

令和 4 年 5 月 17 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20305

研究課題名（和文）屋内歩行者ナビゲーションのためのフルウェーブ信号処理によるロバスト音響測位

研究課題名（英文）Acoustic localization for indoor pedestrian navigation by full-wave signal processing

研究代表者

小木曾 里樹（Satoki, Ogiso）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・研究員

研究者番号：10821738

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は受信側にマイクロフォンアレイを用いることで設備側の時刻同期を不要とし、かつ従来の課題であるマルチパス・虚像等に頑健な測位法の確立を目的とした。提案法では測位結果の候補位置・姿勢について、この位置姿勢で予測されるマイク感の音の到来時間差を計算し、この時間差のときの相互相関関数の値を尤度として用いる。実験により、提案法を用いることで遮蔽やマルチパスの影響を受けづらいつともに、2素子という最小構成のマイクロフォンアレイでも適用できると確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は音響測位について、物による遮蔽や壁などからの反射に対して頑健な測位を実現するものである。提案法の枠組みで確立した相対移動情報との統合については、歩行者の測位などへと応用できるものと考えている。このほか、マイク等の各時刻同期条件に応じて導出した提案法については、音響測位のみならず電波などを用いる場合でも適用可能である。

研究成果の概要（英文）：The objective of this research is to establish a positioning method that does not require time synchronization at the environment side by using a microphone array at the receiver and robust against multipath and underdetermined microphone configuration. The proposed method calculates the time difference of arrival of the sound between the microphones for each candidate position and attitude. The value of the cross-correlation function at this time difference is used as the likelihood. Experiments showed that the proposed method is not easily affected by shielding and multipath, and that it can be applied to a microphone array with a minimum configuration of two elements.

研究分野：音響計測

キーワード：屋内測位 音響計測 相関関数

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

人やセンサが「どこにいるか/あるか」を正確に知る技術は、情報を活用する上で重要な基盤技術である。一方で Internet of Things (IoT) 機器等が主に利用される屋内は Global Positioning System (GPS) など使えない。このような屋内で簡便に使用できる測位法が求められている。Bluetooth を用いる屋内測位手法は簡便に利用可能だが、測位誤差が数メートルと悪い。カメラは端末をポケット等に入れると使用できない。他方、誤差数 cm 程度の測位法は Ultra wide band (UWB) など特殊な音・電波の送受信機を用いて信号の伝搬時間を測るため、時刻同期が必須である。更に、このような信号の到来時間を用いる測位法は図 1 に示すように、音源が見通し外の場合に判断がつかず不正確な情報を測位に用いるほか、音のマルチパスによって異なる音源方向を検出する、時刻同期を不要とする場合には多数のマイクが必要等の課題がある。

歩行者ナビゲーション

測位手法	利点	欠点
× 電波強度	簡便な装置	低精度
△ UWB	高精度	特殊装置
△ カメラ	高精度	座標不明
○ 音響測位	簡便 高精度	悪条件に弱

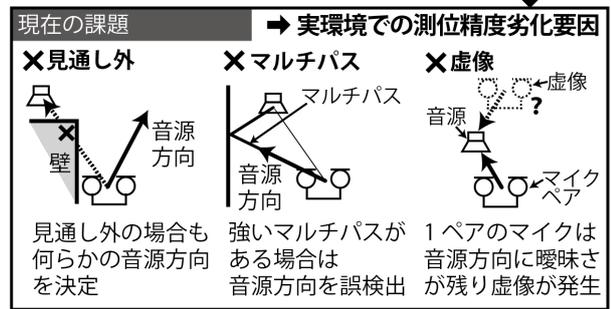


図 1 屋内での音響測位に関する現在の課題

2. 研究の目的

本研究は受信側にマイクロフォンアレイを用いることで設備側の時刻同期を不要とし、かつ従来の課題であるマルチパス・虚像等に頑健な測位法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

本研究では以下について実験等を通じて検討を行った。まず、非同期音響ビーコンを用いる提案法の確立と相対移動情報との統合方法を提案した。実験では見通し外、マルチパス、虚像による影響の評価を行った。これらの方法について、音響測位単体による測位の評価と、非同期ビーコン以外の他の同期条件へも適用できることを示した。

