

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26330184

研究課題名(和文) 広帯域パラメトリックアレーによる空間センシング機能の開発

研究課題名(英文) Development of space sensing function using broad band parametric array

研究代表者

永田 仁史 (Nagata, Yoshifumi)

岩手大学・理工学部・准教授

研究者番号：40301030

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：音響ビーム走査を用いた空間センシングシステム実現のため、ビームステアリング処理を搭載したパラメトリックスピーカ駆動システムを開発した。開発にあたって、従来のSSB変調と多チャンネル遅延フィルタによるステアリングに代えて省演算量の周波数領域処理による方式を提案、採用し、64chの処理をPC1台で可能とした。このシステムにより空間センシング実験を行った結果、室内において壁と円柱状物体に対応した反射物体の像を得ることができ、提案システムによるセンシング機能の有効性が確かめられた。さらに、センシングにおけるスピーカのサイドローブの悪影響を抑えるため、ランダム配置パラメトリックスピーカを開発した。

研究成果の概要(英文)：In order to realize space sensing system in air exploiting sonic beam scan, we developed parametric speaker drive system with beam steering function. The conventional SSB modulation for generating speaker driving signal and multi-channel filtering for steering beam direction are replaced with our proposed processing in frequency domain. This system has less computational cost than conventional time domain processing so that 64-channel speaker can be driven in real-time using one note PC. As the results of experiments for space sensing by using this system, the location of the objects located in the room from the reflected sound and we confirmed that the effectiveness of the sensing function using the proposed system. Moreover, to overcome the bad effect caused by the side-lobe of the conventional speaker with regular arrangement, we developed parametric speaker with random position arrangement of output elements.

研究分野：sound signal processing

キーワード：パラメトリックスピーカ 空間センシング 周波数領域処理 ビームステアリング SSB変調 周波数シフト 位相シフト 多チャンネルフィルタ

1. 研究開始当初の背景

変調超音波の自己復調を利用したパラメトリックスピーカは、狭い領域に音響情報を伝達できるという特性により、美術館や駅でのアナウンス、視覚障害者の歩行支援、音響プラネタリウムなど、応用が拡大している。一方、スピーカが多素子からなることを利用したビームステアリングシステムも開発され、可聴領域の制御などに用いられているが、専ら音響情報伝達の目的に限られ、他への目立った応用は報告されていない。

2. 研究の目的

パラメトリックスピーカに関する可聴音再生以外の応用として、ソナーのような周囲空間のセンシングが挙げられる。超音波による通常の測距技術は既に普及しているが、ステアリングビームによるセンシングは未開発であり、ロボットや車、セキュリティシステムなどの環境認識に利用可能である。従って、本研究は、パラメトリックスピーカによるセンシング技術の開発を目的とすることとした。このため、まず、ステアリング機能を搭載したパラメトリックスピーカ駆動システムを開発し、特定の任意の方向に超音波と可聴音を伝えるステアリングシステムを実現する。このとき、出力デバイスとして一般的なセラミック振動子以外も考慮し、広い周波数帯域の利用可能性についても検討する。次に、ステアリング機能を利用したビーム走査による物体位置検出システムを開発してその性能を評価し、現状システムの技術課題について検討する。以上の研究により、パラメトリックスピーカの空間センシングへの応用を開拓する。

3. 研究の方法

- (1) まず、広帯域化の可能性を探るため、従来のセラミック振動子以外の超音波出力デバイスについて検討する。具体的には、小型のスーパーツイータを用いたアレースピーカを試作し、利用可能性について検討する。
- (2) 次に、上記の検討結果を踏まえてスピーカ駆動・ステアリングシステムを開発し、実際のスピーカ特性について測定、検討する。システムとしては、異なった応用対象が生じた場合でも内部処理の変更が容易となるよう、PC 処理主体で安価な汎用のオーディオインターフェースを用いる。ハードウェアによる制限の中でより効果的な手法を選択してシステムを構築する。
- (3) 次に、ステアリングシステムを拡張して空間センシングシステムを開発し、ステアリングビームによる物体位置把握の可能性について種々の条件を変えながら検討する。
- (4) 得られた知見に基づき、スピーカデバイスや処理法の改善を検討する。

