

報告番号	甲	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 音源情報を推定するための拡散受音に関する研究

氏 名 丹羽 健太

論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、マイクロホンアレイを用いて受音した信号群から、源信号や位置（方向や距離）といった音源情報を解析することを目的とする。受音した信号から任意の音源情報が解析できるようになれば、例えば、スタジアムにいるサッカー選手の声やボールを蹴る音を周囲の雑音から分離して收音し、あたかも選手と同じ位置にいるかのようなコンテンツの視聴方法をユーザに提供することができるだろう。また、多人数が参加する遠隔会議において、收音装置から同じ方向にいる複数の発言者の声を分離して收音することで、疎外感の少ない円滑なコミュニケーションを実現できると考えている。

アレイ信号処理は、マイクロホン間に生じる位相/振幅差を利用することにより、信号強調、残響除去、到来方向の推定といった技術が実用化されてきた。多くの従来研究では、マイクロホンを中空に配置した受音系（中空配置型アレイ）を用いることを前提とし、後段の信号処理を高度化することで、音源情報の推定性能を向上する方針が主流であった。中空配置型アレイが多く用いられてきたのは、マイクロホン間に生じる位相/振幅差を幾何的にモデル化しやすいためである。しかし、信号処理を高度化するアプローチを適用するだけでは、音源情報の推定が困難な場合がいくつかあった。例えば、多雑音環境下で、特定の源信号（ターゲット音）を強調し、周囲の雑音を抑圧して收音することは困難である。また、アレイに対して同方向にある複数の源信号を分離して收音したり、音源までの距離（音源距離）を推定することは困難であった。これらの音源情報の解析が困難であるのは、観測信号間の関係が音源の位置に応じて変化する割合が少ないため、ターゲット音とその他の雑音を区別するための空間的な手掛かりを受音信号からほとんど得られないことに起因する。

本研究では、多くのアレイ信号処理に関する従来の研究でとられてきた信号処理を高度化するアプローチではなく、受音系の構造を工夫し、観測信号間の関係を物理的に変えることで、これまで推定困難とされてきた音源情報を解析する。

まずはじめに、音源情報を解析するために、アレイで受音すべき信号の性質を導出する。多音源から発生した波源が空気伝播されて、アレイを用いて受音する多入出力系（MIMO系）を考える。MIMO系で伝送される情報量（相互情報量）を最大化し、音源情報を解析するために適した受音信号の性質は、異なるマイクロホン間の空間相関（チャンネル間相関）が広帯域にわたって低減し、空間相関行列の固有値が均一化することで得られることを明らかにした。

チャンネル間相関を低減するための受音として、方向性のある音波を多重に反射・拡散させて收音する拡散受音を提案する。拡散受音では、各波源が多重に反射・拡散して到来するので、受音点では等方位から均一なエネルギー密度で音波が伝搬することでモデル化される。マイクロホン間の距離が十分に離れている時、拡散受音時のチャンネル間相関は、広帯域にわたって0に低減する。つまり、拡散受音は、MIMO系における相互情報量を最大化し、音源情報を解析するために適した信号受音であると言える。拡散受音は、方向性のある音波を多重に反射・拡散させて收音すればよいので、様々な実装方式がある。例えば、残響室の中にアレイを設置することやアレイの周囲に包囲型の反射構造物を設置すること（包囲型反射構造体アレイ）が実装方式の例である。数値シミュレーションにより、拡散受音の効果を検証したところ、特にマイクロホン数が多い場合（12本以上）において、中空配置型アレイと比較して、チャンネル間相関が低減し、空間相関行列の固有値が均一化することを確認した。

次に、拡散受音の多出力信号群を信号強調や音源距離推定に適用した時の基本的な性質や推定精度の調査を行った。

(1) 拡散受音と信号強調の関係について調査した。拡散受音した信号には、線形フィルタリングの信号出力パワーを低減し、雑音抑圧するために適した性質が備わっていることを明らかにした。これは、受音した信号に、ターゲット音とその他の雑音を区別するための空間的な手掛かりが含まれることと関連がある。また、ターゲット音とアレイ間の伝達特性を用いてフィルタを設計することで、信号出力パワーが低減することを導出した。残響室の中にアレイを設置した数値シミュレーションや包囲型反射構造体アレイを用いた実験により、拡散受音に基づく信号強調の性能を調査した。実験結果より、拡散受音と死角形成法による線形フィルタリングを組み合わせることで、ターゲット音に対する感度が高いまま、雑音抑圧性能の高いアレイ信号処理を実現できることを確認した。

(2) 残響室にアレイを設置して観測することを拡散受音とし、音源距離を推定するための方式に関して検討した。音源とアレイ間の距離に応じて変化する空間相関

行列の構造をモデル化した。事前測定やシミュレーションにより、音源距離に対する空間相関行列の構造の変化が既知であれば、音源距離を推定することができる。残響時間 300 ms の会議室で行った実験では、1 つの干渉雑音がある中で、音源距離を 90 %以上の精度で推定することができた。