4. 研究成果

非同期音響ビーコンを用いる提案法の確立と移動情報との統合を行った。従来の課題は音源方向を一意に定めることに起因すると考え、音源方向を確率的に表現することで見通し外・マルチパス・虚像を統一的に解決する手法を提案した。図 2 に提案法の概要を示す。提案法は環境中に設置した音を発する音響ビーコンからの音を、受信機に搭載した複数のマイクロフォンで受信する。従来から行われている音源方向を用いる測位では、音の到来角度に応じて生じるマイク間の伝搬時間差から角度を推定し、これを用いて最小二乗法を解くなどして測位を行っている。提案法では、音の到来角度に応じてマイク間の相関関数が到来方向に応じて大きな値となることを利用する。提案法では測位結果の候補位置・姿勢について、この位置姿勢で予測されるマイク間の音の到来時間差を計算し、この時間差のときの相互相関関数の値を尤度として用いる。これをマイクの組み合わせについてすべて行い、各候補の位置についてすべて重畳することで、矛盾のない位置のみ尤度が高くなる。このような方法により、たとえば見通し外の場合にはそもそも全体に尤度が低く、音源方向の検出自体を行わないためマルチパスによる音源方向の誤検出は原理的にない。また、2 素子などごく少数のマイクロフォンアレイでは音源方向を一意に定められないが、提案法では

音源方向を検出せず、位置の尤度を定義して測位

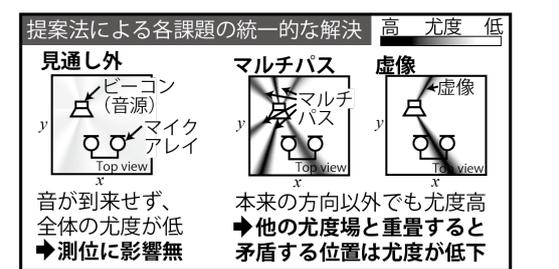
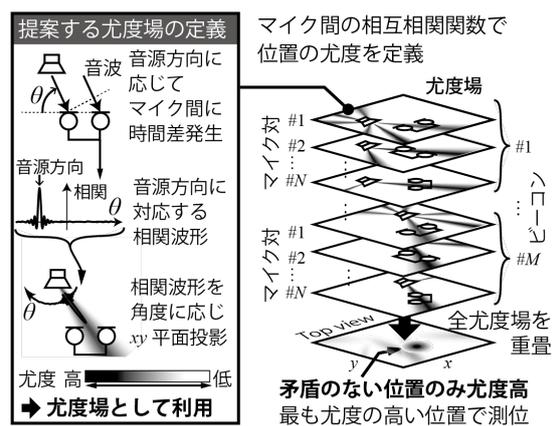


