

研究題目	2時刻のアレイ信号に基づく高速な広帯域信号処理手法の構築	報告書作成者	岩見 貴弘
研究従事者	岩見 貴弘		
研究目的	<p>到来方向推定やビームフォーミングに代表される既存のアレイ信号の多くは狭帯域信号に対する手法である。しかし、実音場を想定すると殆どの場合が広帯域である(ある純音のみが鳴っているシチュエーションは少ない)。これら既存手法を広帯域信号に適用することを考えると、ある時間幅のアレイ信号を取得後離散フーリエ変換(DFT)を施し、各周波数ビンに対して処理を行った後全てのビンの結果を統合する必要がある。</p> <p>アレイ信号処理に有効な情報は大きく空間情報及び時間情報の2つに分類できるが、既存手法はある意味で時間情報を十分に利用するものであると解釈できる。これは歴史を遡ると集音素子は高価で大きかったために空間情報の取得に比べ時間情報の取得が容易だったことが要因の一つであると思われる。しかしながら、近年素子の価格及びサイズはより安価で小型になってきており、非常に多くの素子を用いたアレイ信号処理が実用化されつつある。</p> <p>上記のような背景の下、本研究では少ない時間情報を用いたアレイ信号手法を構築することを目的にしている。このようなアレイ信号処理が実現出来れば、DFTを不要とするために収録遅延は生じず、用いる時間情報が少ないため計算コストも削減できると考えた。これはスマートフォンなど、PCに比べて計算資源の小さい機器における多チャンネルのリアルタイムのアレイ信号処理に大きく貢献するものと考えている。より具体的には、例えば近年盛んに研究にされているARデバイスに適用しリアルタイムに音の到来を可視化することで、音響教育分野等への貢献に繋がる可能性があると考えている。</p> <p>我々はこれまでに1時刻のアレイ信号に基づく広帯域信号処理手法を幾つか提案している。具体的には到来パワー推定手法やビームフォーミング、インテンシティ推定手法などである。しかしながら、幾つかの手法では音の到来方向を半空間に限定するといった制約が生じてしまうことを明らかにしている。これは1時刻の情報のみでは方向情報を完全に推定することが出来ない(直感的には、時刻を固定した音場を見ても方向までは分からない)ことを示唆しており、本研究では更にもう1時刻の情報を用いてこれを解決することを一つの目標にしている。</p>		

研究内容	<p>本研究では主に以下について検討を進めた。</p> <p>・2 時刻のアレイ信号に基づく到来パワー推定</p> <p>2 時刻のアレイ入力のみから、到来パワー(各方向からどの程度の音が到来しているか)を推定する手法を提案した。これを推定することで到来方向の推定や、リアルタイムでパノラマ動画と組み合わせることで音の到来の可視化が可能となる。具体的には瞬時音場が球状に帯域を制限した再生核ヒルベルト空間(球状帯域制限空間)に属すると仮定する(音場の周波数上限を定めることと同値)ことで、瞬時音場をこの空間の再生核の線形和で表現する。これに基づき音場を平面進行波展開した際の展開係数の大きさを推定することで実現した。リアルタイムの実装において提案手法は単純な行列演算で実現され、MUSIC 法などの既存手法に比べて処理が単純で高速である(図 1)。提案手法の妥当性を検証するために多方向から平面波が到来する場に対して到来パワーの推定を行った。</p> <p>・2 時刻のアレイ信号に基づくビームフォーミング</p> <p>2 時刻のアレイ入力のみから実現可能なビームフォーミング手法を提案した。一般に低周波数帯域ではビームフォーミングの性能が低下することから、球殻状に帯域制限した空間(球殻状帯域制限空間)を定義し、瞬時音場がこの空間に属することを仮定(音場の周波数の上限及び下限を定めることと同値)している。音場を平面進行波展開表現し、目的の方向の成分のみを抽出するようなフィルタ処理を施すことにより実現した。また、提案手法は瞬時入力ベクトルを用いた内積演算で実行可能であるため高速である。提案手法の性能検証のため、ビームパターンを計算し、既存手法である遅延和とビームフォーミングとの比較を行った。</p> <p>・帯域制限空間の理論と DFT の関係</p> <p>上述した2つの信号処理手法は球状帯域制限空間の理論、具体的には音場の補間やスペクトル推定に基づいている。一方、広く用いられているスペクトル推定手法に DFT がある。更にこれを逆変換することで同様に補間も実現できる。本研究では帯域制限空間の理論と DFT との関係調べるとともに、音場のような分散関係をもつ場に対するそれぞれの推定性能の評価を行った。結果として、古典的な DFT は台を立方体に制限し、正方格子サンプリングした場合に帯域制限空間の理論を適用した場合と等価であり、分散関係を持つ場の周波数上限を制限した場合スペクトルの台は球状になることから非効率的であることを確認した。また、性能比較のためにスペクトルの台が球状であるような関数に対して補間とスペクトル推定を行った。</p>
------	--

