

◎鈴木邦和(東京工芸大) 阪内澄宇 島内末廣 牧野昭二(NTT研究所)

1.はじめに

ステレオエコーキャンセラ(SEC)において、適応フィルタが真のエコー経路に収束するためには、ステレオ受話信号の相互相関の低減(変動)が有効である。従来は、この相互相関の変動を目的として、受話信号に対して歪みを付加する方式が数多く提案されてきた[1][2][3][4]。しかし、これらの方式では、音声歪みと収束性能がトレードオフの関係にあるという問題がある。一方、実際の通話時においては、遠端の送話者の微小な動きによっても、相互相関が変動する。そこで本報告は、音像の定位に影響しない遠端の送話者の自然な動きが、通話品質を劣化させることなく収束性能に対して有効である検討結果を示す。

2.送話者の微小な動きによる影響

実際のステレオ通話系において、送話者は無意識のうちに身体を微小に揺り動かしている。このような微小な動きで、送話者の音像が乱れる事はあまりないが、ステレオ信号の相互相関は変動している。本報告では、主観評価実験から、聴感上問題とならない送話者の最大許容移動幅を明らかにする。さらにその結果を元に、SECの収束特性シミュレーションを行い、従来手法との収束性能比較を行う。

通話者の移動方向としては、左右のマイクロホンに正対した時、前後・左右・上下方向が考えられるが、本報告では、左右方向で基本原理を確認する事とした(図1)。また、送話者位置によって音像の定位に影響しない移動幅が異なると予想されるので、図2の8カ所(A~H)の送話者位置について検討した。

主観評価実験及び収束特性シミュレーションに使用するための参照信号として、実際に移動している送話者の音声を用いると、移動幅などの正確な再現が困難である。そこで、Lcm幅の送話者の移動を以下の手法で再現した。遮音室において各送話者位置

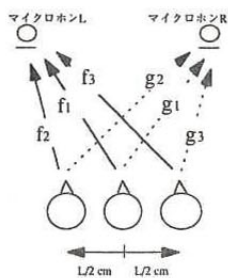


図1：送話者の移動

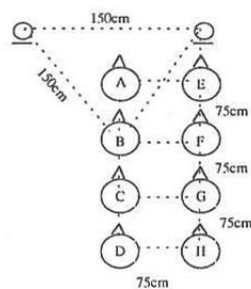


図2：送話者位置

にスピーカを設置し、そこからマイクロホンL及びRまでのインパルス応答(f_1, g_1)と、各送話者位置から左及び右にL/2cmの位置からマイクロホンL・Rまでのインパルス応答(f_2, f_3, g_2, g_3)を測定した(図1)。そして図3に示すように、3つの独立した時間窓(w_1, w_2, w_3)をかけたCD音声に、 f_1, f_2, f_3 及び g_1, g_2, g_3 を畳み込んだ後、足し合わせ、参照信号の左チャンネル(x'_1)、右チャンネル(x'_2)とした。なお、送話者の左右への移動周期は2秒とした。

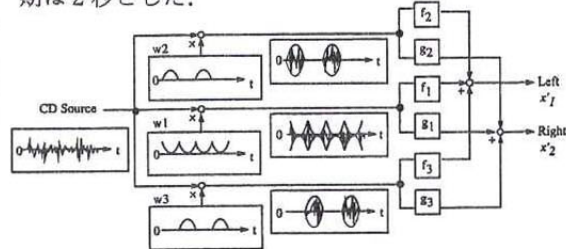


図3：送話者移動の再現

3.主観評価実験

各送話者位置における最大許容移動幅を明らかにするために主観評価実験を行った。遮音室において、2つのスピーカを150cm離して設置し、評定者の頭部と2つのスピーカが正三角形を形成する位置で評価を行った。実験には7kHz帯域の音声を用いた。評定者は音声研究者男女10名である。評価は、音像の揺れと不自然さの是非を問う2段階評価とした。ここでは、評定者の50%以上が容認した参照信号をもって、音像の定位に影響しない最大許容移動幅を決定した。

