

報告番号	第	号
------	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 時変系におけるブラインド信号分離

氏 名 伊藤 雅紀

論 文 内 容 の 要 旨

複数の信号源があり、それらの混合信号を複数のセンサーで観測し、その混合の仕方および、源信号の情報は未知であるとして、元の信号を復元する技術をブラインド信号分離 (Blind Source Separation, BSS) と呼ぶ。独立成分分析 (Independent Component Analysis, ICA) と呼ばれる手法を用いて BSS 問題を扱う研究は、多数なされているが、その大部分が混合状態が定常な時不変系を扱っている。そこで、本研究では、信号は音であるとして、時間とともに混合状態が変化する、時変系におけるブラインド音源分離を扱う。

まず第一に、信号を観測するセンサーに指向性マイクロホンを用いることにより、実環境ブラインド音源分離の性能の向上を図る。一般的にブラインド音源分離を行う時には、無指向性マイクロホンを用いられることが多いが、本研究では、指向性マイクロホンを用いることで、計測方法を工夫することが特徴である。指向性マイクロホンを用いると、ある一定方向の信号のみを強調して観測することができる。

そこで、実環境において、スピーカからマイクロホンまでのインパルス応答を測定し、そのインパルス応答が 60dB 減衰するまでの長さを“残響時間”と定義して、計測を行った。すると、指向性マイクロホンは、無指向性のものに比べ、残響時間が短くなった。したがって、指向性マイクロホンを用いてブラインド音源分離を行うと、残響の影響を抑えることが可能である。

実際に、2 音源のブラインド音源分離実験を行い、指向性マイクロホン、無指向性マイクロホンそれぞれを用いた時の分離性能を比較した。それと併せて、音源同士の間隔、音源とマイクロホンとの間隔、そして、マイクロホン同士の間隔を変化させて分離性能の変化を調べた。指向性マイクロホンを用いると、無指向性のものに比べ高い分離性能を得ることができた。また、音源同士の間隔、マイクロホン

同士の間隔を変化させても、最終的に得られる分離信号の性能は大差がないことがわかった。ただし、音源とマイクロホンの間隔は短い時の方が性能が高かった。したがって、マイクロホンは、指向性を有するものを用いて、できるだけ音源に近く配置することで高い分離性能を得られる。

指向性マイクロホンの使用は、画像を併用することで、より有効な活用を期待できる。画像処理で音源方向を特定し、アクチュエーターなどを用いて、指向性マイクロホンの指向性を目的音源方向に向ければ、音源位置が変化するようなブラインド音源分離の場合でも、マイクロホン信号では目的信号のS/N比を大きくすることができ、結果的に分離性能を高くすることが期待できる。

第2に、音源の位置が変化する場合のブラインド音源分離の対処方法について提案を行った。音源が移動する時、混合系が変化するので、分離処理もそれに応じて変化させなければならない。本研究では、複数の指向性マイクロホンを異なった方向に向けて、受音部分は同位置に配置する近接配置手法を提案した。

ICAによって、分離を行うと、分離フィルタは、マイクロホン間の減衰比および遅延時間差に依存するようなものとなる。本研究では特に遅延時間差に着目する。提案手法である近接配置を用いると、常にマイクロホン間の遅延時間差が0で一定となる。したがって、遅延時間差が常に一定であるならば、音源が移動しても、求めるべき分離フィルタの変化を小さくすることができると考えた。実際に、ある音源の位置における分離フィルタを求めてから、そのフィルタを用いて別の音源位置の混合信号を分離した場合、近接配置を用いることで、従来手法である非近接配置に比べ移動による性能の低下が少ないことを示した。

分離処理を行うためには、混合信号を短時間のブロックに分割をする。そして、その短時間ブロックでは、音源の移動は無視できるほど小さいものであると仮定する。その仮定のもとで、音源の移動を考慮していないような従来アルゴリズムで分離を行う。最後に、全ブロックの信号をつなぎ合わせ最終的な分離信号を得る。ただし、ICAで分離を行う時には、スケーリングとパーミュテーションという2つの曖昧さが問題となる。スケーリングの問題はマイクロホン位置における源信号を推定することで解決する。パーミュテーションの問題は、ブロックに重なりをもうけ、前後のブロックで相関を計算することで解決する。

実環境において、ロボットにスピーカを固定して移動することで移動音源を実現して、実験を行った。その結果、音源が移動する時、従来手法では、移動する音源を抑制するのが困難になるため、分離性能が大きく低下したが、提案手法である近接配置を用いた場合では、性能の低下量が小さくなり、従来手法に比べ良い分離性能が得られることを示した。ただし、音源が移動する場合でも、マイクロホン間の遅延時間が変化しないような移動をする場合では、近接配置と非近接配置で分離性能に大きな違いは見られなかった。

ただし、近接配置は入射角度によるマイクロホンの指向特性の違いのみを分離の手がかりとしているため、複数の音源が似通った方向から入射してくる場合に、分離が困難となる。また、マイクロホンの正面方向に音源が存在している場合は、混合行列の正則性が高いが、正面以外に音源が存在する場合には、その正則性が低くなり、分離処理が困難になる場合がある。

最後に、ブラインド音源分離を高速かつ雑音に対して頑健に行うためにロバスト Super-Exponential 法を用いて分離を行う。Super-Exponential 法はもともと、ブラインド逆畳み込み問題について提案された手法であるが、この手法はブラインド信号分離問題にも適用可能である。Super-Exponential 法は、所望の解を指数の指数乗のオーダーで求めることができるため、とても高速に分離を行うことが可能である。

Super-Exponential 法を用いて、分離を行う試みは、これまでになされてはいたが、2次統計量を用いていたために、ガウス性の雑音が混合信号に付加された場合には、その影響を受けるために、正しい解を求めることが難しいという問題点があった。しかし、4次のキュムラントのみを用いることにより、ガウス性雑音に対して頑健に分離を行うことができる。なぜなら、ガウス性雑音は3次以上のキュムラントが常に0、すなわち、4次のキュムラントは、ガウス性雑音の影響を受けないからである。この手法をロバスト Super-Exponential 法 (RSEM) と呼ぶ。

本研究では、ロバスト Super-Exponential 法をオンライン処理で実行するために、適応的なロバスト Super-Exponential 法 (ARSEM) を提案した。ARSEM は4次の統計量を移動平均で学習することで、オンライン処理で分離フィルタを計算することが可能である。

シミュレーション実験により、提案した ARSEM を従来の Super-Exponential 法および他の高次統計量を用いる手法と比較した。その結果、ARSEM はガウス性雑音に対して頑健に分離を行うことができた。従来の Super-Exponential 法や、他の高次統計量を用いる手法では、ガウス性雑音の影響を受けて、正しい解を求めることができなかった。そして、バッチ処理で行う RSEM では、正しい分離フィルタを高速に求めることができた。オンライン処理の ARSEM でも、高速に分離フィルタを求めることができたが、他の手法と比べて若干、収束速度が劣っていた。それは、4次の統計量を用いる場合には、外れ値が存在する場合、その影響を受けやすく、正しい統計量を推定するために、より多くのデータ点が必要となるためである。

今後の課題には、音源の位置の変化のみならず、音源数の変化を考える。混合信号を用いて、音源の数を常に推定する。そして、音源の数が変化する場合に、変化前の分離フィルタを利用することで、変化後の分離フィルタを少ない計算量で再構成する手法などを考える必要がある。