

複数のマイクロホンアレイの連携による音環境知能技術の研究開発 (121807009)

Sound environment intelligence technology by integration of multiple microphone arrays

研究代表者

石井カルロス寿憲 株式会社国際電気通信基礎技術研究所

Carlos Toshinori Ishi Advanced Telecommunications Research Institute International (ATR)

研究分担者

エヴァン イアニ[†] モラレス サイキ ルイス ヨウイチ[†] 渡辺 敦志[†]

Jani Even[†] Luis Yoichi Saiki Morales[†] Atsushi Watanabe[†]

[†]株式会社国際電気通信基礎技術研究所

[†]Advanced Telecommunications Research Institute International

研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

概要

複数の固定・移動型マイクアレイと LRF 群の連携・協調において、従来の音源定位・分離及び分類の技術を発展させ、環境内の音源の空間的及び音響的特性を 20cm の位置精度かつ 100ms の時間分解能で表現した音環境地図の生成技術を開発する。本技術によって得られる音環境の事前知識を用いて、施設内の場所や時間帯に応じた雑音推定に役立てる。本技術は、聴覚障害者のための音の可視化、高齢者のための知的な補聴器、音のズーム機能、防犯用の異常音検知など、幅広い応用性を持つ。

1. まえがき

家庭、オフィス、商店街などの施設では、場所や時間によって多様な雑音特性を持つため、音声など特定の音を対象としたアプリケーションでは期待した性能が得られない問題がある。本提案は複数の固定・移動型マイクロホンアレイとレーザ距離センサ群の連携・協調によって、いつ、どこで、どのような音がどういう確率で発生したのかを表現した音環境の時空間的特性を構造化し、それを利用してアプリケーションの対象となる音の抽出に役立てるための音環境知能の基盤技術の研究開発を目的とする。

2. 研究開発内容及び成果

2. 1. 複数の固定型アレイによる音源方向推定および人位置推定を組み合わせた発話区間検出と顔の向き推定

複数のアレイによる音源方向推定と複数のレーザ距離センサ (LRF) による人位置情報を組み合わせて、誰がどこでいつ発話したのかを検出する音環境知能の基盤技術を開発し、複数話者の発話区間検出および発話している際の顔の向きを推定する手法を提案した。研究室のミーティングスペース (図 1) で、提案システムを評価した: 孤立発声を複数の位置および顔の向きで行った場合 (図 2)、複数人 (4 名) による同時発話 (図 1)。顔の向きがすべてのアレイに背いた条件を除けば、90%以上の精度 (目標数値達成) で発話区間が検出でき、20 度前後の平均誤差で顔の向きが推定できた。また移動しながら発話した場合も、同程度の精度が得られたことを確認した。

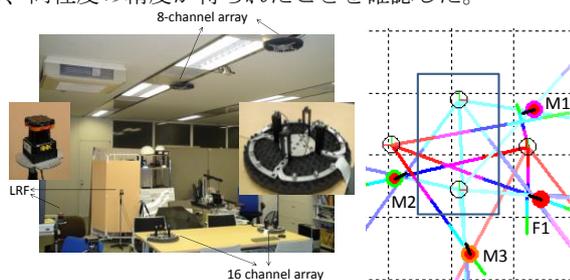


図 1. 評価したミーティングスペースの様相 (左図); 4 話者が同時に発話した際の音源方向推定の例 (右図)

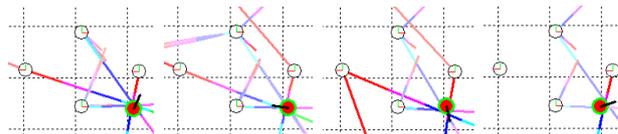


図 2. 4 方向 (前 F, 左 L, 後ろ B, 右 R) に発声した際の音源方向推定結果と検出された向き (黒い直線) の例

2. 2. 移動型アレイによる 3 次元音源地図生成

環境内を移動しながらその環境の 3 次元音源地図を生成・更新できる移動型アレイを開発した (図 3)。2 次元 LRF センサを用いて空間内での自己位置推定を行う。3 次元レーザ距離センサ (Lidar) と移動プラットフォームのオドメトリを基に、空間を移動しながらスキャンして 3 次元空間地図を生成する。移動プラットフォームに搭載したマイクロホンアレイを用いて、音源方向および音源強度を測定し、自己位置情報と空間の 3 次元地図を基に、音が到来した方向に ray casting を行い、空間上でその情報を蓄積することにより、音源地図を生成する (図 3)。

