

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760300

研究課題名(和文) 高次統計量を基にする適応フィルタによる突発性騒音抑圧システムの開発

研究課題名(英文) Development on Transient Noise Reduction with Adaptive Filter Based on High Order Statistic

研究代表者

笹岡 直人 (SASAKA, Naoto)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：80432607

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：補聴器などに導入可能な突発性騒音抑圧システムの研究開発を実施した。現在、補聴器に用いられている騒音抑圧システムは騒音の特性が変動しないもしくは緩やかに変動することを前提としているため、衝撃音などの突発性騒音の抑圧は困難であった。そこで本研究では、音声と突発性騒音の特性差のある高次統計量を基にする適応フィルタにより音声成分のみの推定を可能とした。また、適応フィルタのみでは騒音の鳴り始めを抑圧することは困難であるため、高次統計量を用いた騒音検出及び抑圧についても検討を行い、その有効性を確認した。

研究成果の概要(英文)：Transient noise reduction system, which can be introduced into a hearing aid, has been investigated. A conventional noise reduction system cannot reduce the transient noise, because it assumes that the characteristic of background noise is static or slowly changed. In order to solve the problem, an adaptive filter based on high order statistic has been proposed. The proposed system takes advantage of difference high order statistic between speech and transient noise. In addition, a noise frame detection and reduction system has been proposed to improve the noise reduction ability at the beginning of noise generation.

研究分野：工学

キーワード：信号処理 補聴器 適応フィルタ 音声強調 高次統計量

## 1. 研究開始当初の背景

日本国内において聴覚障害者数、軽度中度難聴者は 600 万人以上いると言われている。一方、65 歳以上の高齢者数は約 3000 万人(高齢化率 23.1%)となっている(平成 23 年度版高齢社会白書)。そのような状況で補聴器は欠かすことのできないものである。しかし、補聴器普及率は約 25%と高くなく、補聴器の普及を推進するためには、工学の立場から使いやすく安価な補聴器を提供することが必要である。補聴器は生活を送るうえで常に使用するものであるが、周囲環境騒音が音声に混在するため、通話品質の低下をまねくだけでなく、補聴器使用者の疲労につながる。このような問題を解決し、使いやすい補聴器を実現するため、様々な騒音に対応した騒音抑圧装置を備えた補聴器を開発することが強く求められている。

騒音抑圧法はこれまで国内外を問わず様々な手法が提案されてきた。スペクトルサブトラクション(SS 法)などがよく知られている。しかし、騒音が連続的に発生し、騒音の定常性もしくは特性変動が緩やかであることを仮定している。そのため、物体が破裂したり、物体同士が衝突するときに発生する衝撃音や拍手など突発性騒音の抑圧は困難であった。これは、突発性騒音の特性変動が急激であり、継続時間も短い場合が多く、さらに発生時刻の特定が難しいことが原因である。

このような突発性騒音に対応した騒音抑圧法として、非線形信号処理や事前に学習した騒音と音声の統計モデルを利用した手法などが提案されている。しかし、突発性騒音はその発生源により特性が大きく異なるため、騒音の種類判別が必要となる。そのため、補聴器や携帯電話が要求するリアルタイム処理が困難である。さらに、事前学習していない騒音に対しては抑圧が困難である。事前情報を用いない手法も提案されているが、演算量が膨大となり、リアルタイム処理が難しく、また低消費電力型 DSP への実装も困難である。

## 2. 研究の目的

上記突発性騒音抑圧に関する課題に対し、4 次キウムラントを突発性騒音抑圧手法へ導入にすることにより、騒音抑圧性能の改善が可能と考えられる。本研究期間内での開発項目及び範囲を下記 3 点とする。

- ・ 4 次キウムラントを基にする適応アルゴリズムの開発として、演算量削減手法及び収束速度改善手法の提案並びに評価
- ・ 上記適応アルゴリズムを用いる突発性騒音抑圧システムのソフトウェア実装
- ・ 突発性騒音抑圧システムの DSP 実装並びに補聴器の試作

## 3. 研究の方法

コップなど物体を叩くことで発生する突発性騒音は短時間しか継続せず、時間と共に電力が急速に変化する。さらに、発生時刻の特定が困難である。音声の確率密度関数(PDF)は非ガウスであることが知られているが、音声の尖度ははるかに小さい正の値である。一方、拍手などの突発性騒音は尖度が大きい。したがって尖度に対応する統計量である 4 次キウムラント特性を用いる突発性騒音抑圧手法について検討する。ところで突発性騒音は物体がぶつかった瞬間に発生する衝撃部とその後物体が固有振動することにより発生する固有振動部から成り、衝撃部は低い周波数帯から高い周波数帯まで成分が分布する広帯域騒音となる。一方、固有振動部は基本周波数とその高調波成分からなる狭帯域騒音である。そこで本研究では固有振動成分と衝撃成分に対する抑圧手法について検討した。以下に本研究において主に検討した手法について説明する。