<p>研究のポイント</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・既存のアレイ信号処理手法の多くは周波数領域手法であり、狭帯域信号に適した手法と言える。しかしながら実音場の殆どは広帯域であり、このような手法を広帯域音場に適用する場合、手法がDFTに基づくことから収録遅延や計算量の増加が問題であった。これに対して本研究では2時刻という少ない時間情報から実行可能なアレイ信号処理手法を構築することでこれらの欠点を解決することを目指した。 ・我々はこれまでに1時刻のアレイ信号のみから実行可能な信号処理手法を幾つか提案しているが、これらの手法は音の到来を半空間に限定するという実用的に厳しい制約が存在する。本研究では更に1時刻の情報を加えることでこの制約を解消することを検討した。 ・提案するアレイ信号処理は帯域制限空間の理論に基づく。この分野における既存研究の多くは非有界・可算無限のサンプリング点における議論である。そこで本研究では有界かつ有限点のサンプリングにおける性能検証と古典的な離散フーリエ変換との関係性について考察・検証を行った。
<p>研究結果</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・110度、150度、220度の3方向から同時に音が到来するような2次元場において、一辺が0.6mの正方形内にランダムに100点サンプリングしたマイクアレイ入力2時刻分から到来方向を推定した(図2)。結果から概ね良い推定結果が得られており、既存手法と同様に低域で性能低下が見られることが確認された。 ・同様のマイクロホン配置において提案した2時刻アレイ入力からのビームフォーミングと既存の遅延和ビームフォーミングのビームパターンを比較した(図3)。高域における結果は類似しており、低域ではどちらも性能低下が見られるものの提案手法がより良い結果を示した。本比較では提案手法が2時刻、遅延和ビームフォーミングが128時刻の情報を用いていることからより実用的であると言える。 ・スペクトルの台が球状及び立方体状の帯域制限空間を仮定し、六角形格子サンプリングしたアレイから周波数上限のある音場の音場補間及びスペクトル推定を行い、性能比較を行った(図4)。台を球状にする方がより良い結果を得られており、手法の妥当性が示唆された。
<p>今後の課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本研究で提案したアレイ信号処理手法は任意の空間次元及びマイク配置で同様に実行することが可能である反面、球状帯域制限空間の半径(上限波数)の適切な決定はサンプリング定理に依存しており、非一様配置の場合数学的に難しい問題となる。今後はより実用的な上限波数の決定法や効率的なマイク配置の検討を進めたいと考えている。 ・実験を通して、用いる2時刻の差が手法の性能に影響を及ぼすことを確認した。これについて、性能に加え頑健性も考慮した適切な時刻差の決定について検討を行いたい。 ・本研究で提案した手法は、既存手法に比べ計算量や収録遅延を小さくしたリアルタイム処理に適したものである。しかしながら提案手法は密なマイクアレイを用いることを想定しており、現状市販されているマイクアレイでは実装が難しい。更に、主流であるバッファ処理と相性が悪い(実行できるが利点が活かさない)ため、これらの課題を克服するようなデバイスの開発も進めていきたい。

