

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：34315

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700126

研究課題名(和文)パラメトリックスピーカと音響トラッキングによる立体音響システムに関する研究

研究課題名(英文)A study on three-dimensional sound field reproduction based on acoustic tracking with parametric loudspeaker

研究代表者

中山 雅人(Nakayama, Masato)

立命館大学・情報理工学部・助教

研究者番号：90511056

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、スピーカ配置に自由度があり、かつ簡易に立体音響を体感できる小規模な立体音響再現システムの実現を目指す。そこで、音響情報の提示に超音波によってパラメトリックスピーカを利用することを検討する。パラメトリックスピーカは超音波を利用することで鋭い指向特性を実現できる。まず、位相干渉に基づく受聴者の位置推定を行うことで受聴者の位置を見つけ出し、次に位相干渉に基づく形状推定により受聴者の頭部形状、特に耳元位置を推定、最後にパラメトリックスピーカを利用した音響ビームの指向性制御により推定した両耳元に対してそれぞれ頭部伝達関数を考慮した音響情報を提示することで立体音響を実現するシステムを提案する。

研究成果の概要(英文)：In this study, our goal is to achieve three-dimensional sound field reproduction using small and flexible system. To achieve it, we propose three-dimensional sound field reproduction with a parametric loudspeaker. Parametric loudspeaker can achieve sharper directivity using ultrasound. At first, listener localization is achieved by the acoustic distance measurement (ADM) method based on interference. Second, the acoustic imaging is achieved using the ADM method with a loudspeaker and a microphone-array to search listener's ears. Finally, the proposed method can reproduce the three-dimensional sound field by presenting sound information with head-related transfer function for each ear using audio-spot with the parametric loudspeaker.

研究分野：音響信号処理

キーワード：立体音響

1. 研究開始当初の背景

映画や仮想ライブ会場など特定の場所の音環境を立体的に再現することで、音響による高臨場感の実現を目指す、様々な立体音響技術が研究されている。その一つに、ヘッドホン再生で高品質な立体音響を実現するバイノーラル方式がある。バイノーラル方式では、事前にダミーヘッドと呼ばれる人の頭部を模擬した人形の両耳に埋め込まれたマイクロホンを用いて計測した音源から両耳までの頭部周辺の反射・回折を含む伝達関数 (Head Related Transfer Function; HRTF) を利用する。さまざまな条件で計測した HRTF より選択した所望の HRTF と提示音のドライソースを畳み込んだ音をヘッドホン再生することで、立体音響を実現できる。しかし、バイノーラル方式はヘッドホン再生が必要不可欠であるため、ヘッドホン着用の煩わしさが問題となる。そこで、任意の位置にある複数の遠隔スピーカを利用して立体音響を実現するトランスオーラル方式^[3]も提案されている。しかし、トランスオーラル方式では両耳位置での音場を制御するため、各遠隔スピーカから両耳までの雑音・残響を含む伝達関数に対する逆システムを設計する必要があり、機器の個数や計算量の点で非常に複雑かつ大規模なシステムとなる。本研究では、超音波を利用したピンポイントオーディオの一つであるパラメトリックスピーカと音を使ってレーダーのように周辺環境を理解できる音響測距法の組み合わせによる小規模な立体音響システムを検討する。

2. 研究の目的

スピーカ配置に自由度があり、かつ簡易に立体音響を体感できる小規模な立体音響再現システムを実現するためには、話者の耳元位置を検出することが重要となる。従来のマイクロホンアレー技術では、音源位置推定を利用して話者の位置を検出していた。この技術は、テレビ会議システムのようにテレコミュニケーション用途においては、非常に有効な技術であるが、テレビなどを受聴するのみで発話を伴わない場合には、話者位置の推定が困難となる。一方、音をスピーカよりレーダーのように放射して、受信することにより周辺環境を探索する音響測距法は、話者の発話がない状況下でも話者位置を推定できる。本研究では、音源位置推定の技術である、マイクロホンアレー技術と音響測距法を統合した新しい話者位置推定技術を提案する。また、推定された話者位置にのみ適切に音響情報を提示することも小規模な立体音響再現システムの実現には不可欠となる。この解決方法として、パラメトリックスピーカによるオーディオ・スポットライトに着目する。パラメトリックスピーカは超音波を利用した音響機器であり、マイクロホンアレー (波面合成) 技術を応用することで、音響ビームを任意の方位に制御可能である。しかし、パラ

メトリックスピーカには、音質の問題、復調距離の問題、オーディオスポットの範囲制御の問題がある。それぞれに対して本研究では、解決手法を提案する。最終的には、上記の研究成果を統合する形で小規模な立体音響再現システムを実現し、実環境における評価実験により提案システムの有効性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究の実現のためには、主として3つの研究課題に取り組む。研究課題を以下の3つに分割することによって同時並行で本研究に取り組み、効率的に研究を遂行する。