## (1) 固有振動成分抑圧

## ① 基本構成

提案音声強調法に線形予測誤差フィルタを用いる。騒音重畳音声  $x(n)$  を、

$$x(n) = s(n) + \xi(n) \quad (1)$$

とする。ここで  $s(n)$  と  $\xi(n)$  はそれぞれ音声と突発性騒音を示す。予測器出力は

$$\hat{\xi}(n-M) = \mathbf{x}'^T(n) \mathbf{h}'(n) \quad (2)$$

$$\mathbf{x}'(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-M+1)]^T$$

$$\mathbf{h}'(n) = [h'_0(n) \ h'_1(n) \ \dots \ h'_{M-1}(n)]^T$$

により表せる。ここで  $h'_j(n)$  ( $j=0,1,\dots,M-1$ ) は  $j$  番目のタップ係数であり、 $M$  はタップ数である。本研究ではタップ係数の収束速度を考慮し、後ろ向き線形予測器を用いる。後ろ向き線形予測器はタップ数  $M$  だけ遅延された騒音を推定し、強調音声は次式で表される。

$$\hat{s}(n-M) = x(n-M) - \hat{\xi}(n-M) \quad (3)$$

後ろ向き線形予測器を用いることで遅延が生じるが、携帯電話のための音声強調では 5ms の遅延が許されている。また補聴器でも多少の遅延は許容される。

突発性騒音が線形フィルタによって非ガウス性白色騒音から生成されるとすると、突発性騒音は線形予測器により推定することが可能である。線形予測器が突発性騒音のみを推定すると仮定すると、予測誤差  $\hat{s}(n)$  は音声に収束する。適応アルゴリズムとして、NLMS (Normalized Least Mean Square) アルゴリズムなどの 2 次統計量を基にした従来の適応アルゴリズムを用いる場合、音声と突発性騒音の 2 次統計量では差異が生じないため線形予測器は突発性騒音だけでなく音声も推定してしまう。そのため、従来の適応アルゴリズムでは騒音抑圧は困難である。突発性騒音のみを推定するために、適応アルゴリズムは出力信号の尖度が大きく、予測誤差の尖度が小さくなるように収束させる必要がある。予測誤差の 4 次キウムラントを評価

関数とすると次式で表わせる。

$$|Cum_4^{\hat{s}}| = E[\hat{s}^4(n)] - 3E[\hat{s}^2(n)]^2 \quad (4)$$

ここで、 $|\cdot|$ と $E[\cdot]$ は絶対値と期待値演算子を表し、 $E[\hat{s}(n)]$ は零と仮定している。提案適応アルゴリズムでは評価関数が最小となるように収束させる。式(4)を1階偏微分することにより次式が得られる。

$$\begin{aligned} \partial |Cum_4^{\hat{s}}| / \partial \mathbf{h}(n) = \\ = \text{sgn}(Cum_4^{\hat{s}}) \{-4E[\hat{s}(n)\mathbf{x}(n)] \\ + 12E[\hat{s}(n)\mathbf{x}(n)]E[\hat{s}^2(n)]\} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $\text{sgn}(\cdot)$ は $(\cdot)$ の符号を示す。式(5)は時刻 $n$ の勾配を表す。最急降下法によると、タップ係数ベクトルは次式によって更新される。

$$\mathbf{h}(n+1) = \mathbf{h}(n) - \mu \partial |Cum_4^{\hat{s}}| / \partial \mathbf{h}(n) \quad (6)$$

ここで、 $\mu$ はステップサイズである。

式(5)の推定量は必須である。演算量を抑えるために推定量にLMSアルゴリズムのような瞬時推定を用いる。式(5)の瞬時推定は、

$$\frac{\partial |Cum_4^{\hat{s}}|}{\partial \mathbf{h}(n)} \approx 8 \text{sgn}(Cum_4^{\hat{s}}) \{\hat{s}^3(n)\mathbf{x}(n)\} \quad (7)$$

となる。式(6)で定義した最急降下法に式(7)を代入すると、タップ係数を更新する適応アルゴリズムは次式で表せる。

$$\mathbf{h}(n+1) = \mathbf{h}(n) - 8\mu \text{sgn}(Cum_4^{\hat{s}}) \hat{s}^3(n)\mathbf{x}(n) \quad (8)$$