図4に、実験より得られた各送話者位置における最大許容移動幅を示す。この結果は、話者位置によって音像の定位に影響しない許容移動幅が異なる事を示している。

送話者位置	移動幅(cm)	送話者位置	移動幅(cm)
A	5	E	60
B	10	F	40
C	10	G	40
D	20	H	60

図4：送話者位置ごとの最大許容移動幅

4.収束特性シミュレーション

収束性能の評価のために計算機による収束特性シミュレーションを行った。参照信号には、主観評価実験より明らかになった各送話者位置における最大許容移動幅での移動を再現した信号を用いた。スピーカ・マイクロホン間のインパルス応答 h_1, h_2 を残響時間200msの部屋において標準化周波数16kHzで測定し、これを模擬するフィルタ h'_1, h'_2 は各1000タップとした。式(1)に示す通り、評価は h'_1, h'_2 と h_1, h_2 との係数誤差 ϵ で行った。なお適応アルゴリズムとして2次のステレオ射影アルゴリズム[1]を使用した。図5にSECの構成を示す。

* Decorrelation of the stereo signals based on acoustic path variation.

By Kuniyasu Suzuki (Tokyo Institute of Polytechnics), Sumitaka Sakauchi, Suehiro Shimauchi and Shoji Makino(NTT Laboratories)

$$\varepsilon = \frac{\|h_1 - h'_1\|^2 + \|h_2 - h'_2\|^2}{\|h_1\|^2 + \|h_2\|^2} \quad (1)$$

ここでは例として、送話者位置G(図2)における送話者移動を再現した信号と、同じ位置Gで送話者が静止している場合に従来方式で処理した信号の収束特性を、図6に示す。従来方式としては、半波付加方式[3](MOS=2.8[4])、文献[5]の方式を用いた。文献[5]の方式とは、一方のチャンネルの信号を数千サンプル毎に、1サンプル遅延ありと遅延なしを切り替える方式である。図6の縦軸は係数誤差 ε [dB](収束性能)、横軸は所要時間である。図6から、半波付加方式や文献[5]の方式よりも、送話者が移動している時の収束性能が優れている事が分かる。他の送話者位置においても、同様の結果が得られた。

以上の結果から分かるように、音像の定位に影響しない送話者の移動は、従来の方式より優れた収束性能を示す。

5. 送話者移動の簡易な模擬方法

図3に示した方法は、モノラルの残響付加のないドライな音源に対する送話者移動再現方法である。しかし、実際のSECで処理される受話信号は、ステレオ信号であるため、空間的情報が含まれており、既に、送話者移動の中心である $f1$ と $g1$ が畳み込まれているものと同等である。図1の様に、送話者の左への移動を再現するには、厳密には $f2f1^{-1}, g2g1^{-1}$ というフィルタをかける必要がある。しかし、逆フィルタ $f1^{-1}, g1^{-1}$ は不安定な場合もあり、算出方法も複雑である。そこで、 $f2f1^{-1}, g2g1^{-1}$ と同等の効果を簡易に実現できるフィルタ($F12, G12$)を畳み込む方式を検討する必要がある。その第一段階として、 $F12, G12$ を、 $f1$ と $f2$, $g1$ と $g2$ の時間差と音圧レベル差によって近似し、簡易に送話者移動を模擬する方法を検討する。

ここでは、送話者位置Cで発話したという空間的情報を含むステレオ信号 x_1, x_2 の各々に対し、図8に示すように、3つの独立した時間窓をかけ、時間差とレベル差のフィルタをかけた後、足し合わせて参照信号 x'_1, x'_2 を得る。この処理により得た信号に対する収束特性と、図3の処理により、送話者位置Cにおける移動を再現した信号に対する収束特性を図7に示す。時間差とレベル差で移動を模擬した場合でも、図3での送話者移動の再現と、ほぼ同等な収束特性が得られた。なお、送話者位置ごとに最大許容移動幅が異なるため、図8での $F12 \sim G13$ に、それらの位置に依存した異なるフィルタを用いることにより、より効果的な相互相関低減が可能である。

