

実時間信号処理システムを用いた音声信号のブラインド分離

荒木 貴行* 吉岡 慎二* 河野 清尊*

* 米子工業高等専門学校

Blind Source Separation for Audio Signals Using the Real Time Signal Processing System

Takayuki Araki*, Shinji Yoshioka* and Kiyotaka Khono*
*Yonago National College of Technology

Abstract: In this paper, we consider that the AMUSE algorithm is effective for blind source separation of audio signals through computer simulation. Then we propose an adaptive AMUSE and clarify problems in implementing the adaptive AMUSE in the real time signal processing system.

1. はじめに

ブラインド信号復元・分離とは、Fig.1 に示すように、原信号と混合システムが未知であるとき、観測信号のみから原信号を復元・分離するデジタル信号処理技術のことである。現在、移動体通信、音声・音響処理、画像処理や脳科学の分野で活発に研究されている¹⁾。

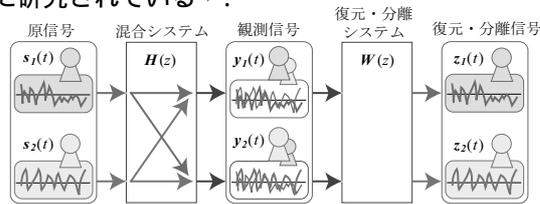


Fig.1 Blind model

音声のブラインド信号処理においては、入力された観測信号を実時間で処理し原信号を復元・分離することが望まれている。このような実時間処理を実現するために汎用の実時間信号処理システムが製品化されている。

一方、空間的混合 MIMO システムにおける音声信号のブラインド分離アルゴリズムとして、AMUSE などが提案されているが、実時間処理への応用はなされていない。

そこで、本研究では AMUSE を実時間信号処理システムへ実装することを目的に、AMUSE の有効性を計算機シミュレーションにより確認するとともに、混合システムが時間的に変化する場合にも追従可能な適応型 AMUSE を提案し、あわせて、適応型 AMUSE を実時間信号処理システムに実装するにあたっての問題点を明らかにする。

2. 実時間信号処理システム

本研究では実時間信号処理システムとして、コーメックス電子(株)製の DSP リアルタイムシミュレータ「PDRS-6000」を用いる。これは制御対象物の数学的モデルを MATLAB/Simulink 上でブロック線図を用いて構築し、1.8GFLOPS の DSP による演算処理、及び入出力制御を行い、リアルタイムシミュレーションの環境を提供するものである。Fig.2 に PDRS-6000 を用いた 2 入力 2 出力の MIMO システムの構成を示す。

3. 音声信号のブラインド分離アルゴリズム

3.1 問題のモデル化

ブラインド信号復元・分離は Fig.3 で示すような MIMO(多入力多出力)モデルで表すことができる。

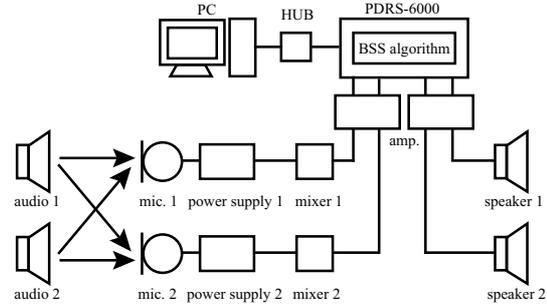


Fig.2 Composition Chart of Two-Input Two-Output MIMO system

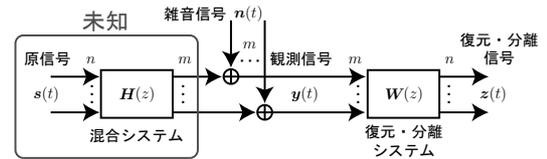


Fig.3 MIMO model

ここで、混合システムは信号の伝播に遅れがない空間的混合 (Blind Source Separation:BSS) とする。このとき観測信号 $y(t)$ は

$$y(t) = Hs(t) + n(t) \quad (1)$$

で表される。この観測信号のみから原信号を分離する分離システム W を直接推定し、次式で分離信号 $z(t)$ を得ようというのがブラインド信号分離である。

$$z(t) = Wy(t) \quad (2)$$

3.2 AMUSE

AMUSE(Algorithm for Multiple Unknown Signals Extraction)^{1),2)} は独立成分が時間的に相関のある有色信号であるとき、自己共分散を用いて分離システムを推定することができるブラインド分離アルゴリズムである。

観測信号を行列 V で無相関化する。

$$x(t) = Vy(t) \quad (3)$$

$z(t)$ に対する任意の時間差 τ の時間差共分散は

$$C_x(\tau) = E[x(t)x^T(t-\tau)] \quad (4)$$

これを対称化して、

$$C_x(\tau) = \frac{1}{2}[C_x(\tau) + C_x^T(\tau)] \quad (5)$$

1つの時間差 τ を用い、時間差共分散を求め固有値分解すると、

$$C_x(\tau) = W^T C_s(\tau) W \quad (6)$$

となり分離システム W を推定することができる。

3.3 計算機シミュレーション

原信号 $s(t)$ には、入力数 $n = 2$ 、サンプリング周波数 1.5kHz、データ長 48000、の音声信号を使用する。混合システム H は空間的混合とし、次式に示すものを用いた。

$$H = \begin{bmatrix} 0.9129 & 0.2491 \\ 0.1826 & 0.8305 \end{bmatrix} \quad (7)$$