## ②システム評価

計算機シミュレーション及びDSP実装(試作補聴器)により評価を行った。騒音として、コップを叩いたときに発生する騒音を用いる。図1に騒音発生期間における各種信号のスペクトログラムを示す。図1(c)に示す線形予測誤差フィルタに従来の適応フィルタを用いた場合並びに図1(d)に示す騒音抑圧手法としてSS法を用いた場合には固有振動成分が抑圧できていないことが確認された。一方、図1(e)に示す提案手法による騒音抑圧実験ではSegmental SNRが処理前と比較して約7.2dB改善しており本手法の有効性が確認された。ただし、適応フィルタの収束に時間がかかっており、また、衝撃成分の抑圧が困難であることが確認された。なお、DSP実装(TI社:TMS320C6713)により本手法がDSPにおいて動作することも確認された。

## (2)適応アルゴリズムの収束速度改善

### ①システム構成

先に提案した適応アルゴリズムではタップ係数の収束に時間がかかることが確認された。そこで収束速度を改善するため、再帰アルゴリズムの導入を図った。4次キュムラントを用いる再帰アルゴリズムは下記で定義される。

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{h}}_0(n) = \hat{\mathbf{h}}_0(n-1) + \mathbf{k}(n) \{x(n) - \mathbf{x}^T(n)\hat{\mathbf{h}}_0(n-1)\} \\ = \hat{\mathbf{h}}_0(n-1) + \mathbf{k}(n)\eta(n) \end{aligned} \quad (9)$$

ここで $\eta(n)$ は、

$$\eta(n) = x(n) - \mathbf{x}^T(n)\hat{\mathbf{h}}_0(n-1) \quad (10)$$

である。

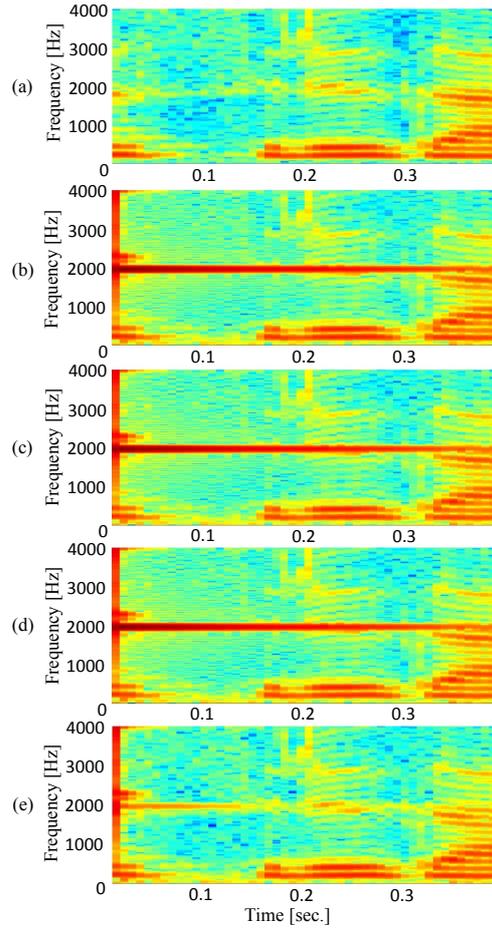


図1 固有振動成分抑圧結果

(a)原音声 (b)騒音重畳音声(Seg. SNR<sub>IN</sub> = -4.8dB) (c)処理結果(従来アルゴリズム)(Seg. SNR<sub>OUT</sub> = -5.2 dB) (d)処理結果(SS法)(Seg. SNR<sub>OUT</sub> = -6.0 dB) (e)処理結果(提案手法)(Seg. SNR<sub>OUT</sub> = 2.4 dB)

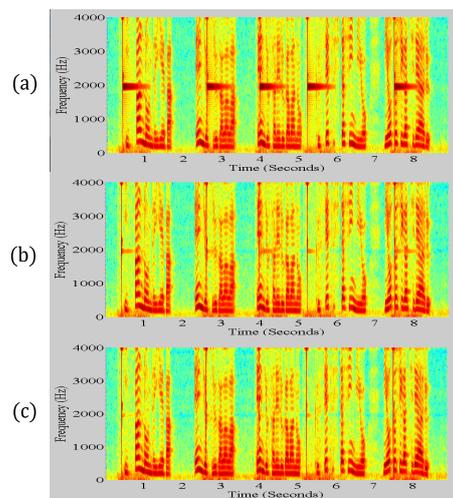


図2 再帰アルゴリズム導入結果

(a)騒音重畳音声 (b)提案アルゴリズム(式(8)) (c)提案再帰アルゴリズム(式(9))