4. 研究成果

- (1) 小型スーパーツイータを用いたパラメ

トリックスピーカに関する検討

広帯域化の可能性を探るため以下の2種類の出力デバイスを用いてアレースピーカを作成し、検討した。

(A) 高分子フィルム振動板の小型スーパーツイータ (TAKE-T BUTPURE) 周波数帯域 20kHz ~ 150kHz

(B) ツイータ (KENWOOD KFC-ST1000) 周波数帯域 5kHz ~ 96kHz

(A)のデバイスを用いて作成したアレースピーカを図1に示す。88個の素子を三角格子状に配置した。また、(B)のデバイスを用いて作成したアレースピーカを図2に示す。65個の素子を前後2面に分け、前面に40個、後面に25個を正方角格子状に配置した。前面のスピーカの隙間に穴を開け、後面のスピーカの音波が通過できるようにしてある。

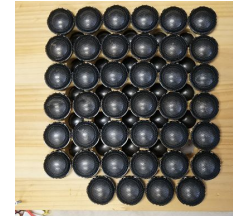
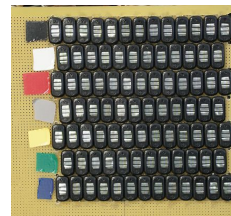


図1 デバイス(A)

図2 デバイス(B)

まず、(A)のスピーカについて検討した結果、全部並列に駆動しても出力が不十分であり、可聴音の復調がなされなかったため、検討対象から除外した。次に(B)について検討した結果、大パワーで駆動すると復調音が観測できたが微弱であった。広帯域を利用可能ではあるが、効率が低いためこのデバイスも今回の検討対象からは除外した。(B)は、復調音ではなく超音波を直に空間センシングに利用できるため、今後検討の可能性はある。ここまでの検討により、新しいデバイスによる広帯域化については本研究では断念した。

- (2) 周波数領域処理に基づく省演算量の駆動信号生成処理、および、ステアリングシステムの開発

(1)の検討結果から、従来のセラミック振動子を用いることとし、システムの要となるスピーカ駆動システムを開発した。システムの信号処理部は専用ハードウェアではなくPC処理主体で実現するためもあり、省演算量を考慮して一貫して周波数領域で処理する方式を提案した。また、振動子を駆動するためのアナログパワーアンプは、広帯域のオペアンプを用いて10ch一枚の基板を7枚製作した。このシステムの全体構成を図3に、アンプとスピーカの様子を図4に示す。

従来システムの場合、駆動信号の生成にはフェーズシフトネットワーク法を用いたSSB変調が、ステアリングには遅延フィルタを用いたフェーズドアレーが使われているが、図4に示すように、SSB変調を離散フーリエ変

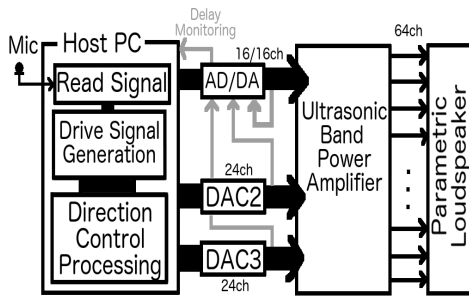


図3 開発システムの全体構成

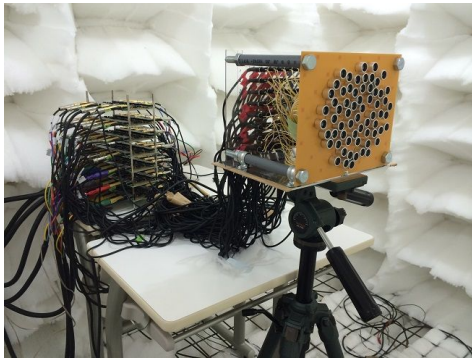


図4 開発したアンプとスピーカ

換(DFT)の周波数シフトに、遅延フィルタをDFTの位相シフトに置き換えた。DFTスペクトルから、逆DFT(IDFT)とフレーム信号の重複加算を用いて連続波形を合成する際、重複加算によるフレームの接続において周波数シフトに起因する歪が生じるため、重複がフレーム長の半分のときに位相補正による歪回避が可能であることを見出し、補正処理を行うようにした。

