

○牧野 昭二 羽田 陽一 中川 朗 (NTT ヒューマンインタフェース研究所)

## 1. まえがき

エコーキャンセラの音声入力に対する収束速度を改善するための手法として、サブバンド構成法と射影法が提案されている。サブバンド法は、信号をいくつかの周波数帯域に分割することにより、それぞれの帯域で入力信号を白色化する [1]。SSB (single side band) 変調法 [2] を用いることにより、エコーキャンセラ処理を実数で演算することができる。

一方、射影法は、アルゴリズム内部で入力信号を白色化することにより、音声のように相関のある信号に対する収束速度を改善できる [3]。

本報告では、SSB サブバンドエコーキャンセラに射影法を適用することにより、サブバンド内でさらに白色化を進めるサブバンド射影法を提案し、少ない射影次数で音声信号をほぼ完全に白色化でき、収束速度をほぼ限界まで改善できることを示す。

## 2. SSB サブバンド法

サブバンドエコーキャンセラの構成を図1に示す。受話入力  $x(n)$  とエコー信号  $y(n)$  は  $N$  個のサブバンドに分割される。各サブバンドは適応フィルタを持っており、それぞれ独立にエコーを消去する。各サブバンドの誤差信号から全帯域の誤差信号  $e(n)$  を合成する。信号を複数の周波数帯域に分割することにより、それぞれの帯域で入力信号が白色化されるため、音声入力に対する収束速度を改善することができる。ポリフェーズフィルタバンクを用いたサブバンドエコーキャンセラにおいては、各帯域の信号は複素数になるため、エコーキャンセラ処理も複素数となる [4]。ここでは、エコーキャンセラ処理を実数で演算するため、SSB 変調法を用いる。サブバンド法には、間引きによってサンプリング間隔が広がり、かつ、適応フィルタのタップ数を削減できるため、効率的に演算ができるという利点がある。

\*SSB subband projection algorithm for echo cancellers. By Shoji Makino, Yoichi Haneda, and Akira Nakagawa (NTT Human Interface Laboratories)

## 3. 射影法

射影法は、アルゴリズム内部で入力信号の自己相関を取り除くことにより、音声のように相関のある信号に対する収束速度を改善するという考え方に基づいている。  $p$  次の射影法は、次式で表わされる。

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{h}}(k+1) &= \hat{\mathbf{h}}(k) + \alpha \mathbf{X}(k) [\mathbf{X}(k)^T \mathbf{X}(k) + \delta \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{e}(k) \\ &= \hat{\mathbf{h}}(k) + \alpha [\beta_1(k) \mathbf{x}(k) + \beta_2(k) \mathbf{x}(k-1) \\ &\quad + \dots + \beta_p(k) \mathbf{x}(k-p+1)] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\beta(k) = [\mathbf{X}(k)^T \mathbf{X}(k) + \delta \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{e}(k) \quad (2)$$

$$\mathbf{X}(k) = [\mathbf{x}(k), \mathbf{x}(k-1), \dots, \mathbf{x}(k-p+1)] \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{e}(k) &= \mathbf{y}(k) - \mathbf{X}(k)^T \hat{\mathbf{h}}(k) + \mathbf{n}(k) \\ &\cong [e(k), (1-\alpha)e(k-1), \dots, (1-\alpha)^{p-1}e(k-p+1)]^T \\ &\quad \beta(k) = [\beta_1(k), \beta_2(k), \dots, \beta_p(k)]^T. \end{aligned} \quad (4)$$

$p$  次の射影法では、過去の  $p$  個の入力信号ベクトルに対して正しい出力を得るように適応フィルタを修正する [3]。その結果、入力信号は射影の次数  $p$  に応じて白色化されている。一般的には、射影の次数を大きくするに従い、収束速度が増加する。高速演算法 [5][6] を適用することにより、 $2L + 20p$  回の積和演算で  $p$  次の射影法を実現することができる。

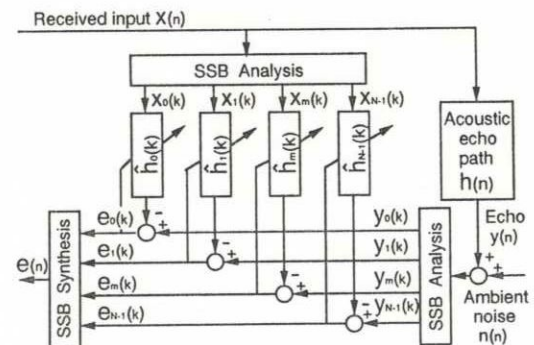


図1 サブバンドエコーキャンセラの構成

## 4. サブバンド射影法

サブバンドエコーキャンセラにおいて、各帯域の音声のスペクトル形状はそのまま保存されている。

また、間引きが最大間引きより小さくなるにつれて、帯域フィルタの形状の影響が大きくなる。このため、それぞれの帯域の信号は完全に白色化されているわけではなく、射影法を適用することによりさらに白色化が期待できる。

