られた空間にのみ適応可能であった。本研究により、騒音制御点と誤差マイクロホンの位置を分けることができるため、マイクロホンの設置位置の制約が緩和されるとともに、自動車内、手術室、病室全体など広範囲かつ様々な音場制御への応用が考えられ、ANCの応用範囲を大幅に広げる一助となる。

研究成果の概要(英文)：ANC (Active Noise Control) reduces noise in an acoustic field. In general, the ANC system needs to always place an error microphone at the location where you want to reduce noise. Therefore, the ANC cannot achieve sufficient noise reduction performance far from a microphone. Besides, the use of ANC is limited. To solve the problem, we proposed the structure of ANC, which does not use an error microphone in a zone of quiet (ZoQ). The proposed method introduces the compensator for the acoustic path from the ZoQ to the error microphone. From a digital signal processor implementation, we can see the proposed method reduces the noise in a ZoQ, which does not have an error microphone.

研究分野：デジタル信号処理

キーワード：能動騒音制御 信号処理 騒音抑圧 適応フィルタ 音響信号処理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

機械などから発生する騒音を抑圧する手法として、騒音の逆位相の音(2次音源)を発生して騒音を抑圧するアクティブノイズコントロール(Active Noise Control: ANC)が提案されており、ダクト内を伝搬してくる騒音、プロペラ機で発生する騒音やヘッドホンを使用する際の周囲騒音などの対策として実用化されている。昨今、生活をしていくためのより快適な環境実現が強く望まれており、今後も ANC に代表される音場制御技術の発展が欠かせない。

ANC はこれまで様々な手法が提案されてきた。ANC システムではフィードフォワード型の適応アルゴリズムとして Filtered-x アルゴリズムがよく用いられている。Filtered-x アルゴリズムは2次音源スピーカから残差を検出するマイクロホンまでの2次経路の伝達関数を推定し、その特性を有するフィルタに騒音源信号を通過させた信号を制御フィルタである ADF(Adaptive Digital Filter)のタップ入力として用いる。しかしながら、動作安定性に問題がある。2次音源から騒音検出マイクロホンに至る帰還経路の変動に追従できず、システムが発散する恐れがある。また、2次経路の推定に一般的には人工的に発生した補助雑音を用いる必要があるが、新たな騒音源となる。そこで我々はこれまでに Pre-inverse 型適応フィルタを提案し、下記を実現した。Pre-inverse 型適応フィルタを利用することにより2次経路変動に対して安定動作するアクティブノイズコントロールを提案、実機試作を行った。

従来の ANC では騒音が打ち消される範囲が評価用信号検出マイクロホン近傍(マイクロホンから半径 10cm 程度以内)であることが確認されている。これは、現状の ANC では広範囲に騒音を打ち消すには、多数のマイクロホンを広範囲に配置する必要があることを示しており、実用的ではない。また、マイクロホンの設置場所が限定される場合に ANC の利用が困難となる。

2. 研究の目的

上記の ANC の問題点を解決するためにマイクロホン位置を自由に変えられる ANC を実現する必要がある。そこで本研究では、研究期間内での下記2項目を実施する。

- ・誤差マイクロホン位置と騒音制御点が分離している場合の ANC システム提案
- ・提案 ANC システムの実機試作

3. 研究の方法

(1)システム構成

本提案手法の基本構成を図1に示す。ここで、 $x(n)$ は時刻 n における騒音源から検出した騒音、 $p(n)$ は1次経路 $H_p(z)$ を通過した騒音、 $d(n)$ は2次経路 $H_s(z)$ の出力信号、 $e(n)$ は打消し誤差信号、 $e'(n)$ は時刻 n における3次経路通過後の打消し誤差信号、 $e''(n)$ は3次経路逆伝達関数フィルタ通過後の打消し誤差信号、 $f(n)$ は時刻 n における制御信号、 $P(z)$ は1次経路の伝達関数、 $C(z)$ は2次経路の伝達関数、 $T(z)$ は3次経路の伝達関数、 $H(z)$ は制御フィルタの伝達関数、 $T^{-1}(z)$ は3次経路逆伝達関数フィルタの伝達関数である。また、騒音を抑圧する騒音制御点は、1次経路出力 $p(n)$ と2次経路出力 $d(n)$ が加わり、3次経路への入力 $e(n)$ となる地点である。

