

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20760240

研究課題名(和文) 周囲環境適応型騒音抑圧システムの補聴器への応用開発

研究課題名(英文) Development on Hearing Aid with Adaptive Noise Reduction System

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

研究成果の概要(和文)：補聴器用騒音抑圧システムの研究開発を実施した。現在、補聴器の普及率は高くはなく、更なる普及のためには音声に混在する周囲環境騒音の抑圧が必須である。周囲環境騒音は時間変動するため、それに追従する騒音抑圧システムの導入を行った。本システムは、時間領域において常に追従可能な適応フィルタを用いている。計算機シミュレーションにより騒音抑圧システムの有効性が確認された。また、騒音抑圧システムを搭載した補聴器の試作を行った。

研究成果の概要(英文)：In this research, a noise reduction system for a hearing aid was proposed. The diffusion rate of a hearing aid is about 25% in Japan, and the noise reduction which reduces the background noise superposed in speech is required for the spread of a hearing aid. Because the background noise is changed, the noise reduction system, which can track the change of the background noise, is proposed. From the simulation results, the proposed system can improve the noise reduction ability. In addition, the prototype of the hearing aid with the noise reduction was made.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
総計	2,200,000	660,000	2,860,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：情報通信工学, 信号処理, 音声騒音抑圧, 適応フィルタ, 補聴器

1. 研究開始当初の背景

現在、日本国内において聴覚障害者数は35万人、軽度中度難聴者は600万人以上にのぼるとされている(社団法人全日本難聴者・中途失聴者団体連合会調べ)。また、65歳以上の高齢者の人口は、2660万人(平成18年現在)となり、高齢化率は20%を超えた。今後、2.5人に1人が高齢者、4人に1人が後期高齢者となることが見込まれている(平成19年度版高齢社会白書)。一方、携帯電話、PHSの契約者数は、9千万件を超え、子供からお年寄りまで携帯電話を持つ時代となるなど、

今後、ユビキタスネットワーク社会がますます広がっていくことが予想される。しかしながら、P2P音声通信サービスの普及に見られるように、ユビキタスネットワークが広まるほど、コミュニケーションの基本が会話であることが認識される。また、ユビキタスネットワークの実現する社会は、聴覚障害者、軽度中度難聴者へやさしい社会でなければならない。そのツールとして重要なものが、補聴器である。しかしながら、日本国内の補聴器普及率は約25%と高くない。補聴器の普及を推進するためには、工学の立場から、様々

な環境でも使いやすく、安価な補聴器を提供することにある。

使いやすい補聴器の実現には、時々刻々と変化する周囲環境騒音による受話品質劣化の改善が欠かせない。補聴器は生活を送る上で常に使用する必要がある。つまり、様々な環境下で補聴器を使用することになる。このような状況では、周囲環境騒音が所望信号に混在するため、受話品質の劣化が生じる。さらには、補聴器使用者の疲労につながる。こうした問題を解決するため、いかなる環境下においても周囲騒音にロバストな補聴器を開発することが、強く要望されている。

2. 研究の目的

上記の課題に対して騒音抑圧システムの採用による解決法が考えられる。騒音抑圧システムを補聴器に導入することにより、受話品質の改善が可能となる。騒音抑圧システムに関して、本研究期間内での開発項目及び範囲を下記の3点とし、最終的には補聴器の試作まで実施する。

- ・周囲環境の変動にロバストな騒音抑圧システムの設計及び評価
- ・上記の新しいアルゴリズムの DSP 実装及び評価
- ・補聴器の試作及び評価

3. 研究の方法

実環境において周囲環境騒音は、その特性が常に大きく変化する。このような特性変動が大きい非定常騒音にロバストな騒音抑圧用適応フィルタのアルゴリズムの提案を行う。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) 可変ステップサイズを利用した騒音再合成法

①基本構成：基本回路構成を図1に示す。この回路は以下のように動作する。騒音重畳音声 $x(n)$ (n は時刻を表す)は、音声 $s(n)$ に周囲騒音 $\xi(n)$ が重畳した信号である。ここで、周囲騒音は、白色信号に騒音スペクトルが与えられて生成されていると仮定する。この騒音重畳音声を前段の線形予測誤差フィルタ(LPEF)に入力すると、出力として白色化された騒音を得られる。LPEFは入力信号を白色化することが知られている。ここで、音声成分は短時間で観測すると定常で周期的な信号であるため、線形予測器で予測され、LPEFの出力として現れない。次に、後段のシステム同定を利用した騒音再合成フィルタ(NRF)を用いて騒音の再合成を行う。白色化騒音をNRFの入力信号、騒音を参照信号、音声を外乱とするとNRFはシステム同定モデルとして動作し、出力として騒音が再合成される。NRF出力である再合成騒音は、