7. まとめ

通話品質を保ったまま、SECの収束性能の優れた相互相関低減方法を確立するために、遠端の送話者の自然な動きに着目した種々の検討を行った。初めに主観評価を行い、各送話者位置における最大許容移動幅の相異を示した。次に収束特性シミュレーションを行い、最大許容移動幅で再現した信号が、従来の相互相関変動方式よりも、優れた収束性能を示す事を明らかにした。最後に簡易な送話者移動の模

擬方法として時間差とレベル差を用いる事を検討し、その効果を確認した。

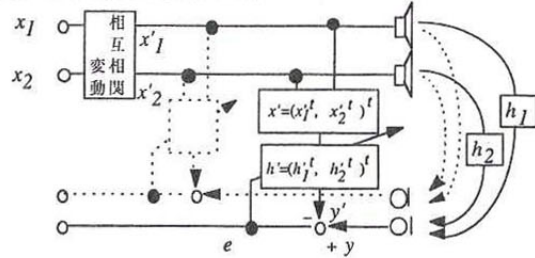


図5：ステレオエコーキャンセラの構成

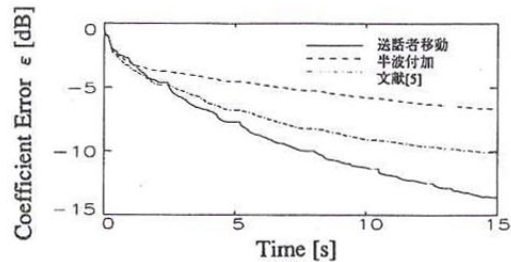


図6：送話者位置Gの収束特性

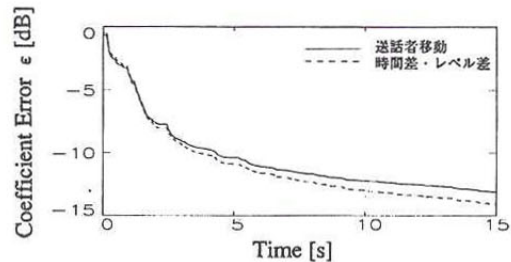


図7：時間差とレベル差を用いた時の収束特性

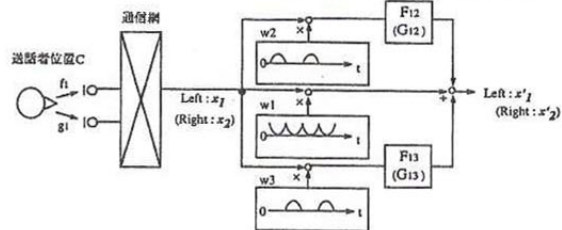


図8：送話者移動の簡易な模擬

謝辞

日頃御指導頂く、東京工芸大学杉山精教授、NTT研究所西野音声情報研究部長、金田GLに深謝する。

参考文献

- [1] S. Shimauchi and S. Makino, ICASSP95, vol. 5, pp. 3059-3062 (May.1995).
- [2] M.M. Sondhi, D.R. Morgan and J. Hall, IEEE SP letters, vol. 2, no.8, pp. 148-151 (Aug.1995).
- [3] J. Benesty, D.R. Morgan and M.M. Sondhi, Proc, ICASSP97, pp. 303-306 (1997).
- [4] 鈴木邦和, 阪内澄子, 島内末廣, 羽田陽一, 音講論集, 3-5-10 (Mar.1998).
- [5] Y. Joncour and A. Sugiyama, 信学ソ大, A-4-10 (1997).