図 2 提案法の概要

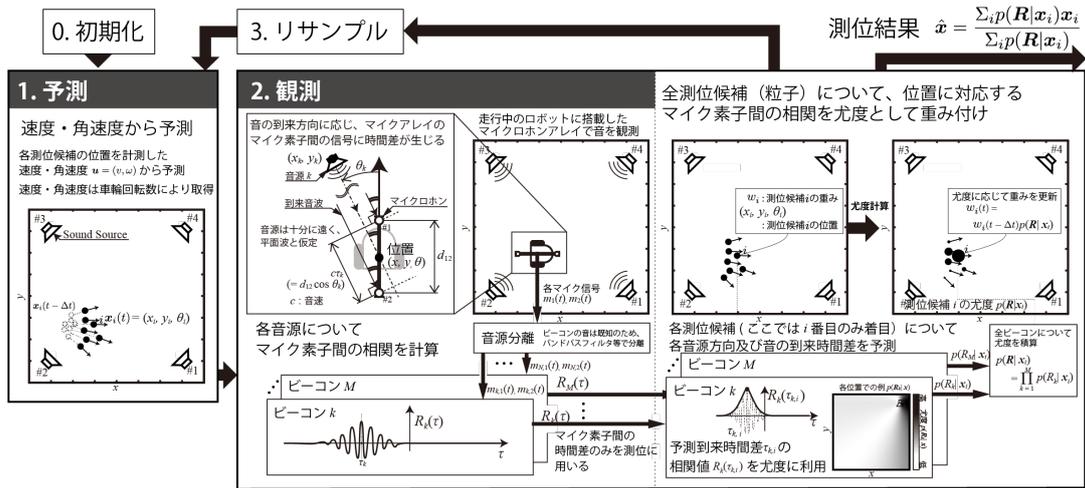


図3 相対移動情報との統合

相関関数が計算できれば測位が可能である。

以上に示した尤度関数の計算方法を移動体の測位に用いる場合、歩行速度や車輪回転数など相対移動情報との統合が効果的である。図3に相対移動情報との統合方法を示す。提案法ではパーティクルフィルタを用いることで、音響ビーコンから得た位置尤度と車輪などから得た相対移動情報を統合する。具体的には次の4つのステップで測位を行う。まず、ある適当な数の測位候補位置・姿勢を用いて初期化する。次に、これら位置・姿勢について、相対移動から得た情報をもとに現時刻の位置を予測する。その後、マイクロフォンアレイで得た情報から尤度を計算する。各位置・姿勢から得られるべき音の伝搬時間差を予測、観測したマイク間の相互相関関数のうち予測された伝搬時間差のときの値を位置尤度として用いる。これにより各位置・姿勢の候補の重みを更新し、適宜リサンプルを行いながら相対移動情報による予測とマイク信号による観測の反映を繰り返す。

実際に期待する反射や遮蔽への対策、2素子のマイクでの測位がどの程度できるか、実験により評価を行った。実験では環境中に4台の音響ビーコンを設置し、これらから0.1秒ごとに繰り返す掃引正弦波を送信した。この環境中を、マイクロホンアレイを搭載した移動ロボットに移動させた。移動ロボットには半径25cmの円周上に等間隔に並べた4素子のマイクロフォンを設置し、車輪回転数とマイクロフォンの音を記録した。また、この際に条件を変え、ビーコンのうち一つを障害物で遮蔽した場合、ビーコンの真後ろに壁を設置してマルチパスを無視できない場合についても検討を行った。従来法としては、音源方向を相互相関関数の最大値から検出し、拡張カルマンフィルタによって推定する方法を比較した。測位の結果を図4に示す。最上段のように外乱が大きい場合、提案法はマイク2素子でも4素子と同等の測位精度を達成できることを確認した。また、このとき尤度関数の例を見ると、本来の位置の周辺で相対的に大きな値であると確認できる。ビーコン#1からの音が遮蔽された場合、2素子のみ用いる提案法は4素子を用いる場合に比べ測位精度が劣っているが、従来法を超える精度では測位ができていない。図4最下段、壁からのマルチパスが無視できない条件では、測位結果としては精度が高いものの、尤度関数を見るとマルチパスにより広い範囲で尤度が高くなっている様子が確認できた。