## ②システム評価

計算機シミュレーションにより評価を行った。騒音として、コップを叩いたときに発生する騒音を用いる。図2に処理結果のスペクトログラムを示す。図2(b)に示す4次キウムラントを基にする適応フィルタ(式(8))を用いた場合、固有振動成分の抑圧に時間がかかることが確認される。一方、再帰アルゴリズムを導入することにより固有振動成分が抑圧されていることが図2(c)により確認される。

### (3) 衝撃成分検出及び抑圧

#### ①システム構成

適応フィルタを用いた手法では衝撃成分の抑圧は困難であった。そこで本研究では衝撃成分区間検出及び抑圧手法について検討を行った。提案法では、まず突発性騒音フレーム検出を行い、突発性騒音が発生しているフレームに対して音声強調処理を行う。周波数領域における騒音重畳音声  $X_m(k)$  を、

$$X_m(k) = S_m(k) + D_m(k) \quad (11)$$

とする。ここで、音声を  $S_m(k)$ 、騒音を  $D_m(k)$  とし、 $k$  は周波数番号、 $m$  はフーリエ変換のフレーム番号を表す。

騒音フレーム検出器においてまず高帯域成分の電力  $P_{h,m}$  を算出する。そして、次式により表す高帯域成分の電力に対する瞬時4次キウムラントを求めることにより突発的な信号の変化を検出する。

$$K_{4,m} = M_{4,m} - 4M_{3,m}M_{1,m} - 3M_{2,m}^2 + 12M_{2,m}M_{1,m}^2 - 6M_{1,m}^4 \quad (12)$$

$$M_{l,m} = \frac{1}{T} \sum_{n=0}^T P_{h,m-n}^l \quad (13)$$

ここで、 $T$  はフーリエ変換のフレームサイズ、 $M_{l,m}$  は  $l$  次モーメントである。

しかし、4次キウムラントのみを騒音フレーム検出に用いる場合、音声の発声時にも4次キウムラントが大きくなる可能性がある。そこで騒音フレーム検出精度を改善するため、高帯域電力  $P_{h,m}$  も騒音フレーム検出に併用する。次式により過去  $N$  フレームに対する広帯域電力の最大値を算出する。

$$P_{\max} = \max P_{h,m-n} \quad (0 \leq n < N) \quad (14)$$

ここで、 $N$  は任意のフレームサイズである。以上より、 $K_{4,m}$  及び  $P_{\max}$  がそれぞれの閾値  $\alpha$  及び  $\beta$  を超えた場合にフレーム  $m$  を騒音フレームとする。

騒音フレームに対する音声強調としてウィナーフィルタを用いる。強調音声は、

$$\hat{S}_m(k) = G_m(k)X_m(k) \quad (15)$$

により得られる。ここで、 $\hat{S}_m(k)$  は強調音声、 $G_m(k)$  はゲイン関数である。ゲイン関数は事前SNR  $\xi_m(k)$  を用いて次式で定義される。

$$G_m(k) = \frac{\xi_m(k)}{1 + \xi_m(k)} \quad (16)$$

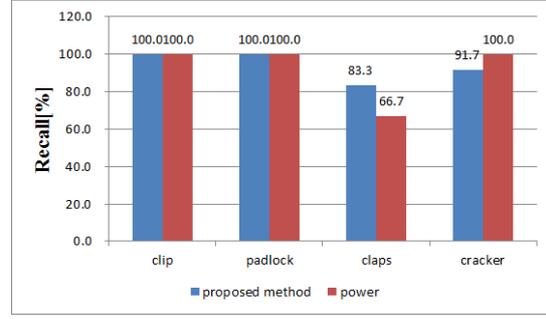


図3(a) 騒音検出結果 (再現率)

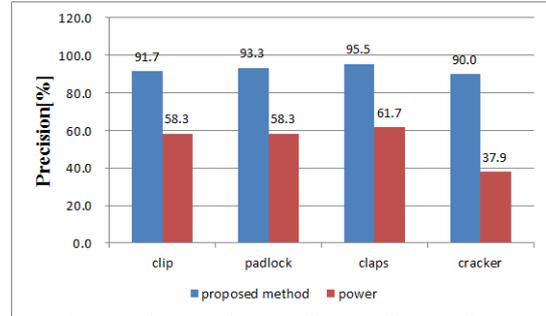


図3(b) 騒音検出結果 (精度)