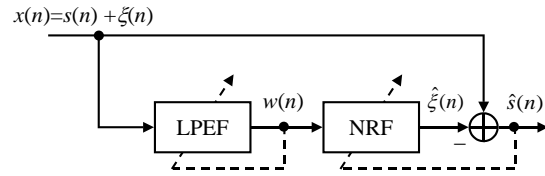


図1 騒音抑圧回路構成

$$\hat{\xi}(n) = \sum_{k=0}^{N} h'_k(n)w(n-k) \quad (1)$$

により定義される。ここで、 $h'_k(n)$ はタップ係数、 N はタップ数である。このとき、NRFのタップ係数を更新するアルゴリズムとして次式に示すNormalized Least Mean Square(NLMS)アルゴリズムが用いられる。

$$\mathbf{h}'(n+1) = \mathbf{h}'(n) + \mu' \frac{\mathbf{w}(n)}{\|\mathbf{w}(n)\|^2} \hat{s}(n) \quad (2)$$

$$\mathbf{h}'(n) = [h'_0(n), h'_1(n), \dots, h'_{N_3}(n)]^T \quad (3)$$

$$\mathbf{w}(n) = [w(n), w(n-1), \dots, w(n-N_3)]^T \quad (4)$$

ここで、 $\|\bullet\|$ はノルムを表す。また μ' 、 $\mathbf{h}'(n)$ はそれぞれステップサイズ、タップ係数ベクトルを表す。このステップサイズの最適値は、SNR及び騒音の特性により異なる。そこで本可変ステップサイズ法では、次式により入力信号、強調音声、外乱の各相関値によりステップサイズを適応的に変動させる。

$$\mu'_0(n) = 1 - \frac{E[\hat{s}(n)x(n) - \hat{s}(n)\xi(n)]}{E[\hat{s}^2(n)]} \quad (5)$$

このとき、局所SNRの大きい音声区間においてステップサイズを減少させ、局所SNRの小さい区間ではステップサイズを増加させる。これにより、高音質を維持しつつ、非定常騒音を効率的に抑圧することが可能となる。

②システム評価：計算機シミュレーションによる評価を行った。騒音として、人工的に発生させた非定常有色騒音を用いた。図2にシミュレーション結果を示す。音質を評価するQSが同程度のとき、出力SNRが可変ステップサイズを用いない騒音再合成法と比較して約7.2dB改善しており、本手法の有効性が確認された。

③DSP実装、補聴器試作、評価：本手法についてDSP(テキサス・インスツルメンツTMS320C6713)実装並びに簡易補聴器の試作(図3)並びに主観評価を行った。主観評価結果を表1に示す。主観評価方法は処理前、処理後の騒音重畳音声に対する一対比較であり、11名を対象に実施した。また、MOS(5段階評価)による評価とした。主観評価結果より実騒音(工場内騒音)に対する騒音抑圧性能が改善していることが確認された。

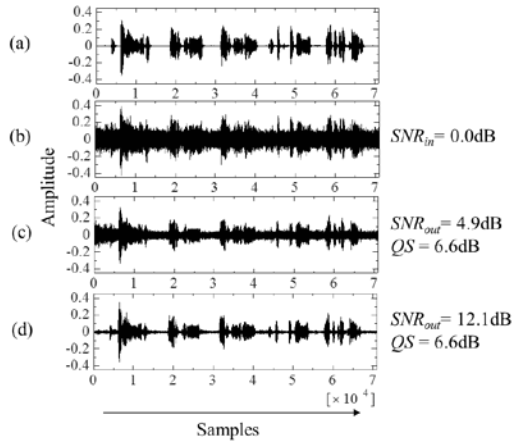


図2 シミュレーション結果(女声)
(a)原音声 (b)騒音重畳音声 (c)従来法出力
(d)提案法出力



図3 補聴器の試作

表1 主観評価結果

	平均評点
可変ステップサイズを用いない騒音再合成法	2.45
提案法	3.09

(2) 相関推定方程式誤差 IIR-ADF の導入

①基本構成: NRF における騒音推定精度を改善するため、NRF に IIR(Infinite Impulse Response)–ADF(Adaptive Digital Filter)を導入する。IIR-ADF は少ないタップ数で FIR(Finite Impulse Response)-ADF と同様に騒音を推定することができる。また本稿では、外乱にロバストな相関推定方程式誤差 IIR-ADF を用いる。