提案構成では、誤差マイクロホンの後段に3次経路の逆伝達関数フィルタ $T^{-1}(z)$ を配置することにより3次経路の特性を打ち消す。 $e''(n)$ と参照マイクロホン入力 $x(n)$ との関係をZ領域において表すと、

$$E''(z) = \{P(z)X(z) + H(z)C(z)X(z)\}T(z)T^{-1}(z) \quad (1)$$

が得られる。ここで、 $E''(z)$ および $X(z)$ は $e''(n)$ と $x(n)$ のZ変換を表す。そして、

$$T(z)T^{-1}(z) = 1 \quad (2)$$

となると仮定すると、式(1)は

$$E''(z) = P(z)X(z) + H(z)C(z)X(z) \quad (3)$$

と表される。ここで制御フィルタ $H(z)$ は、

$$H(z) = -\frac{P(z)}{C(z)} \quad (4)$$

となるため、 $e''(n)$ を用いて騒音打消し地点の騒音 $e(n)$ を打ち消すことが可能である。これより3次経路の逆伝達関数を配置することで、任意点での騒音抑圧を行うことができる。

実装に用いる提案手法の構成図を図2に示す(引用文献)。提案手法は2段階で制御される。最初に図2(a)に示すチューニング段階において3次経路の逆伝達関数を推定する。チューニング段階では、3次経路の逆伝達関数の推定を行う。このとき、参照マイクロホンを騒音制御点