(1) ソフトウェアによるパラメトリックスピーカの指向性制御

パラメトリックスピーカより出力される音響ビームの指向性制御理論は、マイクロホンアレー技術を応用する形で検討する。また、単純に異なる方位に指向性を形成するのみならず、空間中の任意のピンポイントで音を再生する技術についても検討する。

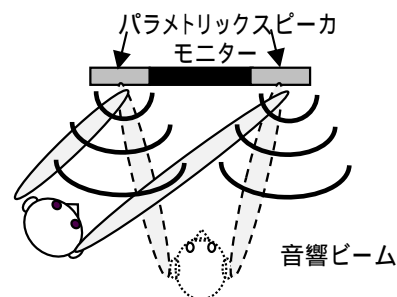
(2) パラメトリックスピーカを利用した物体位置の検出

これまで研究代表者が提案し、可聴音にて行ってきた音響測距法に基づく話者位置推定技術を応用することを検討する。また、音響測距法だけではなく、従来のマイクロホンアレー技術に基づく話者位置推定術についてもさらに検討を行う。

(3) パラメトリックスピーカを利用した物体形状の検出

音響測距法を発展させた音響イメージングの検討を行い、さらに話者移動のなどについても詳細に検討することで実現する。

最終的に、これまでの研究成果を統合してスピーカ配置に自由度があり、かつ簡易に立体音響を体感できる小規模な立体音響再現システムを実現する計画である。(図1参照)



受聴者の耳元をトラッキングして
音響ビームの指向性制御

受聴者の位置と形状(両耳の位置)
をリアルタイムで検出

図1: 立体音響再現システムのイメージ

4. 研究成果

本研究課題の実現に向けて、様々な検討を行った。本研究課題を実現するために、必要となる要素技術として、話者位置、パラメトリックスピーカ、立体音響システムに関する以下の項目に対して研究を推進した。

(1) マイクロホンアレーによる話者位置推定

マイクロホンアレーにより受信した音声信号を分析することで、音源位置推定、近接/遠隔話者の判別を行う手法を提案した。音源位置推定では、実時間で動作可能な空間・周波数多重解像度走査に基づく手法を提案し、残響環境に頑健なブラインドインパルス応答推定に基づく手法を提案した。また、近接/遠隔話者の判別では、マイクロホンアレーではなく、単一マイクロホンを利用して、音声の線形予測残差に基づく手法を提案した。それぞれの手法に対して、評価実験を行い、有効性を確認した。その結果、残響環境下においても話者の発話を利用して話者位置が推定可能であることを確認した。さらに、(2)の音響測距法によって、話者の発話区間以外においても話者位置を推定する手法を検討している。

(2) 音響測距法による話者位置推定

単一スピーカより出力した音を単一マイクロホンにより受信することで、対象物(話者)位置を推定する手法を提案した。具体的な検討として、雑音環境下においても頑健に動作するための理論の拡張、事前計測の必要ない手法への拡張、移動物体(話者の移動)への対応を行うための検討を行った。また、音響測距法とマイクロホンアレー技術を統合した音響イメージング手法を提案した。その結果、話者の発話区間に加えて、話者が発話していない区間においても話者位置を推定可能であることを確認した。(1),(2)の結果を基にパラメトリックスピーカによるオーディオスポット形成の研究に拡張を行った。

(3) パラメトリックスピーカによるオーディオスポット形成

本研究では、話者位置を推定した後、パラメトリックスピーカによって話者位置に音響ビーム(オーディオスポット)を形成する。そのため、パラメトリックスピーカによるオーディオスポット形成の検討を行った。具体的には、パラメトリックスピーカによる超音波から可聴音への復調の原理に着目し、パラメトリックスピーカから出力される変調超音波のキャリア波と側帯波を分離して、それぞれ異なるスピーカより出力することで、空間上のキャリア波と側帯波の重なる任意の領域にピンポイントで可聴音を復調させる手法を検討した。さらに、パラメトリックスピーカの音質の改善、出力音圧レベルの向上

を目指してさまざまな検討を行った。その結果、パラメトリックスピーカを用いて任意の位置にのみ音情報を伝えることに成功し、オーディオスポット形成を実現できた。そこで、この結果を基に(4)では、立体音響システムの検討を行った。

