

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760309

研究課題名（和文） 結晶型アレイを用いたアレイ信号処理の基礎的研究

研究課題名（英文） Fundamental Study on Array Signal Processing Using Crystal-shaped Sensor Array

研究代表者

小野順貴（ONO Nobutaka）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師

研究者番号：80334256

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、センサ配置の対称性を利用した新しいアレイ信号処理の枠組みの基礎を確立することである。得られた研究成果は以下のようにまとめられる。

- 1) 本技術が適用可能なアレイ配置をほぼ全て明らかにした。
- 2) 拡散雑音に頑健な複数音源定位手法：CRYSTAL-MUSIC 法を定式化した。
- 3) 残響が存在する場合にも適用可能な、拡散性雑音抑圧のための多チャンネルフィルタ設計法を確立した。
- 4) 雑音環境下でのインパルス応答のブラインド推定法を考案し、基礎的な有効性を確認した。
- 5) 対称性の概念を一般化し、雑音抑圧フィルタの設計法を任意配置に適用可能な手法に拡張した。

研究成果の概要（英文）：

The goal of this study is to develop a novel array signal processing framework exploiting the geometrically-symmetric sensor arrangements. The achievements are summarized as follows.

- 1) Almost all possible sensor geometries have been obtained.
- 2) The multiple source localization algorithm robust to diffuse noise: Crystal-MUSIC has been formulated.
- 3) The diffuse noise suppression algorithm under reverberant environment using multi-channel filter has been developed.
- 4) The blind estimation method of impulse response under noisy environment has been developed and its fundamental effectiveness has been confirmed.
- 5) Generalizing the concept of symmetry, the diffuse noise suppression algorithm has been expanded to be applicable for any arbitrary sensor geometry.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：結晶型アレイ、拡散性雑音、ポストフィルタ、無相関化、ブラインド信号処理、MUSIC法、音源定位、雑音抑圧

1. 研究開始当初の背景

様々な雑音や干渉波が重畳する実環境での観測信号から、目的とする信号を強調、分離するアレイ信号処理の技術は、様々な種類の信号を対象としながらその理論を発展させてきた。最も基本的な遅延和ビームフォーマによる指向性制御の技術を皮切りに、雑音源方向に対して指向性の零点を向けることにより雑音を除去する死角型ビームフォーマ、適応アレイ信号処理技術 (J. Caopn, Proc. IEEE, 1969. など)、独立成分分析 (A. Hyvarinen et al., Wiley, 2001.), などの発展により、少数の雑音源から生じる干渉音を除去するアレイ信号処理技術はほぼ確立したといえる。しかしながら実環境に存在する雑音環境は、必ずしも少数の定まった雑音源とは限らず、拡散性の雑音場を扱うための新しい技術が模索されていた。

2. 研究の目的

本研究課題は、「等方的な雑音場を、我々が

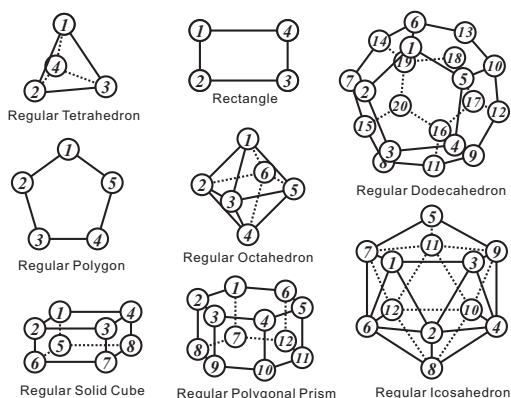


図1：結晶型センサアレイの例

結晶型と呼ぶ特定のクラスのアレイ配置 (図1参照) で観測すると、雑音共分散行列が特殊な構造になり、その各成分の陽な値を知らなくても、アレイ配置だけで決まるあるユニタリ行列で対角化できる」という、申請者独自の数理的発見に基づいている。この定理に基づき申請者らは、共分散行列に含まれる (本来は観測できない) 等方的雑音成分を対角化し、雑音を対角成分に押し込めることにクロススペクトルをノイズフリーにするというアイデア (図2参照) を音響信号処理に適用し、パワースペクトルの高精度推定や、拡散雑音抑圧への有効性をすでに確認している。本研究課題の目的は、この手法を理論的に整備・拡充し、実環境での適用範囲の拡大と、他のアレイ信号処理への拡張することである。

