HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	音響を用いた屋内測位およびエコー埋め込みに関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	須崎, 太久弥
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16500号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94917
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takumi_Suzaki_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　須崎　太久弥

学 位 論 文 題 名

音響を用いた屋内測位およびエコー埋め込みに関する研究
（Research on Acousitc Indoor Positioning and Echo Embedding）

位置情報を利用したサービルの増加に伴い, 測位技術の需要が高まっている. 特に近年では, 政府や企業による DX(デジタルトランスフォーメーション) の推進により, 生産性の向上や業務効率化を目的とした位置情報の活用も期待されている. 広く知られている測位技術として,GPS を代表とする GNSS(Global Navigation Satellite System) が挙げられるが, 屋内環境では人工衛星からの信号が外壁によって遮断される, もしくは大幅に減衰するため, 測位精度が著しく低下する. 今後, ショッピングモールや駅構内など, 屋内でも位置情報を活用したサービスの展開が予想されるため,GNSS に代わる測位技術の開発が急がれている.

本論文では, 屋内での高精度な測位技術を実現するため, 音響を利用した測位手法を提案する. 既存の屋内測位技術としては,Wi-Fi や Bluetooth を利用した電波ベースの手法,LED による可視光を利用した手法などが提案されている. 一方, 音響を用いる測位技術は, 測位精度とコストの面で優位性を持つ. 音速は電波に比べて遅く, 信号の受信時刻を高精度に検出できるため, 高精度な測位が可能である. また, モバイルデバイスには標準でマイクロフォンが搭載されており, 専用ハードウェアを必要としないため, 低コストでの実現が可能である. これらの利点により, 音響を用いた手法は屋内測位分野における有力な技術として注目されている.

音響を用いた測位手法は, 測位精度や実装コストの面で優位性を持つ一方, いくつか課題も存在する.1 点目は, 送受信機間の時刻同期が困難である点である. 音響測位では, 信号が空気中を伝搬する時間を基に位置を推定するため, 送信機 (スピーカ) と受信機 (マイクロフォン) の精密な時刻同期が一般的に必要とされる. 時刻同期を不要とする TDoA(Time Differenceof Arrival) アルゴリズムも存在するが, これを採用する場合, 時刻同期済みの手法と比較して, 測位計算に必要なスピーカの数が増加する.

2 点目は, 高精度測位が可能な範囲 (カバレッジ) が限定的である点である. モバイルデバイスに搭載されているマイクロフォンは指向性を持ち, その周波数特性によって測位精度が変化する. そのため, スピーカとモバイルデバイスの配置関係や環境の影響により, 測位精度が低下することがある.

3 点目は, 送信信号の帯域が可聴域と重なる点である. 多くのモバイルデバイスでサポートされているサンプリング周波数は最大 48kHz であり, 受信可能な周波数は 24kHz まで

に限定される. 一方で, 人の可聴域は 18kHz 程度であるため, 送信信号として利用可能な帯域は 18kHz から 24kHz に限られる. この帯域幅は十分ではないため, 測位精度の低下につながる可能性がある.

本論文では, これらの課題を解決するための改善手法を提案する.1 点目の課題に対しては, 床からの反射波に着目し, 送受信機間の擬似的な時刻同期を可能にする手法を提案する. この手法では, 鏡像法を用いて床からの反射波を仮想スピーカからの直接波とモデル化することで, 擬似的にスピーカ数を増加させる. これにより, 受信側で幾何学的に送信時刻を推定することが可能となる. また, 送信時刻の推定には, モバイルデバイスの高さ情報が必要となるが, これは音響センシングによる測距によって推定する.

2 点目の課題に対しては,TDM(時間分割多重) と FDM(周波数分割多重) を組み合わせた方式を提案し, 測位領域の拡張を試みる. この手法では, 各タイムスロットで周波数が異なる信号を送信することで, 周波数特性による測位精度の影響を抑制する. 複数のタイムスロットを用いることで, 送信信号の帯域を広げ, 測位精度の向上が期待できる.

3 点目の課題に対しては, 音響電子透かしの分野に着目し, エコーを測位用信号として BGM に埋め込む手法を提案する. この手法では, 人間の聴覚が反響音に対して鈍感である特性を利用し, 広帯域の信号を BGM に埋め込む. 帯域と時間分解能にはトレードオフの関係がありが, 広帯域化することで時間分解能を向上させ, 高精度な測位が期待できる.

以下に本論文を構成する各章の概要を示す. 第 1 章では, 屋内測位技術の基礎概念および背景を説明し, 本論文の概要と貢献を述べる. 第 2 章では, 位置推定を行う研究および音響に関する研究をまとめ, 本論文の位置づけを示す. 音響以外の既存の屋内測位技術にも言及し, 特徴と性能を比較する. 第 3 章では, 床からの反射波に着目した疑似的な時刻同期手法を提案し, その基礎概念と詳細を説明する. また, 実験による時刻同期の誤差および測位精度の評価を行い, 提案手法の有効性を示す. 第 4 章では, 送信方式の工夫による測位領域の拡張手法を提案し, その基礎概念と詳細を説明する. また, 実験による従来の送信方式との比較を行い, 提案手法の有効性を示す. 第 5 章では, エコーを BGM に埋め込むことによる測位手法を提案し, その基礎概念と詳細を述べる. また, 実験による音源のジャンルや埋め込みパラメータによる測位精度の比較を行い, 提案手法の有効性を示す. 第 6 章では, 本論文で提案した手法について得られた成果を総括し, 今後の課題および展望について記述する.