

[9]

氏名	井上 晴可 <small>いのうえ はるか</small>
博士の専攻分野の名称	博士（情報学）
学位記番号	情博第 54 号
学位授与の日付	平成 29 年 3 月 31 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	スマートフォンの GPS センサ特性を考慮した信頼性の高い 3 次元プローブデータの取得に関する研究
論文審査委員	主査 教授 田中 成典 副査 教授 辻 光宏 副査 教授 伊藤 俊秀

論文内容の要旨

衛星測位技術の進歩とスマートフォンの普及に伴い、GPS (Global Positioning System) センサから取得した位置情報を利用するサービスが身近になってきた。近年では、人物や自動車などの移動体の膨大な位置情報をプローブデータと称し、マーケティング、社会行動、交通・都市計画、防災や防犯などにおいて新たな知見を得るための重要な手掛かりとして注目されている。実際に、茨城県つくば市では、スマートフォンのアプリケーションを用いたプローブパーソン調査（以下、PP 調査）が実施され、市民の社会活動の実態把握に役立っている。しかし、経緯度・標高の測位データには、受信できる衛星の個数やその配置状況に加えて、スマートフォンの GPS センサの特性に起因して、明らかな異常値が含まれることがある。そのため、プローブパーソンデータの解析では、ノイズを除去するためのフィルタリング処理が不可欠である。通常、自動車のカーナビゲーションでは、GPS と地磁気・ジャイロ・加速度センサを用いたベクトル情報、そして、マップマッチングで位置情報を補正しているが、スマートフォンの場合、地磁気・ジャイロ・加速度センサの性能が低い上に、モバイル性に富むため携帯時に一様なデータを取得できず補正が難しい。また、地図データや道路ネットワークデータを用いたマップマッチングにより、位置情報を補正することも考えられるが、必ずしも道路上を歩行しているとは限らないため、誤った補正により精度低下につながる場合がある。したがって、スマートフォンの GPS センサから得られる二次情報を活用せざるを得ない。

そこで、本研究では、歩行者の行動把握を目的として、スマートフォンの GPS センサからノイズ情報を含まない 3 次元の位置情報を取捨選択しながら取得する方法について議論する。

GPS センサから取得した位置情報のノイズ判定には、スマートフォンで獲得できる指標を利用することや、歩行時の連続した位置情報（以下、歩行者トリップデータ）、い

いわゆるパーソントリップデータを活用することが考えられる。過去の研究では、GPS センサで取得した位置情報に付随する衛星配置状況の良否を示す PDOP (Position Dilution of Precision) を用いたものがある。PDOP が小さいほど測位精度が良好で、大きい時には位置情報の測位精度が悪くなると判定する指標である。しかし、PDOP が大きい時でも真値に近い位置を計測する場合や、逆に小さい時でもノイズの場合がある。他の指標として、経緯度のみの確からしさを推定する平均誤差半径 (CEP: Circular Error Probability) がある。この指標を単独で用いた研究は見当たらない。これは、計測された経緯度を中心にその半径の領域内に真値が存在する確率が 68%であることを意味する。半径が小さいほど計測値の正確度が高いと考えられるが、PDOP と同様、大きくても真値とほぼ一致している場合や小さくても真値と離れている場合がある。

その他の研究として、この平均誤差半径の指標と歩行者トリップデータとを併用したものがあ。これは、過去に計測された位置情報のデータベースを用いて移動経路を最小矩形単位の帯状として管理し、現時点の計測位置がその帯状経路の近接計測点であっても過去の平均誤差半径の値と比較し、もし値が大きければその計測点をノイズとして破棄する処理が施されている。しかし、この方法では、過去に何度も計測した経路の情報を手掛かりとしているため、計測実績がない場所や未開の地への適用ができない。また、経緯度のみを対象としているため、標高を加味した 3 次元の位置情報の議論がなされていない。

そこで、本研究では、PDOP と平均誤差半径の指標、そして歩行者トリップデータを用いた新たなノイズ除去手法を提案する。まず、事前実験では、GNSS (Global Navigation Satellite System) で計測地点の真値を求めた後、機種毎に異なる GPS センサの特性を把握するために複数機種の計測データを定量的に分析する。

