HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	LED反射光を用いることによるスマートフォン屋内位置認識に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	嶋田, 祥太
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第14582号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81180
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shota_Shimada_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　嶋田　祥太

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

LED 反射光を用いることによるスマートフォン屋内位置認識に関する研究
（Smartphone Indoor Positioning using LED Reflection）

スマートフォンの急速な普及に伴い, 携帯端末の位置認識技術への社会的な要求が高まっている. 屋外においては GNSS(Global Navigation Satellite System) が標準技術となっているが, 屋内測位技術は発展途上であり, 多くの技術が提案されているのが現状である. 屋内では建物内に設置された既存のインフラストラクチャを活用した測位が可能であり, 様々な応用が期待されている. 具体的には, 病院や介護施設での患者や医師の行動記録, 公共施設での視覚障害者向けナビゲーション, 人を感知して動的制御を行う HVAC(Heating, Ventilating and Air Conditioning) による節電, 大規模ショッピングモール等での購買支援などが挙げられる. 従来研究では, 慣性センサ, 電磁波, 音響, 画像認識, 赤外線 (Infrared: IR) などを用いた屋内測位システムが提案されている. 本論文では可視光に注目する. 可視光測位では, フォトダイオード (Photodioade: PD) やイメージセンサを受信機,LED 照明等を送信機とし, 送受信機間の距離や角度などからそれらの位置を計算する手法が一般的である. 既設の照明器具を活用できるため, 設置コストの削減が期待できる. また, 可視光は物体を透過しないためにマルチパスの問題が発生しにくく, 高精度で測位できる点も長所となる.

PD を用いた可視光測位は消費電力が低いという利点がある. 一方, スマートフォンに環境光センサとして搭載されている PD は, 応答速度が低い, 受信感度が悪い等の問題があり, 測位への利用は困難である. そのため, 先行研究では高速に動作する PD をスマートフォンに別途装着しており, スマートフォン実装の PD を用いた測位システムはまだ実現されていない. このような背景から, 本論文では多くのスマートフォンに搭載されており, 十分な受信感度を持つイメージセンサを用いた可視光測位に注目する. 課題の 1 つは LED 照明の検出方法である. イメージセンサ, すなわちカメラを用いた既存手法の多くは, 天井設置の LED 照明に異なる ID を割り当てて変調光を送信する. スマートフォンのカメラを用いることで, 原理的には 3 つ以上の LED を 1 度に直接撮影しこれらを識別する. しかし, この手法は照明の配置や建物の高さの制約を受ける. 例えば, ユーザがスマートフォンを水平に保持し, 測位用のアプリケーションを起動することを想定する. 天井に正対しているフロントカメラは LED を直接撮影できるが, 一般にスマートフォンのフロントカメラは画角が垂直 60 度, 水平 45 度以内程度であるため, 四方に配置された LED を画角内に収めるためには LED 間の距離のおよそ 2.5 倍以上の高さの天井が必要となる. つまり, この手法の実現には, 密に配置された照明か, 高い天井を有する屋内空間での利用が条件となる. また, 多数の LED 検出のためにできる限りピクセル数の大きい画像を処理するため, スマートフォン単体での高速計算に困難を伴う

場合も生じる. したがって, 先行研究の中にはオフラインでの計算やクラウドによる実装を行うものもある. さらに,LED 照明からの直接光を検出するためにカメラの露光時間を非常に短くする必要があり, カメラ本来の被写体撮影の用途には不向きであるという課題も挙げられる.

そこで本論文では, 床面の反射光を撮影することによる測位手法を提案する. 前述の想定のように, ユーザがスマートフォンを保持し. 床面に正対したそのリアカメラにより測位を行う. 障害物のない環境であれば床面は必ず天井からの照明光を反射するため, 原理的には提案手法は天井の高さや LED 配置間隔の制約を受けない. 送信機側では, 自己位置に関連づけられた固有の周波数で 3 つ以上の LED 照明から異なる変調光信号を送信する. 受信機側では, 事前に各 LED の位置と周波数の情報を保持し, スマートフォン搭載カメラで床面を撮影する. そして動画ストリーム中から LED 光の周波数スペクトルを抽出し, 各 LED 直下と撮影地点の床面との距離を求めることで, 撮影位置を計算する. さらに, 得られた床面の情報から到来角を推定し, スマートフォンの 6 自由度を決定する. 本論文ではまず, マルチパスや LED 光の遮蔽を生む障害物を排した環境を想定し,LED 照明光の周波数スペクトルの距離による減衰を表す数理モデルを提案する. 実験によりそのモデルの妥当性を確認するとともに, モデルを使用して撮影した床面の位置推定を行う. さらに, 床面上の複数点の到来角 (Angle of Arrival: AoA) を用いることによりスマートフォンの 6 自由度を推定する.

各章の構成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, 測位技術の原理, 既存手法およびシステムの長所および短所について解説し, 提案手法との相違点および位置付けを明らかにしている.

第 3 章では,LED 反射光と距離との関係を示す数理モデルの導出,6 自由度推定手法等, 本論文での提案手法について具体的に述べられている.

第 4 章では, 前章で述べた提案手法の実世界での展開のためのシステム設計および実装について述べられている.

第 5 章では, 前章で実装した測位システムを用い, 多様な条件下での実施した評価実験について述べられている.

第 6 章では, 前章での評価実験に基づき, 既存手法と比較しつつ提案手法の長所, 短所, 限界等について議論している.

第 7 章では, 前章までの議論を踏まえて本論文の結論と今後の展望について述べられている.

これを要するに著者は, 従来の可視光測位技術の課題を克服するために, 床面撮影画像を用いた距離推定モデルの導出およびそれを拡張したスマートフォン 6 自由度推定手法を提案するとともに, 提案手法の実世界での性能評価実験を通してその有用性を示した. その成果は, 屋内測位研究, 特に可視光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.