

# 実時間信号処理システムを用いた音声信号の ブロック適応型ブラインド分離

川戸 聡也\* 河野 清尊\*

\* 米子工業高等専門学校

## Block-Based Adaptive Blind Source Separation for Audio Signals Using the Real Time Signal Processing System

Toshiya Kawato\* and Kiyotaka Khono\*  
\*Yonago National College of Technology

**Abstract:** In this paper, we propose a new adaptive BSS algorithm for audio signals in order to solve the problem of indeterminacy about permutation. Then we present simulation results for the performance of proposed algorithm.

### 1. はじめに

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 が提案されている<sup>1)</sup>。

本研究では、まず、AMUSE の実時間処理への応用として既に提案した適応型 AMUSE (シリアル型)<sup>2)</sup> において、分離システム  $W$  の再推定ごとに分離信号の出力順番が入れ替わる「順番付けに関する不定性」の問題があることを、3 入力 3 出力の MIMO システムにおいて計算機シミュレーションにより確認する。

次に、「順番付けに関する不定性」の問題解決のために、新たな適応型 AMUSE (ブロック逐次型) を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより検証する。

### 2. AMUSE アルゴリズム

AMUSE (Algorithm for Multiple Unknown Signals Extraction)<sup>1)</sup> は原信号  $s(t)$  の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  $W$  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  $y(t)$  の自己共分散  $C_y(\tau)$  は

$$C_y(\tau) = E[y(t)y(t+\tau)^T] \quad (1)$$

となる。これを固有値分解すると、

$$C_y(\tau) = U\Lambda U^T \quad (2)$$

となり、観測信号  $y(t)$  を無相関化する行列  $V$  が求まる。

$$V = \sqrt{\Lambda}^{-1} U^T \quad (3)$$

行列  $V$  により観測信号  $y(t)$  を無相関化する。

$$x(t) = Vy(t) \quad (4)$$

$x(t)$  に対する任意の時間差  $\tau$  の時間差共分散は

$$C_x(\tau) = E[x(t)x(t+\tau)^T] \quad (5)$$

となり、これを対称化して、

$$\bar{C}_x(\tau) = \frac{1}{2}[C_x(\tau) + C_x(\tau)^T] \quad (6)$$

$$= W^T \bar{C}_s(\tau) W \quad (7)$$

となる。つまり時間差共分散分離  $\bar{C}_x(\tau)$  を求め、固有値分解することで、システム  $W$  を推定することができる。

### 3. 既存の適応型 AMUSE

オリジナル AMUSE は、ある長さ  $N$  の観測信号  $y(t)$  を用いてバッチ処理で分離システム  $W$  を推定するものであり、混合システム  $H$  が変化すると分離精度が下がることになる。

混合システム  $H$  の時間的な変化に対応するために、これまでにいくつかの適応型 AMUSE を提案してきた<sup>2)</sup>。そのうちシリアル型の適応型 AMUSE は、観測信号  $y(t)$  を一定長  $N$  ずつ確保し、 $N$  時間ごとに分離システム  $W$  を再推定して更新するアルゴリズムである。

### 4. 分離信号の順番付けに関する不定性

#### 4.1 分離信号の不定性

一般的にブラインド信号分離 (あるいは ICA) においては、原信号  $s(t)$  の独立性のみを仮定し、原信号  $s(t)$  のエネルギーや時間構造といった情報を持たないため、分離信号  $z(t)$  に以下のような不定性が存在する<sup>3)</sup>。

- (1) 信号の大きさに関する不定性  
振幅が決まらない
- (2) 時間方向の混合作用に関する不定性  
位相が決まらない
- (3) 分離信号の順番付けに関する不定性  
順番が決まらない

本研究で取り扱う MIMO モデルは空間的混合であり、時間方向の混合作用に関する不定性については考えなくてもよい。また、信号の大きさに関する不定性については、音量を調整することで対応が可能である。したがって、問題として残るのは分離信号  $z(t)$  の順番付けに関する不定性である。

適応型 AMUSE (シリアル型) において分離システム  $W$  を再推定すると、分離信号  $z(t)$  の順番が変化してしまう。分離システム  $W$  を再推定しても、分離信号  $z(t)$  の出力順番が入れ替わらないように固定することが本研究の目的である。

#### 4.2 適応型 AMUSE (シリアル型) における順番付けに関する不定性

適応型 AMUSE (シリアル型) において、分離システム  $W$  の再推定ごとに、分離信号  $z(t)$  に順番の入れ替わりがあることを計算機シミュレーションにより確認する。

原信号  $s(t)$  にはサンプリング周波数 44.1kHz、データ長  $10^6$  個の 3 人の音声信号を用い、観測信号  $y(t)$  の長さ  $N = 50000$  ごとに再推定する。分離精度の評価には多チャネル符号間干渉  $M_{ISI}$  を

用い、分離信号  $z(t)$  の入れ替わりの判定には、各原信号  $s_i(t)$  に対する各分離信号  $z_j(t)$  の相互相関関数  $Re_{i,j}$  を用いる。

分離シミュレーション結果を Fig.1 に示す。 $Re_{i,j}$  の折れ線は実線が分離信号  $z_1(t)$ 、破線が分離信号  $z_2(t)$ 、点線が分離信号  $z_3(t)$  に対する値を表す。