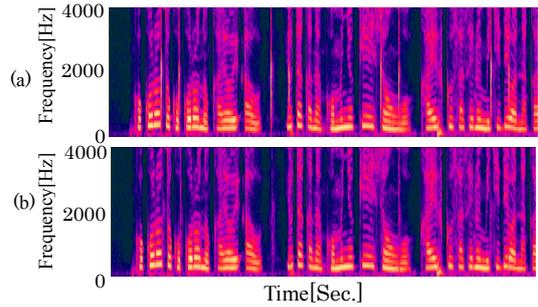


図4 衝撃成分抑圧結果  
(a)騒音重畳音声(PESQ=2.08)  
(b)処理結果(PESQ=3.11)

$$\xi_m(k) = \left| \tilde{S}_m(k) \right|^2 / \left| \hat{D}_m(k) \right|^2 \quad (17)$$

#### ②システム評価

計算機シミュレーションにより評価を行った。騒音として、クリップ音、鍵をかけるときに発生する騒音、拍手、クラッカーによる衝撃音を用いた。図3に各種騒音に対する騒音区間検出結果を示す。図3(a)に示す再現率では、従来法である電力による検出と比較して同程度以上の結果が得られた。また、図3(b)より精度は提案手法により平均38.6ポイントの改善が確認された。図4に衝撃部の騒音抑圧結果を示す。騒音として鍵をかけるときの音を用いた。シミュレーション結果より提案手法によりPESQが約1.0ポイント改善されており、突発性騒音の抑圧が確認された。

#### 4. 研究成果

本研究において得られた成果を下記に挙げる。

・4次キウムラントを基にする適応アルゴリズムの開発及びそれを用いた騒音抑圧システムが実現された。

・更なる騒音抑圧性能の改善のため、再帰アルゴリズムを導入し、騒音抑圧性能が改善された。

・突発性騒音の衝撃成分抑圧のため、4次キウムラントを基にする騒音区間検出及び騒音抑圧手法を提案し、騒音抑圧性能の改善が確認された。

突発性騒音は、その特性が大きく変動する。鳴り始めは衝撃による広帯域成分を持ち、その後、物体の固有振動に伴う狭帯域成分に移行する。本研究では、それぞれの成分に対応する騒音抑圧手法の開発を行った。特に固有振動成分を抑圧する手法として、従来にはなかったリアルタイム処理可能な手法を開発した。これにより補聴器だけでなく、携帯電話などへの突発性騒音抑圧システムの導入が可能となった。今後の課題として、衝撃部騒音抑圧手法の性能改善並びに衝撃部並びに固有振動部を同時抑圧する手法の開発が必要である。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① Norihiro Mamizu, Naoto Sasaoka and Yoshio Itoh, Noise activity detection based on 4th order cumulant for impact noise, Proc. 2014 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, 査読有, 2014, 85-88  
DOI: 10.1109/APCCAS.2014.7032725
- ② Naoto Sasaoka, Kazumasa Ono and YoshioItoh, Speech enhancement using normalized cumulant-based adaptive algorithm for transient noise, Proc. 2014 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 査読有, 2014, 2313-2316.  
DOI: 10.1109/ISCAS.2014.6865634
- ③ Naoto Sasaoka, Kazumasa Ono and Yoshio Itoh, Speech enhancement based on 4th order cumulant backward linear predictor for impulsive noise, Proc. 2012 IEEE 11th International Conference on Signal Processing, 査読有, 2012, 147-131.  
DOI: 10.1109/ICoSP.2012.6491616
- ④ Kazumasa Ono, Naoto Sasaoka and Yoshio Itoh, A study on 4th order cumulant-based adaptive algorithm for impulsive noise reduction, Proc. 27th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications, 査読有, 2012, D-T2-02.

〔学会発表〕(計3件)

- ① 濱橋直也, 笹岡直人, 馬水規寛, 伊藤良生, 4次キウムラントによる突発性騒音フレーム検出を用いる音声強調, 電子情報通信学会 2015年総合大会, 2015年3月12日, 立命館大学(滋賀県草津市), 290
- ② 馬水規寛, 笹岡直人, 奥村慎吾, 伊藤良生, キウムラントを用いた音声に重畳する突発性騒音区間検出に関する一検討, 電子情報通信学会スマートインフォメディアシステム研究会, 2013年12月12日, とりぎん文化会館(鳥取県鳥取市), SIS2013-36
- ③ 小野和昌, 笹岡直人, 伊藤良生, 突発性騒音のための音声強調に用いる4次キウムラントを基にする適応アルゴリズムに関する一検討, 電子情報通信学会信号処理研究会, 2013年5月16日, 岡山大学(岡山県岡山市), SIP2013-10

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹岡 直人 (SASAOKA, Naoto)

鳥取大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80432607