次に、PDOP と平均誤差半径の指標を用いて、計測結果からノイズを除去するための手法を提案し、本実験から得られた知見を基に各指標の閾値を検討する。そして、これらの方法で除去しきれないノイズに対応するため、歩行者トリップデータを用いた手法を考案し、計測データが真値の可能性があるかを判断するアルゴリズムを決定する。以上、3つの方法を確立した技術により、機種毎に異なる GPS センサの特性を考慮した信頼性の高い 3 次元プローブデータの取得を実現する。

最後に、PP 調査で取得した歩行時の実データに本技術を適用して有用性を評価する。最終的に本技術がスマートフォンに実装されることで、質の高い大規模なプローブデータを蓄積できる。そのことで、地形の高低差を加味した人物流動の把握、ペDESTリアンデッキと歩道とが併走する区間などの立体構造における人物の回遊行動の分析や、災害時の通行可能箇所の把握が可能となる。今後、社会基盤情報や社会活動情報の分野で新たな展開にも大いに期待できるものである。

以上、第 1 章では、位置情報の利活用に向けた現状の取組と課題について述べている。第 2 章では、既存研究について調査し、本研究の着眼点と構想について論じている。第 3 章では、事前実験を通じてスマートフォンの GPS センサの特性を確認している。第 4 章では、PDOP と平均誤差半径の指標を考慮して信頼性の高い 3 次元の位置情報を取得する手法を提案し、実証実験を通じてその可能性を議論している。第 5 章では、歩行者トリップデータを活用することで高精度にノイズを除去する手法を提案し、実証実験を

通じて有用性を議論している。第 6 章では、茨城県つくば市を対象に実施された PP 調査のデータに第 4 章および第 5 章の本技術を用いて、実用の可能性を議論している。最後に第 7 章では、研究成果の総括と本研究の今後の展開について述べている。

論文審査結果の要旨

本研究は、スマートフォンの GPS センサから信頼性の高い位置情報を取得する技術を提案し、事前実験、実証実験及び PP 調査の実データへの適用を通じて実用性とその価値を評価したものである。以下に審査結果を詳述する。

(1) GPS センサの特性を把握するための事前実験

センサ機器は機種毎に異なる特性がある。スマートフォンの GPS センサも例外ではない。この特性を捉えることがノイズ除去手法を検討する上で重要となる。しかし、既存研究では、位置情報を通知するための時間間隔や距離間隔、そしてスマートフォンから得ることができる指標について十分に検討されておらず、真値と計測値との誤差要因を定量的に分析されていないため、センサ特性を十分に把握しているとは言い難い。

本研究では、時間間隔と距離間隔、そして、PDOP と平均誤差半径の指標の 4 項目について検討し、事前実験を通じて GPS センサの特性を明らかにしている。本研究では、スマートフォンの GPS センサが内蔵されているプロセッサで 7 割近いシェア率を持つ Qualcomm 社に加え、サムスン電子社の計 6 機種 (Android OS Ver. 2. x~4. x) を用いた。この 6 機種で GPS センサの特性を分析することが可能となる。実験前には 1 級 GNSS (PENTAX 社の G3100-R1) を用いて関西大学高槻キャンパスのグラウンド 7 地点 (以下、グラウンド実験) とキャンパス内の道路 47 地点 (以下、キャンパス実験) の真値を計測している。

実験では、6 機種同時にグラウンドとキャンパスで 100 回ずつ、計 200 回の計測を行った。分析の結果、各機種ともソフトウェア上で設定した時間間隔と距離間隔で位置情報が通知されないことが分った。そのため、両間隔を最小値に設定することで 1 秒毎のデータ取得が可能であることが分った。また、同一環境下で PDOP と平均誤差半径の指標の値が機種毎に異なることが分った。したがって、計測値が真値からどの程度離れているかを示す尺度である絶対精度と、その正確度を詳細に検討し、ノイズを取り除く技術を確立する必要があることを明らかにした。