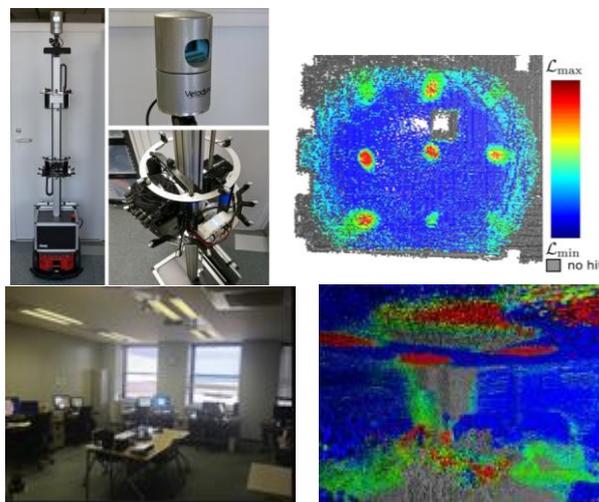


図 3. 開発した移動型アレイ (左上図)。生成した当研究室の 3 次元音源地図の例: 鳥瞰図 (右上図); 透視図 (右下図); 色は音源の尤度を示す。

3次元音環境地図は、環境を繰り返しスキャンする度に更新される。生成される音環境地図では、環境内のすべての構造物に対して音が発射される確率が表現される。図3では天井の空調孔が主な騒音源として検出されている。評価実験により、10cmの分解能（目標数値達成）で3次元音環境地図が生成できることを検証した。

2. 3. 音環境知能技術の応用・発展

以下の項目は、当初の計画には目標を掲げておらず、音環境知能の基盤技術の利活用として、本研究開発の過程で新たに発展させたものである。

2. 3. 1. 移動ロボットの安全な自律歩行の制御

T字路やL字路の曲がり角でロボットの視野に入っていない人物と衝突する恐れがある問題に対し、移動型アレイを安全に歩行させる自律制御技術の研究開発に取り組んだ。この解決法として、音環境知能を利用し、移動型アレイで視界に入っていない足音などの壁での反射音を推定しつつ、自律歩行を制御する技術を発明した。

2. 3. 2. 打音検査支援ロボットへの応用

コンクリート打音検査の記録を自動的に収集するロボットシステムの実現を目的として、打音検査の作業者と協調して検査結果を記録し、マッピングする自律移動ロボットシステムを提案した。実装した提案システムを用い、打音検査における打撃位置の推定精度を実験に基づき評価した結果、現在の手動による補修において有効に利用できることが確かめられた。また、検査結果の可視化結果を示し、提案システムが複数の環境で有効に働くことを確認した。（日本ロボット学会学術講演会にて受賞）