(4) 立体音響システムの検討

マイクロホンアレーとパラメトリックスピーカを利用した話者位置推定により検出した話者位置に対してオーディオスポットを形成することで立体音響システムを実現した。立体音響システムでは、左右にそれぞれ異なるオーディオスポットを形成し、頭部伝達関数(Head-Related Transfer Function; HRTF)を適用することで、仮想音像を提示する方式を検討した。さらに、頭部近傍に設置したスピーカシステムを利用したセミトランスオーラル方式による立体音響システムについても検討した。このシステムでは、HRTFではなく、波動方程式に対する有限差分法(Wave Equation - Finite-Difference Time-Domain; WE-FDTD)による音場シミュレーションを利用した。その結果、話者位置に追従可能な立体音響システムの開発に成功した。今後は、さらにパラメトリックスピーカの音質の改善を行うことで、高品質な音を提供可能な立体音響システムを検討する計画である。

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 14 件)

林田 亘平, 中山 雅人, 西浦 敬信, 山下 洋一, 堀内 俊治, 加藤 恒夫, “音声の線形予測残差の尖度に基づく近接/遠隔話者の判別,” 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J98-A, No.2, pp.190-199, 2015. (査読有)

中迫 昇, 英 慎平, 篠原 寿広, 中山 雅人, 上保 徹志, “リニアチャープ音の干渉に基づく音響測距法 -雑音環境下における性能評価と雑音対策の試み-, ” 電気学会論文 C, Vol.134 No.11, pp.1626-1627, 2014. (査読有)

松井 唯, 生藤 大典, 中山 雅人, 西浦 敬信, “キャリア波と側帯波の分離放射によるオーディオスポット形成,” 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J97-A, No.4, pp.304-312, 2014. (査読有)

中野 皓太, 中山 雅人, 西浦 敬信, 山下 洋一, “WE-FDTDを用いたセミトランスオーラル方式に基づく3次元音場再現手法,” 電子情報通信学会論文誌(A), Vol. J97-A, No.4, pp.295-303, 2014. (査読有)

鈴木 和博, 中迫 昇, 中山 雅人, 篠原 寿広, 上保 徹志, 福島 学, “クロススベ

クトル法を用いた位相干渉に基づく音響測距法による対象物位置推定,” 電子情報通信学会論文誌 (A), Vol. J97-A, No. 4, pp. 343-346, 2014. (査読有)

林田 亘平, 中山 雅人, 西浦 敬信, 山下 洋一, “空間・周波数領域多重解像度走査に基づく実時間近接音源位置推定,” 電気学会論文誌 C, Vol. 133-C, No. 12, pp. 2211-2218, 2013. (査読有)

伊藤 仁一, 中山 雅人, 西浦 敬信, 木村 朝子, 柴田 史久, 田村 秀行, “X-Media Galaxy における移動音像実現のための音像補間,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol. 18, No. 3, pp. 405-414, 2013. (査読有)

三宅 亮太, 中山 雅人, 西浦 敬信, “マイクロホンアレーを用いた送信波と反射波の位相干渉に基づく音響イメージング,” 電気学会論文誌 C, Vol. 131-C, No. 11, pp. 2014-2020, 2013. (査読有)

堀井 圭祐, 福森 隆寛, 森勢 将雅, 中山 雅人, 西浦 敬信, 山下 洋一, 南條 浩輝, “雑音下音声受音における Weighted 反復スペクトル減算法を用いたミュージカルノイズの低減,” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J96-D, No. 3, pp. 664-674, 2013. (査読有)

倉谷 泰弘, 林田 亘平, 中山 雅人, 西浦 敬信, “ブラインドインパルス応答推定に基づく高残響下音源位置推定法,” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J96-D, No. 6, pp. 1526-1535, 2013. (査読有)

Masato Nakayama, Noboru Nakasako, Tetsuji Uebo and Manabu Fukushima, “Acoustic distance measurement method based on phase interference using the cross-spectral method,” Acoustical Science and Technology, Vol. 34, No. 3, pp. 197-205, 2013. (査読有)

生藤 大典, 中山 雅人, 西浦 敬信, “パラメトリックスピーカのためのスペクトル包絡に基づく復調評価指標の策定,” 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J96-D, No. 3, pp. 655-663, 2013. (査読有)

Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, Yoichi Yamashita and Noboru Nakasako, “Multiple-nulls-steering beamformer based on both talker and noise direction-of-arrival estimation,” Acoustical Science and Technology, Vol. 34, No. 2, pp. 80-88, 2013. (査読有)

中山 雅人, 根木 佑真, 中迫 昇, 篠原 寿広, 上保 徹志, 西浦 敬信, “帯域分割した時間遅延インパルス音の位相干渉に基づく移動体の距離・速度推定法,”

電気学会論文誌 C, Vol. 132-C, No. 11, pp. 1774-1775, 2012. (査読有)

[学会発表](計 14 件)