分離精度の評価尺度として、多チャネル符号間干渉 M_{ISI} と相互相関関数 R を用いる。 M_{ISI} は負の値が大きいほど、 R は 1 に近いほど分離信号が原信号に近く評価が高い。

Fig.4 に SNR を -20 から 40[dB] まで変化させて分離を行ったときの M_{ISI} と R を示す。

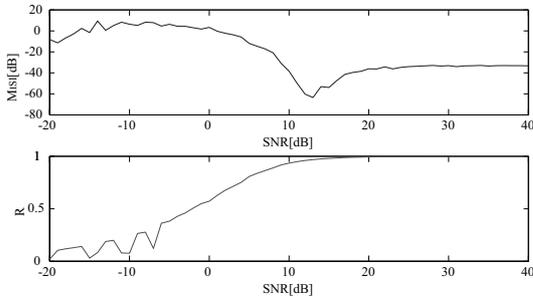


Fig.4 Relationship between the SNR and the separation accuracy

Fig.4 より SNR が 20[dB] 以上のとき十分に分離されていることが分かる。また、分離システム W の推定に用いる観測信号 $y(t)$ のデータ長と分離精度との関係を Fig.5 に示す。

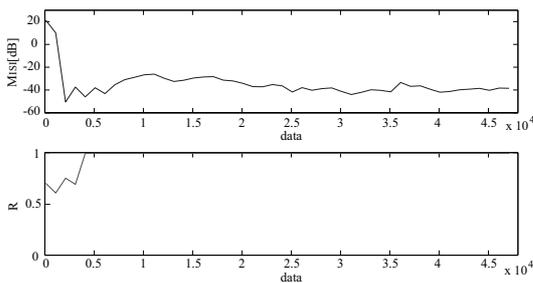


Fig.5 Relationship between the data length used to presume and the separation accuracy

Fig.5 は SNR=20[dB] のときのものであり、推定に必要な観測信号の最低のデータ長が 5000 であることが分かる。

4. 適応型 AMUSE の提案

AMUSE を時変形の混合システムに適応可能な適応型アルゴリズムを提案する。観測信号 $y(t)$ の

取得を並行して行い、分離システムの推定も並行して行うパイプラインタイプの適応型 AMUSE を Fig.6 に示す。

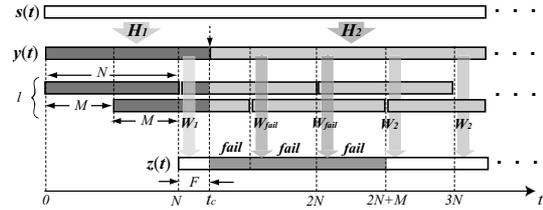


Fig.6 Adaptive AMUSE

l 段の処理を $M(= \frac{N}{l})$ 時間ずらしながら、観測信号 $y(t)$ を N 時間だけ取得し分離システム $W(t)$ を推定し、更新する。

時刻 $t = t_c$ で混合システム $H(t)$ が H_1 から H_2 に変化すると、分離システム $W(t)$ が W_2 に更新されるのは、時刻 $t = 2N + M$ であり、混合システム $H(t)$ が H_2 に変化してから $N + M - F$ 時間後には、再び分離可能となる。段数 l を増やせば、この遅れ時間を小さくすることができる。

5. 実時間信号処理システムへの実装

音声信号のブラインド分離アルゴリズムの PDRS-6000 への実装を行うにあたり、オリジナル AMUSE の実装を検討した。

その結果、PDRS-6000 では Simulink の限られた種類のブロックで AMUSE のアルゴリズムを記述しなければならないという問題点があることが分かり、現在その問題の解決に取り組んでいる。

6. おわりに

本稿では、まず、計算機シミュレーションにより AMUSE の有効性を確認した。その結果、SNR=20[dB] 以上で十分な音声信号の分離ができること、分離システムの推定に必要な観測信号の最低データ長が 5000 であることが分かった。

また時変形である混合システムに対する適応型 AMUSE を提案し、実時間信号システムへの実装にあたっての問題点を明らかにすることができた。

今後の課題として以下のものが挙げられる。

- ・適応型 AMUSE の有効性の計算機シミュレーションによる確認。
- ・オリジナル AMUSE の実時間信号処理システムへの実装。
- ・適応型 AMUSE の実時間信号処理システムへの実装と実環境でのブラインド音声分離の実現。

参考文献

- 1) A. Hyvärinen, J. Karhunen, E. Oja: *Independent Component Analysis*, John Wiley & Sons, pp. 341-354, (2001)
- 2) L. Tong, R. Lin, V. C. Soon, Y. Huang: Indeterminacy and Identifiability of Blind Identification, *IEEE Transactions on circuits and systems*, vol. 38, No. 5, pp. 499-509, (1991).