演算量は、従来に比較して顕著に小さくなったわけではないが、ノートPC1台の1プロセスで64chを実時間処理可能である。他研究グループによる可聴領域制御を考慮したシステム[1]で用いられている複数方向ステアリングや将来的な複数帯域化を想定した場合、特に処理量の多い多チャンネル遅延フィルタが従来システムの場合方向数だけ倍増するのに対し、本システムでは増加しないため、システム拡張に伴う演算量増加に対し有利であるといえる。

(3) ステアリングビームを用いた空間センシングシステム

ステアリングシステムを拡張し、ビーム反射音の伝播遅延時間に基づいた物体位置の推定処理を開発して室内空間の把握に関する検討を行った。ビーム反射音の観測にはMEMSセンサを用いて製作した4個の超音波マイクロホンを用いた。

センシング方法としては、超音波の場合、パルスを用いるパルスエコー法が一般的であるが、パルスの自己復調波については検

討されていないため、連続信号による相互相関関数推定を用いた。センシングの方法を以下に簡単に説明する。

1. 少しずつ方向を変えながらランダム雑音を放射し、観測反射波から放射方向ごとの相互相関関数を求める。
2. 反射成分は、放射方向上の反射物によるものであると仮定し、相互相関関数の成分を該当時間遅延に対応する反射点に配置した図を作成し、反射体の分布像を求める。

上記の方法を用い、室内で壁の前に2つの円柱状物体を置いてセンシング実験を行った。スピーカは100個の振動子を六角格子状に配列したものをを用いた。実験時の物体配置を図5に示す。この図でスピーカは基準マイクロホンと同じ位置であり、重なって描かれている。

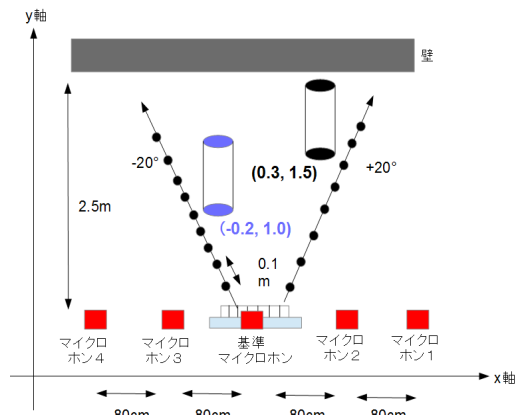


図5 物体位置検出実験時の物体配置

種々の放射音と処理対象帯域、および、処理法について検討した結果、指向性の鋭い30kHz以上の超音波や自己復調波を推定に用いた場合は、正しい位置の他にスピーカの副極に起因すると思われる虚像が強く出現した。虚像なく正しい位置のみに物体像を得ることができたのは、10kHz以下の帯域雑音を放射し、反射成分の推定にPhaseTransfer法(PHAT)による一般化相互相関を用いた場合であった。この場合、帯域が振動子の共振周波数からはずれているためスピーカの放射音レベルは低かったものの、副極が走査対象範囲に出現しない低周波数帯だったことが良好な結果の原因と思われる。図6にこのときの反射体分布図を示す。図6の上が斜めから見た場合、下が横から見た場合である。上の図中の×印が円柱物体の位置であり、直線で指示したピーク1, 2がその位置に一致している。また、壁の位置に反射物の列ができおり、直線状に広い反射物があることがわかる。