Daisuke Ikefuji, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura and Yoichi Yamashita, “Reverberation Steering and Listening Area Expansion on 3-D Sound Field Reproduction with Parametric Array Loudspeaker,” APSIPA ASC 2014, Siem Reap, Cambodia, 2014 年 12 月 11 日

Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, Ryota Okuno and Noboru Nakasako, “A Study on Acoustic Beam Steering with Parametric Loudspeaker Based on Individual Delay-Filtering for Carrier and Sideband Waves,” Proc. IEEE APCCAS 2014, Ishigaki Island, Okinawa, Japan, 2014 年 11 月 19 日

Noboru Nakasako, Yuma Neki, Masato Nakayama, Toshihiro Shinohara and Tetsuji Uebo, “A trial on calculating the equivalent reflection coefficient by acoustic distance measurement method based on phase interference in the actual sound actual field,” inter.noise 2014, Melbourne, Australia, 2014 年 11 月 18 日

Shinya Komori, Daisuke Ikefuji, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura, “Evaluation on flexible beamformers with curved-type parametric loudspeaker for spatial audible area design,” inter.noise 2014, Melbourne, Australia, 2014 年 11 月 16 日 ~ 2014 年 11 月 19 日

Ryosuke Konabe, Tadashi Matsui, Daisuke Ikefuji, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura, “A design of reflective audio spot with parabolic reflector for sound pressure improvement on separating emission of carrier and sideband waves,” inter.noise 2014, Melbourne, Australia, 2014 年 11 月 16 日 ~ 2014 年 11 月 19 日

Tomoyuki Wada, Daisuke Ikefuji, Masato Nakayama and Takanobu Nishiura, “A Study on 3-D Sound Field Localization System Using Parametric Loudspeaker and Indirect Loudspeakers for Reverberation Reproduction,” inter.noise 2014, Melbourne, Australia, 2014 年 11 月 16 日 ~ 2014 年 11 月 19 日

Kota Nakano, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura and Yoichi Yamashita, “High accuracy calculating model for sound field

simulation with DFT-based FDTD on polar-quaternion-based axis towards craft restoration," inter.noise 2014, Melbourne, Australia, 2014年11月16日~2014年11月19日
Kohei Hayashida, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, Yoichi Yamashita, Toshiharu Horiuchi and Tsuneo Kato, "Close/distant talker discrimination based on kurtosis of linear prediction residual signals," ICASSP 2014, Florence, Italy, 2014年5月7日
Ryota Miyake, Kohei Hayashida, Masato Nakayama, and Takanobu Nishiura, "A study on acoustic imaging based on beamformer to range spectra in the phase interference method," ICA 2013, Montreal, Canada, 2013年6月3日
Daisuke Ikefuji, Masato Nakayama, Takanobu Nishiura, and Yoichi Yamashita, "Weighted double sideband modulation toward high quality audible sound on parametric loudspeaker," ICASSP 2013, Vancouver, Canada, 2013年5月31日
Masato Nakayama, Kazuhiro Suzuki, and Noboru Nakasako, "Acoustic distance measurement based on phase interference using the cross-spectral method with adjacent microphones," ICASSP 2013, Vancouver, Canada, 2013年5月29日
Daisuke Ikefuji, Sota Kurimoto, Masato Nakayama, and Takanobu Nishiura, "Auditory Distance Perception with Combination of Parametric and Dynamic Loudspeakers," Proc. NCSP2013, Hawaii, USA, 2013年3月7日
Masato Nakayama, Yuma Neki, Noboru Nakasako, Tetsuji Uebo and Takanobu Nishiura, "Acoustic Distance Measurement Method Based on Interference of Speech Presented by a Dialogue System," Proc. IEEE ICSPCC2012, Hong Kong, China, 2012年8月14日
Noboru Nakasako, Keiji Kawanishi, Toshihiro Shinohara, Masato Nakayama and Tetsuji Uebo, "Acoustic Distance Measurement Method Measurable from 0 m Based on the Interference between Transmitted and Reflected Waves Using Power and Phase Spectra of Single Channel Observations," Proc. IEEE ICSPCC2012, Hong Kong, China, 2012年8月14日

〔産業財産権〕
出願状況(計 1 件)

名称: 音響空間設定方法, パラメトリックスピーカおよび音響システム
発明者: 中山雅人, 西浦敬信, 生藤大典, 益永翔平
権利者: 学校法人立命館
種類: 特許
番号: 2013-197599
出願年月日: 2013年9月24日
国内外の別: 国内

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.aspl.is.ritsumei.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中山 雅人 (NAKAYAMA MASATO)
立命館大学・情報理工学部・助教
研究者番号: 90511056