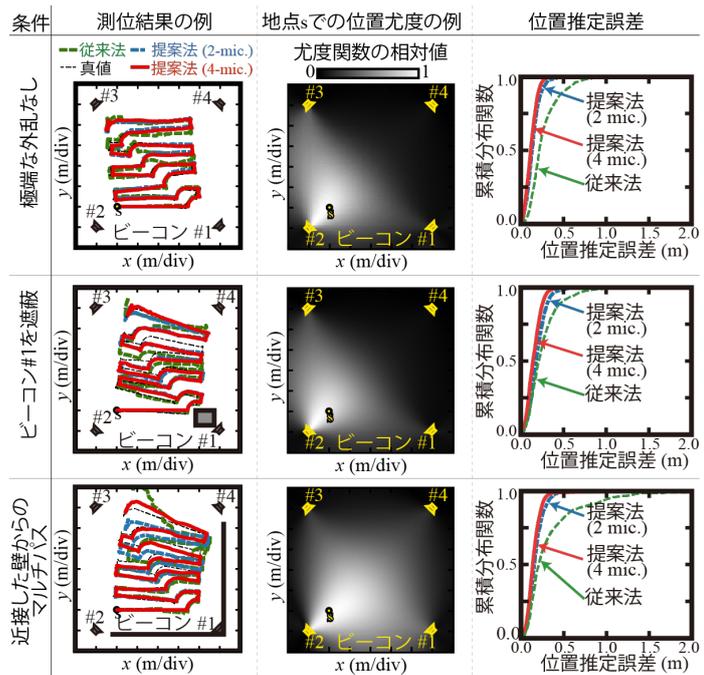


図4 見通し外の場合の測位条件と結果

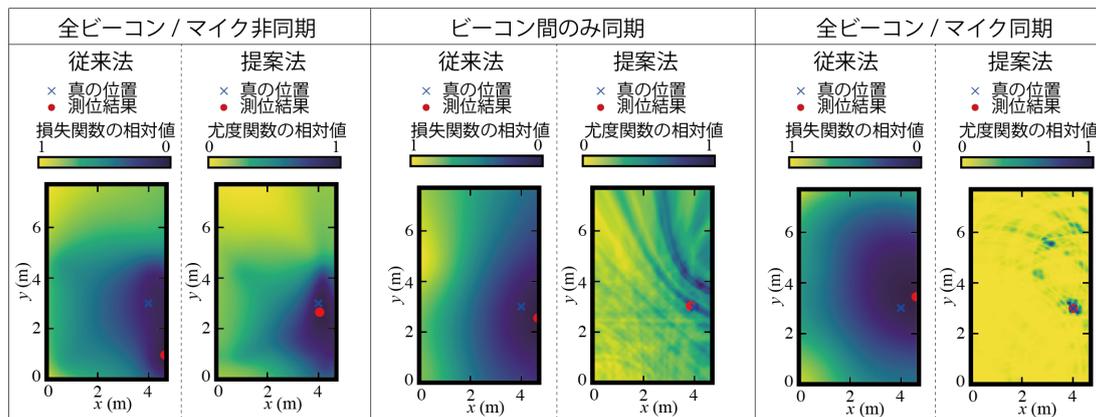


図 5 ビーコンの同期条件による提案法と従来法の比較

他方、提案法の中核である予測した伝搬時間の相互相関関数の値を用いることは、他の音響測位法にも適用可能な考え方である。このため、ビーコン間およびビーコンとマイクの同期条件について、他の条件でも提案法を定式化し、実験室内における測位精度評価によりその特性を検証した。図 5 にその結果を示す。図 5 最左列の条件は前項までと同様であり、4 素子のマイクロフォンを用いて相互相関関数を計算し位置尤度を計算している。この場合、各々の音源に対する音源方向を検知してから測位する場合に比べ精度の向上を確認した。図 5 中央列および最右列の条件では、単一のマイクロフォンのみを用いている。図 5 中央列ビーコン間のみ同期した場合については、従来法では最小二乗法の損失関数がなめらかであるのに対し、提案法は残響等をすべて尤度関数に反映するため多数の凹凸が見られる。これは図 5 最右列も同様である。これら条件でも、従来法では伝搬時間差を誤検出した後はこれを前提にするしかなく、誤差の要因となるが、提案法ではこれらの情報をすべての組み合わせで重畳するため比較的真的位置に近い値を推定できていることが分かる。以上のことから、提案法を用いることで遮蔽やマルチパスの影響を受けづらいつともに、2 素子という最小構成のマイクロフォンアレイでも適用できると確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Satoki Ogiso, Koichi Mizutani, Naoto Wakatsuki and Tadashi Ebihara	4. 巻 7
2. 論文標題 Robust indoor localization in a reverberant environment using microphone pairs and asynchronous acoustic beacons	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 123116-123127
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ACCESS.2019.2937792	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 1件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 小木曾里樹
2. 発表標題 非同期音響ビーコンとマイクロフォンアレイを用いる3次元位置姿勢推定法
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kinari Umemura and Satoki Ogiso
2. 発表標題 Robust Indoor Localization in Reverberant Environment using Cross Correlation Functions as Time-of-Arrival Likelihood
3. 学会等名 The 7th International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Satoki Ogiso
2. 発表標題 Robust acoustic localization in a reverberant environment for synchronous and asynchronous beacons
3. 学会等名 11th International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小木曾里樹
2. 発表標題 非同期音響ビーコンとマイクロフォンアレイを用いる屋内測位
3. 学会等名 GPS/GNSSシンポジウム2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小木曾里樹, 蔵田武志, 大隈隆史
2. 発表標題 少数位置での電波強度計測値を用いる歩行者相対測位及び統合測位の補正法
3. 学会等名 HCGシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------