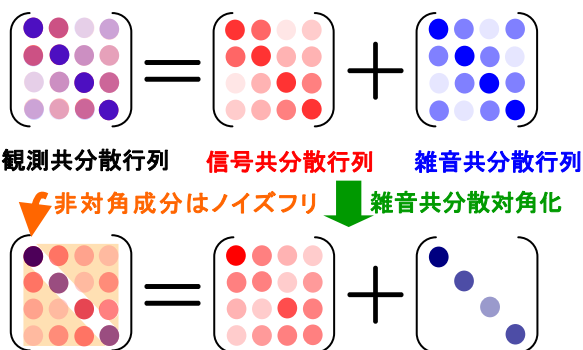


図2：雑音共分散対角化に基づく雑音除去の原理

3. 研究の方法

本研究では、問題点の把握や新しい研究展開を容易にするために、年度ごとに取り組むテ

ーマを具体化し、以下のように研究を進める。基本的には、理論的な基礎研究から、徐々に実環境を想定した応用的な研究へ展開していく方針をとった。

4. 研究成果

得られた研究成果は以下のようにまとめられる。

1) 等方性雑音直交化を実現する結晶型アレイ配置を群論的に検討し、群論から導出される必要条件を3次元の点群に全てに対してチェックすることにより、雑音共分散行列のブラインド無相関化を行うセンサ配置として、これまで得られていた、正多角形、正多角柱（ねじれ含む）、等面四面体（長方形含む）、直方体、正多面体の他の、新たな配置を発見した。

2) 複数音源定位手法として有名なMUSIC法を拡張し、拡散雑音下での高精度な複数音源定位を行うための手法：CRYSTAL-MUSIC法を定式化した。具体的には共分散行列の低ランク性の仮定に基づき、行列補完という数学的な技術と拡散雑音共分散行列のブラインド無相関モデルを組み合わせた手法を定式化し、基礎実験によりその有効性を確認した(図3参照)。

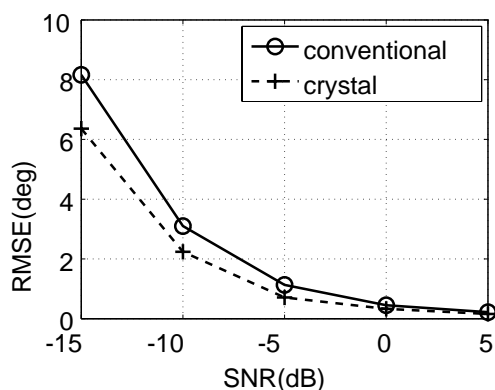


図3 従来の MUSIC 法と Cristal-MUSIC 法との定位精度の比較

3) 結晶型マイクロフォンアレイを用いた拡散性雑音抑圧のための多チャンネルウィナーフィルタ設計法を、室内などの残響が存在する場合にも適用可能に拡張した。具体的には、残響の影響により直接音モデルからずれるステアリングベクトルを、観測信号のみからブラインド推定する手法を確立した。

4) 実環境での高精度な残響除去法確立のために、結晶型マイクロフォンを用いて、音源から各マイクロフォンまでの室内インパルス応答を、雑音環境下で推定する手法を考案し、基礎実験により基本低な有効性を確認した。

5) 対称性の概念を一般化し、任意のセンサ対の間のクロススペクトルの性質に着目することで、クロススペクトル虚部法という、任意配置に適用可能な新しい雑音抑圧法の枠組みを確立した。これにより、雑音抑圧の適用範囲が大きく広がった(図4参照)。

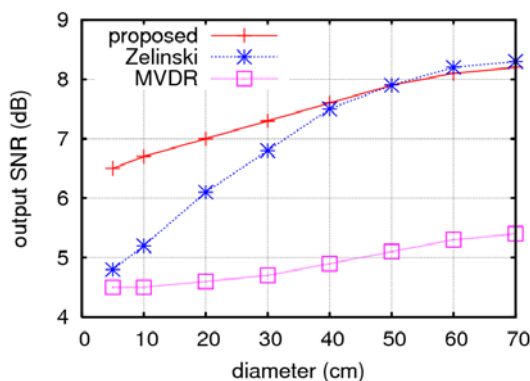


図4 アレイサイズに対するクロススペクトル虚部法による雑音抑圧性能

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

Nobutaka Ito, Hikaru Shimizu, Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama, “Diffuse Noise Suppression Using Crystal-shaped Microphone Arrays,” *IEEE Trans.*, (掲載確定)

Nobutaka Ito, Emmanuel Vincent, Nobutaka

Ono, Remi Gribonval, Shigeki Sagayama,
“Crystal-MUSIC: Accurate Localization of
Multiple Sources in Diffuse Noise
Environments Using Crystal-Shaped
Microphone Arrays,” *Proc. of LVA/ICA*,
pp.81-88, Sep., 2010.

Nobutaka Ito, Nobutaka Ono, Emmanuel
Vincent, Shigeki Sagayama, “Designing
the Wiener post-filter for diffuse noise
suppression using imaginary parts of
inter-channel cross spectra,” *Proc. of
ICASSP*, pp.2818-2821, Mar., 2010.

[図書] (計1件)

Nobutaka Ono, Shigeki Sagayama,
“Crystal-like Symmetric Sensor
Arrangements for Blind Decorrelation of
Isotropic Wavefield,” *Signal Processing,
S. Mirza, Eds. INTECH*, pp.385-396, Feb.,
2010.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 順貴 (ONO Nobutaka)
東京大学・大学院情報理工学系研究科・講
師
研究者番号 : 80334256

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :