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_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　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

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）

スマートフォンの普及に伴い, 様々な場面において位置情報を求められる動きが強まっている. 特に, 昨今の疫病に伴う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, ユーザの高精度な位置情報は今後必要不可欠となる. 広く使われている位置推定システムに global navigation satellite system (GNSS) があるが, 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% を屋内で過ごすとされる調査報告があり, 屋内測位技術に関する研究が盛んに取り組まれている.

本論文では, ユーザの高精度な位置情報が必要となる社会を見通し, 隣り合うユーザとの区別が可能な誤差 0. 20m 以内での測位をシステムの要求とする. また, 実世界への展開を考えると, 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, いくつかの施設にて Wi-Fi や Bluetooth low energy (BLE) を活用した電波強度による測位システムが展開されている. しかしながら, これらの測位手法では数 m の測位誤差があり部屋の判別程度の測位しかできず, 十分なアプリケーション応用はできない.

そこで, 本論文では GNSS のようにスマートフォンで受信可能な信号で, 高精度な測位が達成可能な音響信号に着目する. 音響信号を用いる測位では, 変調された信号がスピーカから送信され, スマートフォンに搭載される 2 つのマイクロフォンで受信される. 音響信号を送信するスピーカは, 屋内施設のインフラストラクチャとして既に普及しているため, 追加の機材を必要とせずにユーザの位置を推定することができる. また, ハイレゾリュ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.

音響測位において, 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 からはスマートフォンが位置する曲線 (以下, TDoA 曲線と呼称) 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, その法律上任意の地点におけるユーザが利用可能なスピーカ台数は 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十分な点が挙げられる.

ゆえに, 本論文の目的を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とする. 本論文では, 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アプローチに取り組み, この目的を実現する. スピーカ数の不十分な環境において, 反射波を新たな情報として活用し位置を計算する, これを特別な機材を必要とせずにスマートフォンのみで達成することが学術的に大きな貢献の 1 つである. 反射波を利用する本論文では, 定常的に壁と床から

の反射波が生じる廊下と, 床からの反射波のみが生じ, 家具などの障害物の影響を受ける部屋の 2 つの状況を想定し, それぞれ異なる解決策を提案する. 本論文では, 廊下における 3 つの取り組みと部屋における 1 つの取り組みを報告する.

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, 1 つ目の取り組みとして, 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 つ目の取り組みでは, 設置スピーカで生じる反射波に着目する. 設置スピーカで生じる壁や床からの反射波を, 壁や床に対する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 台のスピーカとして仮想的に増幅する. 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, 3 つ目の取り組みとして, 鏡像スピーカを用いた測位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.

壁からの反射波が定常的に生じず, 家具などの障害物の影響を受けやすい部屋では, 廊下とは異なり, 測位に必要な数の鏡像スピーカを生成することが難しい. そこで, 部屋における取り組みとして, 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の高さ成分を求めることで信号の送信時刻推定を可能とする. これにより, 本来スマートフォンでは難しい ToA 測位を用いた, 設置スピーカ 2 台による 3 次元測位を実現する. 提案する時刻同期手法により, TDoA 方式と比較し測位に必要なスピーカ数を削減し, 障害物への頑健性を向上する.

本論文は全 6 章で構成されている. 1 章では, 本研究の背景ならびに, 本研究の貢献を論ずる. 2 章においては, 提案する各手法に関連の深い研究について言及し, 提案手法の位置づけを明らかにする. 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す. 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す. また, 5 章では 4 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説明する. 同様に, 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す. 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を提案し, ToA 方式での測位手法を説明する. スピーカ 2 台を設置した部屋での評価実験を通じて提案手法の有効性を示す. 7 章で, 本研究の総括を論じ, 今後の課題および展望についてに記述する.