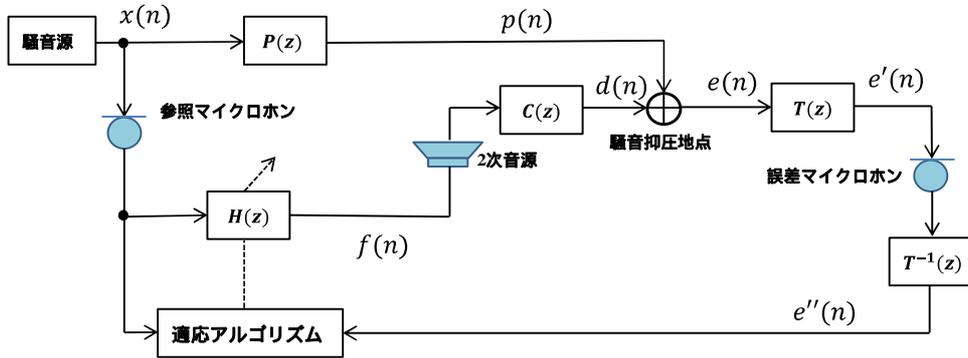
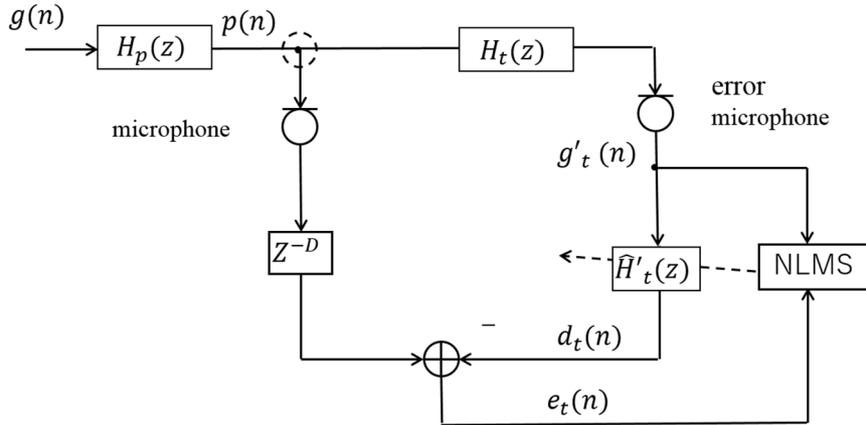
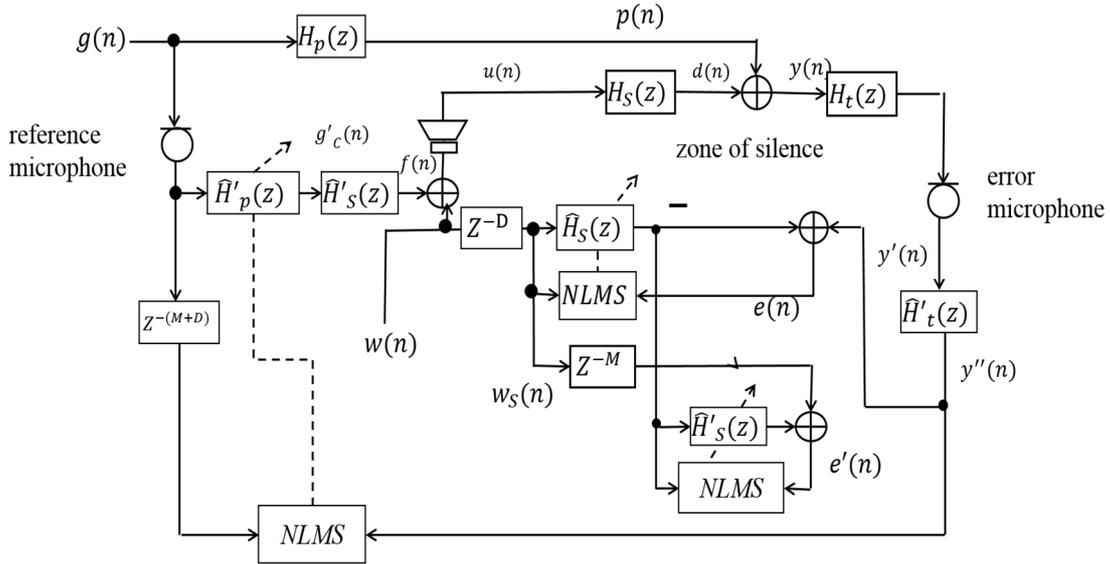


図1 提案手法基本構成



(a) チューニング段階



(b) コントロール段階

図2 提案手法構成図

に配置し、3次経路後段に誤差マイクロホンを設置する。そして、誤差マイクロホンの後段に適応フィルタを配置することにより、3次経路の逆伝達関数の推定が可能となる。因果性を考慮し、参照マイクロホンの後段に遅延を設けている。

次に図2(b)に示すコントロール段階において騒音制御を行う。このとき、騒音制御点にはマイクロホンは設置していない。付加雑音を用いて2次経路推定を行うとともに、コントロールフィルタにより騒音制御点における騒音の抑圧を行う。また、付加雑音の電力制御も利用して、騒音抑圧後の付加雑音による残留騒音を抑えている。

本提案法により、誤差マイクロホンと騒音制御点の分離が可能となるが、3次経路は事前推定しているため、音響特性の時間変動への追従が困難となる。そこで本研究では、音響特性の時間変動へ追従可能な手法も検討している(引用文献、)。