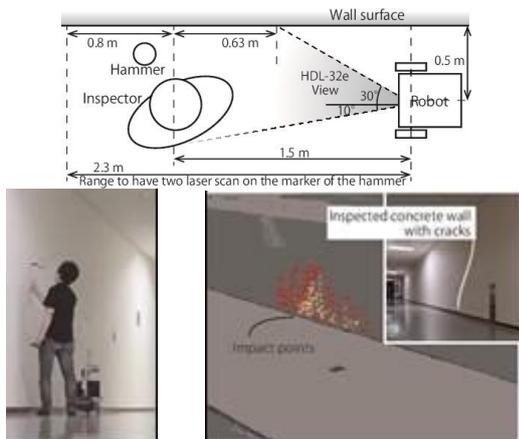


図4. 人と協調して打音検査支援ロボットシステム：打音検査の実場面の模様（左下図）、ロボットの位置制御（上図）、打音結果の3次元地図の例（右図）

2. 3. 3. 音響存在感を伝達できる遠隔操作ロボットシステムへの応用

遠隔操作型ロボットへの応用として、音環境知能技術を利用して、音響存在感を操作者に伝達できる遠隔操作システムを提案した。ロボット側では、音源定位・分離において複数のマイクロホンアレイ技術および人位置検出技術を利用した。操作者側では、操作者の頭部回転をトラッキングし、操作者の動きを補正してロボット側の空間的音環境を再生した。提案システムを用いることによって、従来法よりも高い定位精度および高い臨場感・聞き取りやすさが得られることを被験者実験により確認した。また、バーチャル音環境を操作するために、2種類のユーザインタフェースも提案し、効果的であることを検証した。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本プロジェクトの研究成果として、音環境知能の基盤技術を確認させ、移動型ロボットによる音環境地図生成技術を開発し、対象となる音を強調し、対象外の音を抑圧する機能を実現した。

将来、未知の環境でも、本技術を用いて音環境地図を作成することにより、音声に限らず、特定の音を対象とした幅広い応用性が期待できる。例えば、異常音による機械の不具合の理解や安全（防犯）システムなどに応用できる。聴覚障害者に対する音の可視化や、聴覚機能が衰えた高齢者に対して「耳障り」となる不要な音を抑圧できる知的な補聴器などに活用できる。

現在、音環境知能を活用した聴覚支援システムの研究開発において、平成27年度SCOPEに応募した提案が採択され、本プロジェクトで培った成果の応用の一つとして、研究開発を進めている。

また、日本ベンチャーキャピタルの投資により、音環境知能システムの実用化に向けた商談も現在進めている。

4. むすび

本プロジェクトでは、複数の固定および移動型のマイクロホンアレイによる音源情報と、レーザ距離センサによる人や壁などの位置情報に基づいた音環境知能の基盤技術を開発した。この基盤技術を用いて、移動ロボットの安全歩行、打音検査支援ロボット、遠隔存在感知ロボットなどへの応用例に関してその実用性の可能性を検証した。今後も、本プロジェクトの成果を活かして、新たな応用への発展を進め、社会に還元できるよう実用化に取り組む予定である。

【誌上発表リスト】

- [1] C. Ishi, J. Even, N. Hagita, "Integration of multiple microphone arrays and use of sound reflections for 3D localization of sound sources", IEICE Trans. on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E97-A, No. 9, pp1867-1874 (Sep. 2014)
- [2] J. Even, L. Y. Morales, N. Kallakuri, J. Furrer, C. Ishi, N. Hagita, "Mapping sound emitting structures in 3D", The 2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA 2014), pp677-682 (June 2014)
- [3] 渡辺 敦志, Jani Even, Yoichi Morales, 石井カルロス寿憲, 「人間協調型移動ロボットによるコンクリート打音検査記録システム」, 第32回日本ロボット学会学術講演会論文特集号 (Sep. 2015)

【申請特許リスト】

- [1] J. Even, N. Kallakuri, Y. Morales, C. Ishi, N. Hagita, 「放射音強度マップ作成システム、移動体および放射音強度マップ作成方法」、日本、平成25年10月22日
- [2] 石井カルロス寿憲, Jani Even, 萩田紀博, 「音源位置推定装置、音源位置推定方法および音源位置推定プログラム」、日本、平成26年09月01日
- [3] 渡辺敦志, J. Even, Y. Morales, 石井カルロス寿憲, 「打音検査記録装置」、日本、平成26年09月01日

【受賞リスト】

- [1] 渡辺敦志, 日本ロボット学会研究奨励賞, 「人間協調型移動ロボットによるコンクリート打音検査記録システム」、平成27年9月3日

【報道掲載リスト】

- [1] 「音環境知能システムの紹介」、KCN 京都「My けいはんな」科学のまちの子供たち・ジュニロボの取り組み紹介、放送期間：2014年2月1～15日