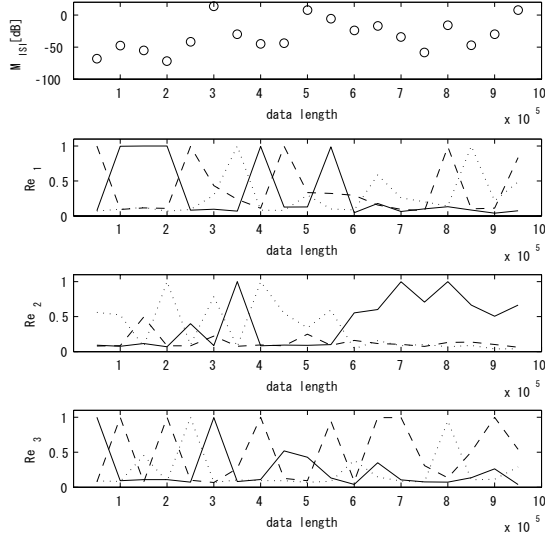


Fig.1 Adaptive AMUSE (Serial type)

$M_{ISI}$  にはばらつきがあるが、分離できていることが分かる。 $Re_{i,j}$  において、各原信号  $s_i(t)$  に対して最大の値をとる分離信号  $z_j(t)$  が分離システム  $W$  を再推定する度に変化しているため、分離信号  $z(t)$  に順番の入れ替わりが発生していることが分かる。

## 5. 新しい適応型 AMUSE

既存の適応型 AMUSE (シリアル型) に存在する分離信号  $z(t)$  が入れ替わる問題を解決するために、ブロック逐次型の適応型 AMUSE を提案する。これは、分離システム  $W$  の推定に用いる共分散行列をブロック長  $Nb$  ごとの移動平均で求め、これを用いて  $W$  を  $Nb$  ごとに再推定しようというものである。

### 5.1 ブロック逐次型 AMUSE

自己共分散行列  $C_{y_a}(t)$  と時間差  $\tau$  の時間差共分散行列  $C_{x_a}(t)$  の更新をブロック長  $Nb$  ごとに繰り返す。各ブロック長  $Nb$  ごとの観測信号ベクトル  $y'$  を用いて、新たな自己共分散行列  $C_{y_a}(t)$  を

$$C_{y_a}(t) = (1 - \alpha)C_{y_a-1}(t) + \alpha y' y'^T \quad (8)$$

とする。また、各時刻ごとの無相関化した観測信号ベクトル  $x'(t)$  に対する任意の時間差  $\tau$  の新たな時間差共分散行列  $C_{x_a}(t)$  を

$$C_{x_a}(t) = (1 - \alpha)C_{x_a-1}(t) + \alpha x' x'^T \quad (9)$$

とし、後は AMUSE のアルゴリズムに沿って時間差共分散行列  $C_{x_a}(t)$  を求め、それを固有値分解することで分離システム  $W$  を推定する。

移動平均の重みを表す  $\alpha$  と  $\beta$  は次式で表される。

$$\alpha = \frac{1}{\beta \times Nb \times a}, \quad \beta = \frac{1}{\beta \times Nb \times a} \quad (10)$$

ここで  $a$  は推定回数であり、 $0 < \alpha < 1$ ,  $0 < \beta < 1$  となる範囲で定数  $\alpha$  と  $\beta$  を調整する。

## 5.2 シミュレーション結果

ブロック逐次型 AMUSE の分離シミュレーション結果を Fig.2 に示す。原信号  $s(t)$  や評価尺度は前章と同じとし、ブロック長  $Nb = 50000$ 、定数  $\alpha = 1000$ ,  $\beta = 1000$  とした。

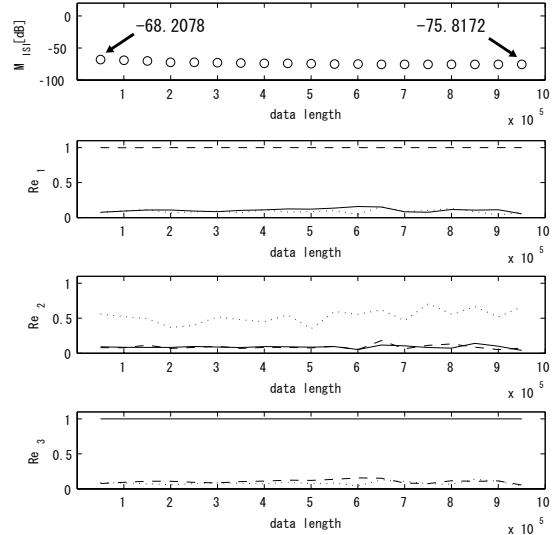


Fig.2 Block-Based Sequential AMUSE

$Re_{i,j}$  において、各原信号  $s_i(t)$  に対して最大の値をとる分離信号  $z_j(t)$  が分離システム  $W$  の再推定によっても変化しておらず、分離信号  $z(t)$  に順番の入れ替わりが起きていないことが分かる。また、 $W$  を推定することに  $M_{ISI}$  が良くなっており、分離精度の向上に繋がっていることも分かる。

## 6. おわりに

ブラインド信号分離における分離信号の「順番付けに関する不定性」を解決するためにブロック逐次型 AMUSE を提案し、その有効性を計算機シミュレーションにより検証した。

今後の課題として以下のものが挙げられる。

- ・ブロック逐次型 AMUSE の時変への対応
- ・適応型 AMUSE による実時間信号処理システムを用いた実環境でのブラインド音声分離の実現

## 参考文献

- 1) Aapo Hyvarinen, Juha Karhunen, Erkki Oja 著, 根元幾, 川勝真喜訳, 詳解 独立成分分析 信号解析の新しい世界, pp.42-45, pp.386-387, 東京電機大学出版局, (2006).
- 2) 吉岡慎二, 河野清尊: "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", 第 18 回計測自動制御学会中国支部学術講演会論文集, pp.220-221(2008).
- 3) 村田昇: 入門 独立成分分析, pp. 1-60, 東京電機大学出版局, (2004).