NRF の伝達関数を次式のように表す。

$$H_{NRF}(z) = \hat{B}(z) / \hat{A}(z) \quad (6)$$

ここで、 $\hat{A}(z)$ 及び $\hat{B}(z)$ は次式により定義する。

$$\hat{A}(z) = \hat{a}_0(n) + \hat{a}_1(n)z^{-1} + \dots + \hat{a}_N(n)z^{-N}$$

$$\hat{B}(z) = \hat{b}_0(n) + \hat{b}_1(n)z^{-1} + \dots + \hat{b}_N(n)z^{-N} \quad (7)$$

$\hat{a}_0(n) = 1$ とし、それぞれのタップ係数ベクトルを $\mathbf{a}(n)$ 及び $\mathbf{b}(n)$ とおく。

図4に相関推定方程式誤差適応アルゴリズムの構成を示す。ここで誤差信号 $e'(n)$ はタ

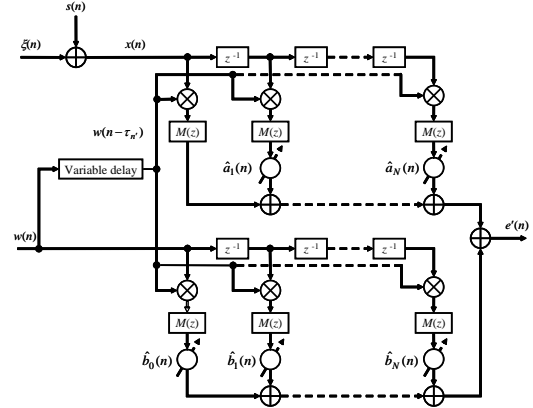


図4 相関推定方程式誤差適応アルゴリズム構成図

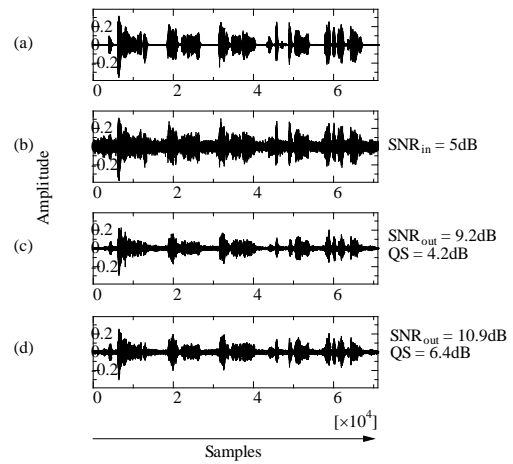


図5 工場内騒音によるシミュレーション結果(女声) (a) 原音声 (b) 騒音重畳音声 (c) 可変ステップサイズを用いない騒音再合成法 (d) 提案法出力

ップ係数を更新するために用いる。次に、 $R_{wx}(n, l - \tau_n)$ 及び $R_{ww}(n, l - \tau_n)$ をそれぞれ $w(n - \tau_n)$ と $x(n - l)$ の相互相関関数及び $w(n - \tau_n)$ と $w(n - l)$ の相互相関関数とし、 $\mathbf{x}'(n)$ 及び $\mathbf{w}'(n)$ を、

$$\begin{aligned} \mathbf{x}'(n) &\approx \begin{bmatrix} R_{wx}(n, -\tau_n) & R_{wx}(n, 1 - \tau_n) & \dots \\ & & R_{wx}(n, N - \tau_n) \end{bmatrix}^T \\ &\approx [R_{wx}(n, -\tau_n) \quad \mathbf{R}'_{wx}(n, \tau_n)^T]^T \quad (12) \\ \mathbf{w}'(n) &\approx \begin{bmatrix} R_{ww}(n, -\tau_n) & R_{ww}(n, 1 - \tau_n) & \dots \\ & & R_{ww}(n, N - \tau_n) \end{bmatrix}^T \end{aligned} \quad (13)$$

により定義する。図4における $M(z)$ は、式(13)を算出するための線形フィルタである。

$e'(n)$ の2乗平均を最小にするアルゴリズムは NLMS (Normalized Least Mean Square) を用いて次式のように表される。

$$\hat{\mathbf{h}}(n'+1) = \hat{\mathbf{h}}(n') + \mu' \frac{\mathbf{u}(n')e'(n')}{\mathbf{u}^T(n')\mathbf{u}(n')} \quad (21)$$

ここで μ' はステップサイズである。そして、

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{h}}(n) &= [\hat{\mathbf{a}}'(n)^T \quad \hat{\mathbf{b}}(n)^T]^T \\ \mathbf{u}(n) &= [-\mathbf{R}'_{wx}(n, \tau_n)^T \quad \mathbf{w}'(n)^T]^T \end{aligned} \quad (20)$$