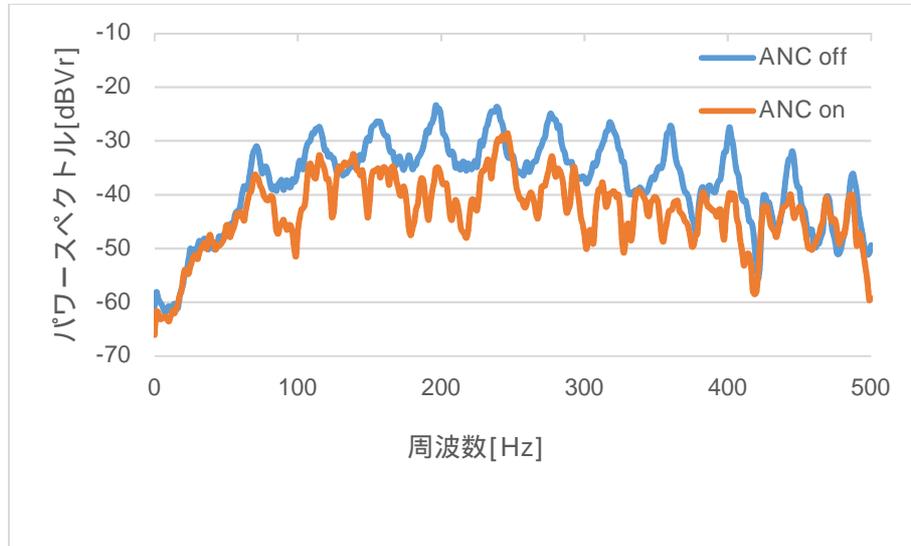


図3 処理結果電力スペクトル

(2)実装実験

図2に示す本手法の有効性を確認するため、Digital Signal Processor (DSP)を用いて実装実験を行った。使用したDSPはMTT社s-BOX(TMS320 6713DK)である。図3に消音位置における電力スペクトルを示す。ANCを動作させたときと動作させないときの電力スペクトルを比較すると、平均約5 dB程度消音できていることが確認される。

4. 研究成果

本研究で得られた成果を下記にあげる。

- ・誤差マイクロホンと騒音制御点を分離するANCを提案、開発した。
- ・提案ANCを実装し、その有効性が確認された。

これらの成果はANCシステムの適用範囲を大きく広げることにつながり、我々の生活環境を改善する一助となりえる。

<引用文献>

岡野圭佑, 越智孔季, 竹内健登, 笹岡直人, 伊藤良生, “ANCにおける消音空間と誤差検出マイクロホンの分離に関する一検討,” 2018年電子情報通信学会総合大会講演論文集, p.84, 2018年3月.

岡野圭佑, 松久昂平, 笹岡直人, 伊藤良生, “ZoQの誤差信号を推定するバーチャルセンシングを用いたPre-inverse型ANCシステム,” 第34回信号処理シンポジウム, pp.74-79, 2019年11月.

K. Matsuhisa, K. Okano, N. Sasaoka, Y. Itoh, "Pre-Inverse Active Noise Control System with Virtual Sensing Technique for Non-Stationary Path," 2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2019), pp.1-2, Dec. 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 岡野圭佑, 越智孔季, 竹内健登, 笹岡直人, 伊藤良生	4. 巻 -
2. 論文標題 ANCにおける消音空間と誤差検出マイクロホンの分離に関する一検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 2018年電子情報通信学会総合大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 84
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 無
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 -

1. 著者名 岡野圭佑, 松久昂平, 笹岡直人, 伊藤良生	4. 巻 -
2. 論文標題 ZoQの誤差信号を推定するパーチャルセンシングを用いたPre-inverse 型ANCシステム	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第34回信号処理シンポジウム講演論文集	6. 最初と最後の頁 74-79
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 オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Kohei Matsuhisa, Keisuke Okano, Naoto Sasaoka, Yoshio Itoh
2. 発表標題 Pre-Inverse Active Noise Control System with Virtual Sensing Technique for Non-Stationary Path
3. 学会等名 2019 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (国際学会)
4. 発表年 2019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	笹岡 直人 (SASAOKA Naoto) (80432607)	鳥取大学・工学部・准教授 (15101)	