



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Indoor Acoustic Localization using Reflected Signals [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	村上, 弘晃
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第14584号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81210
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Hiroaki_Murakami_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学)

氏名 村上 弘晃

審査担当者 主 査 教 授 杉本 雅則

副 査 教 授 田中 章

副 査 教 授 工藤 峰一

副 査 教 授 今井 英幸

学位論文題名

Indoor Acoustic Localization using Reflected Signals

(反射波を用いることによる屋内音響測位に関する研究)

スマートフォンの社会への普及に伴い、われわれの日常生活の様々な場面における位置情報へのニーズが高まっている。さらに、全世界的な危機となっている COVID-19 によりソーシャルディスタンスの制御や、感染者との接触歴把握等が求められており、ユーザの高精度な位置情報は今後ますます必要不可欠になると考えられる。現在広く使われている位置推定システムとして Global Navigation Satellite System (GNSS) が挙げられるが、屋内では GNSS 信号が遮蔽され利用できない。人類は 1 日の 88.9 パーセントを屋内で過ごすと言われる調査報告があり、屋内測位における標準技術の開発は非常に重要な課題である。

屋内測位においても GNSS のようにスマートフォンで受信可能な信号を用いることが望ましい。現在、Wi-Fi や BLE を活用した電波強度による測位システムが既にいくつかの施設にて展開されている。しかしながらこれらの測位手法では、数 m の誤差が発生する場合があります、ナビゲーション等への応用には十分とは言えない測位性能である。

そこで、本論文では屋内のインフラストラクチャとして普及しているスピーカを活用した音響測位に着目する。音響信号は電波と比較し伝搬速度が遅いため、信号検出精度が高い。そのため、スマートフォン測位の中で最も高精度な推定が可能な技術の 1 つであり cm 単位での測位誤差を実現する。また、ハイレゾリユーションオーディオの普及に伴い、今後は人には知覚できない超音波帯域の利用が期待される。

スピーカとの正確で高速な時刻同期が難しいスマートフォンでは、音響信号がスピーカから送信され、スマートフォンで受信されるまでの伝搬時間 (ToA) を利用した測位の実現は難しい。そのため、スピーカ 2 台から送信された音響信号の到来時間差 (TDoA) を利用した測位手法が一般的である。1 つの TDoA からスマートフォンが位置する双曲線 (TDoA 曲線) が算出され、3 次元測位には最低でも 4 台のスピーカを必要とする。日本では消防法により屋内施設でのスピーカ設置義務があるが、任意の地点においてユーザが利用可能なスピーカ台数は、通常は 1 台もしくは 2 台である。そのため、音響測位を標準技術として展開するために解決すべき課題の 1 つに、屋内施設にて利用可能なスピーカ台数と比較し、測位に必要なスピーカの台数が不足する点が挙げられる。

本論文では、測位に必要なスピーカ台数が不十分な環境における測位手法の確立を目的とする。本稿では、音響測位において測位誤差の要因として知られる反射波をあえて積極的に活用した以下の 3 つのアプローチに取り組み、この目的を実現する。

1 つ目は、スピーカの設置がより制限される廊下環境を想定する。直線上にスピーカが設置される廊下では、音響信号を安定して受信可能な設置スピーカは高々 2 台である。このとき、得られる TDoA 曲線は 1 つでありスマートフォンの位置を計算することはできない。そこで、スマートフォンに搭載されたスピーカを利用し、そこから送信される音響信号の反射波を活用するアクティブ音

響センシングを併用した測位手法を提案する。アクティブ音響センシングでは、壁までの距離を算出することが可能で、これにより設置スピーカ 2 台での 2 次元測位を実現する。

2 つ目は、上記と同様に廊下環境を想定し、設置スピーカにより生じる反射波に着目する。壁や床からの反射波を、仮想的なスピーカから送信された信号と捉える「鏡像スピーカ」の概念を提案する。これにより、2 台の設置スピーカを、両壁と床の鏡像スピーカを含む計 8 台のスピーカに増やすことができる。鏡像スピーカの位置はフロアプランから計算することが可能で、設置スピーカ 2 台での 3 次元測位を可能とする。また、本手法をスマートフォンに搭載された 2 つのマイクロフォンを用いた測位モデルに拡張することで、単一スピーカでの 5 自由度推定を実現する。

3 つ目は、廊下とは異なり壁の無い一般的な環境を想定する。壁からの反射波が期待できない一般空間に対しても、少数のスピーカで測位ができることが望ましい。そこで、本アプローチでは単一の設置スピーカとあらゆる環境に存在する床の鏡像スピーカの幾何学配置に着目した時刻同期手法を提案し、アクティブ音響センシングによりユーザ位置の鉛直成分を求めることで信号の送信時刻推定を可能にする。これにより、ToA 測位を用いることによる設置スピーカ 2 台による 3 次元測位を実現する。また、一般空間ではいずれかの設置スピーカからの音響信号が見通し外になることが予想される。そのため、見通し内の音響信号が 1 台であっても測位が可能な手法として、パーティクルフィルタを用いた非同期追尾手法を提案する。

本論文は全 6 章で構成され、各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、本論文の背景、提案手法の概要およびその学術的な貢献について述べられている。

第 2 章では、提案手法に関連の深い既存研究について言及し、提案手法との相違点および位置付けが明らかにされている。

第 3 章では、アクティブ音響センシングを活用した 2 次元測位手法について説明し、設置スピーカ 2 台を用いた廊下環境での評価実験を通じて提案手法の有効性を示している。

第 4 章では、鏡像スピーカを用いた 3 次元測位手法について説明し、設置スピーカ 2 台を用いた廊下環境での評価実験を通じて提案手法の有効性を示している。

第 5 章では、前章で提案した測位モデルを拡張し、単一スピーカを用いたスマートフォンの 3 次元位置、ヨー角 (方位角)、ピッチ角を含む 5 自由度推定について述べられている。さらに、設置スピーカ 1 台を用いた廊下環境での評価実験を通じて提案手法の有効性を示している。

第 6 章では、アクティブ音響センシングと鏡像スピーカを利用した時刻同期手法に加え、非同期追尾手法について述べられている。さらに、スピーカ 2 台を設置した複数の環境での評価実験を通じて提案手法の有効性を示している。

第 7 章では、前章までの議論を踏まえて本論文の結論、今後の課題および展望について述べられている。

これを要するに著者は、実用的な屋内測位システム実現に向けての課題克服のため音響信号の反射波に着目し、鏡像スピーカの概念の提案、アクティブ音響センシング手法や ToA 測距のための時刻同期手法の設計とその測位技術への展開について具体的に示すとともに、提案手法の実装と実世界での評価実験を通してその有用性を明らかにした。本論文により得られた成果は、屋内測位研究、特に音響測位研究の分野に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める。