- (4) (3)で明らかとなった問題の改善：副極レベルを低減するためのランダム素子配置パラメトリックスピーカの開発

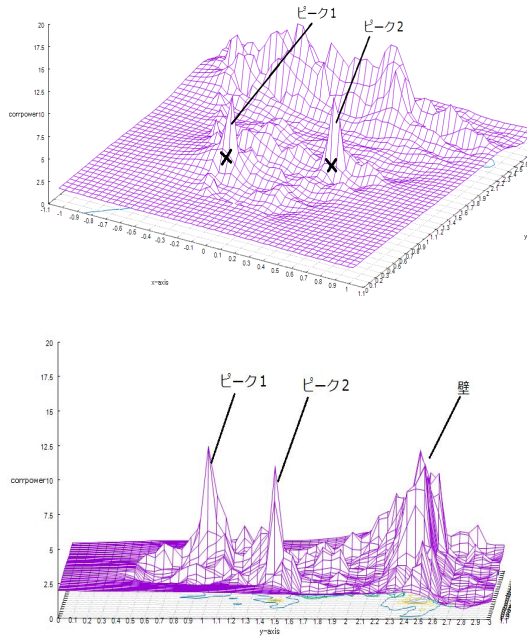


図6 物体位置検出実験結果 上：斜め上から見た図 下：横から見た図

(3)の空間センシングに関する検討では、放射ビーム中の高レベルの副極が性能に大きな影響を及ぼすことがわかったため、これを低減するための一方法としてランダム素子配置のスピーカを製作することとした。素子の配置を図7に示す。図4の中に示されているのもこのスピーカである。

開発したスピーカの特性を確認するため、指向性の測定を行った。例として方位 10° 方向へステアリングしたときのこのスピーカの搬送波と復調音の指向性を各々図8の(a)と(b)に示す。この場合、搬送波の結果を見ると、 10° 方向の主ビームの他に -20° の位置に大きめの副極が生じている。この副極のレベルは、主極に対して約 -10dB である。同じ素子を用いた六角格子配置スピーカの場合、この副極レベルはほぼ主極と同レベルであったのに比べると大幅に低くなった。復調音の指向性においては、主極と副極のレベル差が 16dB とさらに拡がり、狙い通りの結果が得られている。規則素子配置スピーカとの詳細な比較に関しては、今後の課題である。

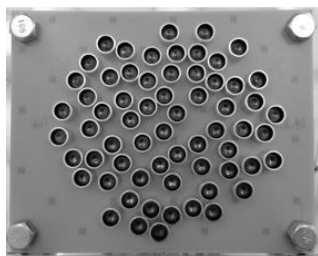


図7 スピーカの素子配置

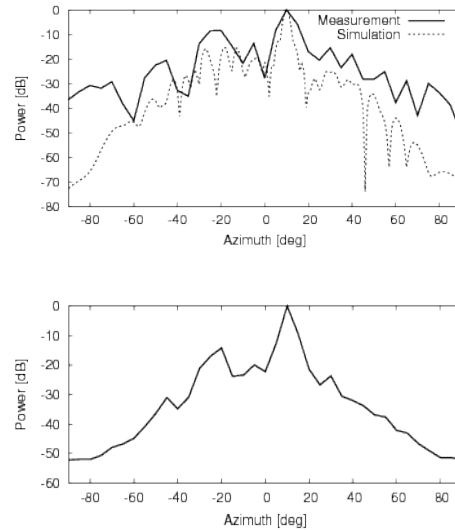


図8 上(a)搬送波の指向性(実線：測定値、破線：シミュレーション)下(b)復調波の指向性(1kHzの正弦波)

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)

〔学会発表〕(計 3 件)

ランダム素子配置パラメトリックスピーカに関する検討、金城 翔太、永田仁史、藤岡豊太、安倍正人、電子情報通信学会技術報告、US2017-16, pp.13--18, (2017.05.22)

ステアリング機能付きのパラメトリックスピーカ駆動システム、金城 翔太、永田仁史、藤岡豊太、安倍正人、日本音響学会 2017 年春季研究発表会、1-P-13 (2017.3.15-17)

パラメトリックスピーカのステアリングビームによる空間センシングの検討、齊藤量平、永田仁史、藤岡豊太、安倍正人、平成 28 年度 第 3 回情報処理学会東北支部研究会(岩手大学)、(2016.12.17)

6. 研究組織

(1)研究代表者

永田仁史 (NAGATA Yoshifumi)
岩手大学・理工学部・准教授
研究者番号：40301030

(2)研究分担者 なし

(3)連携研究者

安倍正人 (ABE Masato)
岩手大学・理工学部・教授
研究者番号：00159443

藤岡豊太 (FUJIOKA Toyota)
岩手大学・理工学部・助教
研究者番号：60292174

(4)研究協力者

金城翔太 (KINJYO Shota)
岩手大学・工学研究科