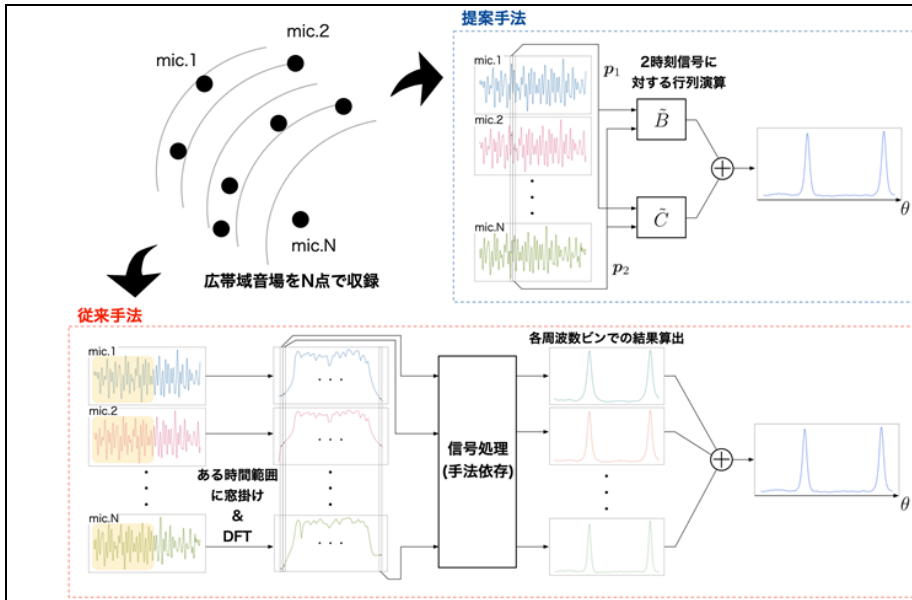


図 1 到来方向推定の従来手法と提案手法の流れの比較

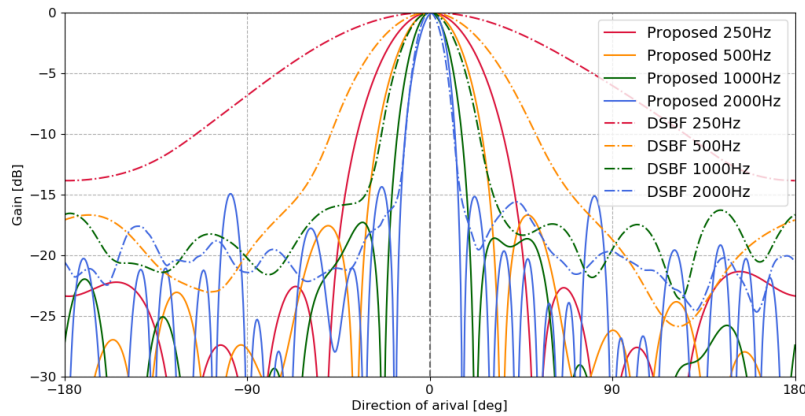


図 3 提案手法と遅延和ビームフォーミングのビームパターンの比較

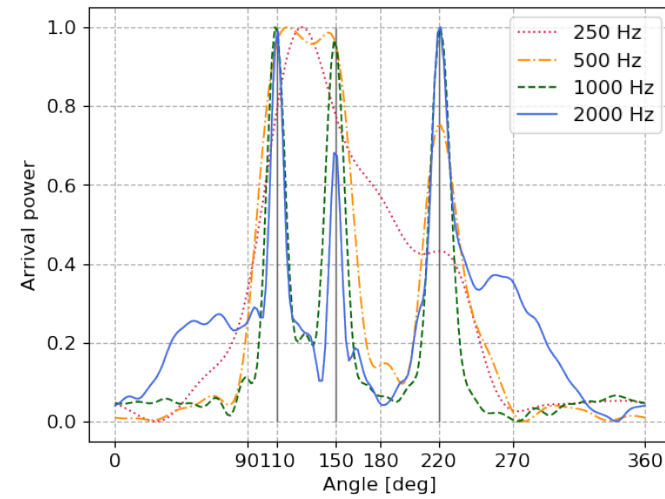


図 2 到来方向 110 度, 150 度, 220 度の平面波音場に対する推定到来パワー

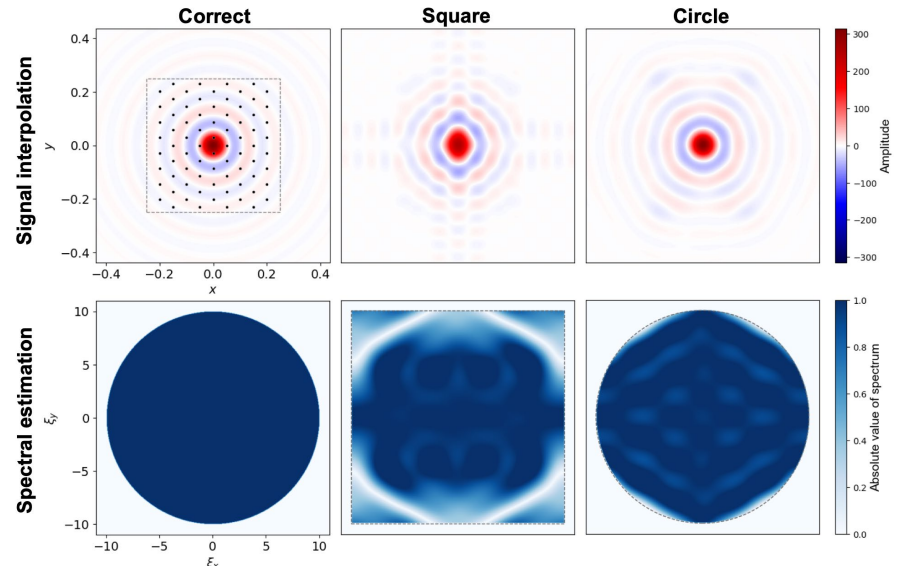


図 4 帯域を正方形と円に制限した場合の補間及びスペクトル推定結果