である。ブロック番号 n' は、 $n' = \text{div}(n, (L+1))$ により与えられる。ここで $\text{div}(v, w)$ は v/w 以下で最大の整数を表す。NRF の入力信号 $w(n)$ は外乱 $s(n)$ と独立であるため、入力信号と外乱の相関は零となる。これにより相関をタップ入力とする本システムでは外乱の影響を抑えることが可能となり、騒音推定性能が改善する。

②システム評価：計算機シミュレーションによる評価を行った。騒音として、実環境騒音である工場内騒音を用いた。シミュレーション結果を図5に示す。出力 SNR 及び音質を評価する QS が可変ステップサイズを用いない騒音再合成法と比較して改善しており、本手法の有効性が確認された。

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。

- ・可変ステップサイズを利用した騒音抑圧システムにより周囲環境変動に追従するシステムが実現された。
- ・更なる音声強調性能の改善のため、相関推定方程式誤差 IIR-ADF の導入を図り、音声強調性能の改善が確認された。
- ・可変ステップサイズを用いた騒音再合成法に関して、DSP 実装、補聴器の試作を行った。そして、主観評価により本システムの有効性が確認された。

詳細は各雑誌論文、学会発表を確認されたい。実環境において周囲環境騒音は、その特性が常に大きく変化する。このような特性変動が大きい非常騒音にロバストな騒音抑圧用適応フィルタのアルゴリズムの開発、評価を行った。可変ステップサイズ法を導入した騒音抑圧法は、時間領域において常に適応制御を行うため、周囲騒音の大きな特性変動にも追従可能である。本研究では補聴器の試作を行ったが騒音抑圧装置は補聴器の外部に取り付けた、今後は騒音抑圧装置をイヤホン内部に導入した補聴器を開発する必要がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

①Takafumi Takemoto, Naoto Sasaoka, *et al.*, “Speech Enhancement Based on Lattice Filter and System Identification,” Proc. of International Symposium on Communications and Information Technologies 2010 (ISCIT2010), pp.441–446, Oct. 2010, 査読有

②Naoto Sasaoka, *et al.*, “A Study on Noise Estimation Based on Robust Equation Error IIR ADF for Speech,” Proc. of 2010 IEEE 10th International Conference on Signal Processing

(ICSP2010), pp.127–130, Oct. 2010, 査読有

③Takafumi Takemoto, Naoto Sasaoka, *et al.*, “A Study on Speech Enhancement Based on Lattice Predictor and System Identification,” Proc. of 2010 International Workshop on Information Technology (ICT2010), S-I-4, Aug. 2010, 査読有

④Naoto Sasaoka, *et al.*, “A Study on Speech Enhancement Based on LPEF and Equation Error IIR ADF,” Proc. of 2009 International Workshop on Smart Info-Media Systems in Asia (SISA2009), pp.207–211, Oct. 2009, 査読有

⑤Naoto Sasaoka, *et al.*, “A variable step size algorithm for speech noise reduction method based on noise reconstruction system,” IEICE TRANS. FUNDAMENTALS, Vol.E92-A, No.1, pp. 244–251, Jan. 2009, 査読有

〔学会発表〕(計6件)

①竹本貴文, 笹岡直人他, “ラティス型LPEF並びにALEを用いた騒音再合成法に関する一検討,” 電子情報通信学会 2010年ソサイエティ大会講演論文集, pp.180, Sep. 2010, 査読無

②長谷川輝, 笹岡直人他, “方程式誤差IIR-ADFを用いた騒音推定に関する一検討,” 信学技報, SIS2010-6, Jun. 2010, 査読無

③竹本貴文, 笹岡直人他, “ラティスフィルタ及びシステム同定を用いた騒音抑圧法に関する研究,” 信学技報, SIS2009-62, Mar. 2010, 査読無

④笹岡直人他, “騒音抑圧のための相関推定方程式誤差IIR-ADFに関する一検討,” 電子情報通信学会 2009年ソサイエティ大会講演論文集, pp.209, Sep. 2009, 査読無

⑤島田康二, 笹岡直人他, “相互相関推定による可変ステップサイズを用いた騒音再合成法に関する一検討,” 信学技報, SIS2008-82, Mar. 2009, 査読無

⑥島田康二, 笹岡直人他, “適応フィルタを用いた正弦波及び広帯域騒音抑圧法の可変ステップサイズに関する検討,” 電子情報通信学会 2008年ソサイエティ大会講演論文集, p.178, Sep. 2008, 査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

笹岡 直人 (SASAKA NAOTO)

鳥取大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：80432607