一方、射影法の白色化の効果は、適応フィルタのタップ数と関係がある [7]。1000 タップ程度の時には、射影の次数を 2 次にしただけで音声入力に対する収束速度を約 2 倍にできるが、さらに次数を上げても効果は少なく、50-100 次程度まで上げて収束速度は限界値に達しない。ところが、64 タップ程度の時には、射影の次数を上げるに従い収束速度も速くなり、16 次程度の低い次数で飽和し、ほぼ限界値に達する。

サブバンドエコーキャンセラにおいて、各帯域のタップ数は間引かれて少なくなっている。ここに射影法を適用すれば、少ない射影次数で速い収束速度が期待できる。

## 5. 計算機シミュレーション

真のインパルス応答長 512 タップ、サンプリング周波数 16kHz、帯域分割数  $N=32$ 、間引き率  $R=8$ 、それぞれの帯域(サンプリング周波数 2kHz)の適応フィルタ長 64 タップ(エコー消去時間長 32ms)とした。受話入力には音声信号を用いた。エコー信号には  $SNR=35dB$  となるように近端雑音を加えた。ここでは、定常エコー消去量がほぼ等しくなるように、ステップサイズ  $\alpha$  を設定した。

エコー消去量 (ERLE) の収束特性の計算機シミュレーションの 50 回の平均値を図 2,3 に示す。図 2 は  $N=1$ (フルバンド)の場合である。図 2 より、フルバンドの場合には、射影の次数を 2 次にしただけで収束速度が約 2 倍になるが、それ以上次数を大きくしても収束速度の改善は少ない。また、32 次でもまだ収束速度は限界値に達していない。

図 3 は  $N=32$  帯域の場合である。図 3 より、32 サブバンドの場合には、射影の次数を大きくするに従い収束速度が速くなり、16 次で収束速度はほぼ限界値に達している。

## 6. あとがき

SSB サブバンドエコーキャンセラに射影法を適

用することにより、サブバンド内でさらに白色化を進めるサブバンド射影法を提案した。室内音場のインパルス応答データを用いた計算機シミュレーションにより、少ない射影次数で収束速度の限界値を達成できることを明かにした。

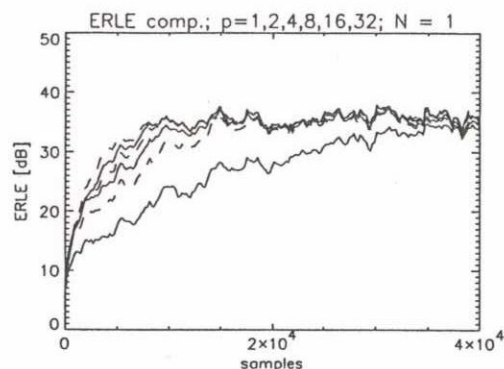


図 2 収束特性 ( $N=1$ , 音声入力)

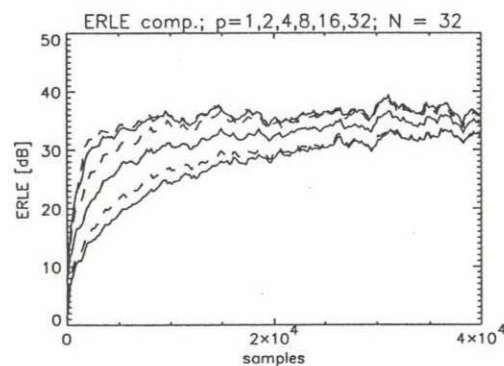


図 3 収束特性 ( $N=32$ , 音声入力)

## 謝辞

日頃御指導頂く、北脇音声情報研究部長、小島グループリーダー、金田主幹研究員に深謝する。

## 参考文献

- [1] W. Kellermann, *Proc. ICASSP88*, pp. 2570-2573.
- [2] R. Crochiere and L. Rabiner, *Multirate Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, 1983.
- [3] 尾関, 梅田, 信学論 (A), vol. J67-A, no. 2, pp. 126-132 (1984.2).
- [4] 中川, 羽田, 牧野, 音講論, (1995.9).
- [5] M. Tanaka, et al., *Proc. ICASSP95*, pp. 945-948.
- [6] S. Gay and S. Tavathia, *Proc. ICASSP95*, pp. 3023-3026.
- [7] 田中, 牧野, 金田, 音講論, 1-4-14, pp. 489-490 (1992.10).