(2) PDOP と平均誤差半径の指標を用いたノイズ除去手法の提案

本研究では、スマートフォンから取得できる PDOP と平均誤差半径の指標を用いて、位置情報のノイズを除去する技術を提案している。GPS センサから取得される位置情報は、周囲の環境や観測衛星数の影響を受けノイズを含む。その精度の指標として PDOP

が用いられるが、1の場合に最も測位精度が良いとされている。ただし、衛星の配置によって利用される衛星の種類とその数の違いや、機種により PDOP の算出方法の違いによる要因でその値が異なる。一方、誤差要因を考慮し計測点の経緯度の確からしさを評価する指標として、平均誤差半径がある。NTT ドコモでは、その正確度の指標を概ね 50m 未満と公表している。しかし、PDOP や平均誤差半径が小さくても計測データが真値でない場合や、逆に大きくても真値である場合がある。

本研究では、これらの矛盾を考慮した最も合理的な PDOP 値と平均誤差半径を決定することで、絶対精度と正確度を担保した信頼性の高い位置情報の取得を試みる。グラウンド実験及びキャンパス実験の観測データを基に PDOP と平均誤差半径のパラメトリック解析を行い、PDOP 値は 4、平均誤差半径は 35m と決定した。この PDOP を用いて明らかにノイズを含む位置情報を除去し、一方、平均誤差半径の値を用いて真値になる確率が高い時の位置情報以外はノイズとして処理した。本研究では、PDOP と平均誤差半径に着目し、これら 2 つの指標を併用することで機種が異なってもノイズを除去できることを確認した。最終的に、グラウンド実験とキャンパス実験の観測点以外の連続データに適用した。その結果、機種毎によって異なるが、グラウンド実験では 0.02%~15.79%、キャンパス実験では 0.01%~20.52%で信頼性の低い計測データを除去することが可能となった。この提案方法は、本研究の新規性の一つである。

(3) 歩行者トリップデータを用いたノイズ除去手法の提案

PDOP と平均誤差半径の指標を活用することで、全く無意味な位置情報を除去することはできたが、真値と異なるノイズを含む位置情報を完全には除去しきれない課題が残った。本研究で調査した限り、スマートフォンから得られる二次的情報を用いて、その課題を解決できる有用な策は見当たらない。そのため、単独の計測データそのものの絶対精度や正確度をさらに追求するのではなく、計測データにフィルタリング処理を施すことを考える。通常、地図データや道路ネットワークデータを用いたマップマッチング技術が用いられるが、必ずしも道路上を歩いているとは限らないため、誤った補正により精度低下につながる課題がある。そこで、本研究では、歩行者トリップデータに着目する。

本手法では、直前の計測点との 3次元の 2点間距離を用いてノイズであるかを判定し、ノイズと判定した場合はその計測点の直後の計測点も信頼性が低いため除去対象とする。ここでは、ノイズであると判定するための 2点間距離の閾値とノイズと判定された直後の計測データを除去対象とする計測点数を分析する。その結果、2点間距離は 2m、除去対象とする計測点数は 3点と決定した。本提案手法は、(2)の PDOP と平均誤差半径の指標を用いた処理に加えて、連続した計測点の 3次元の 2点間距離に着目することで、リアルタイムに信頼性の高い 3次元位置情報を取得する点に意義がある。最終的に、前述(2)と同様、全ての実データに本技術を適用した。その結果、機種毎によって異なるが、グラウンド実験では 34.00%~51.26%、キャンパス実験では 35.26%~48.81%の信頼性の低い計測データを除去することができた。このことより、本技術の有効性を実証している。

(4) PP 調査データを用いた提案技術の評価検証

本技術の実用性を評価するため、茨城県つくば市で市民の社会活動を対象に実施された PP 調査に適用した。この PP 調査では PDOP を計測していなかったため、平均誤差半径の指標と歩行者トリップデータにフィルタリング処理のみを適用した。実証実験の結果、平均誤差半径を用いたノイズ除去では、全体の 2.00%までが除去され、異常値が明らかな場合のノイズが除去された。歩行者トリップデータを用いたノイズ除去では、全体の 38.06%~63.47%が除去され、歩行者の周辺に建物や木々が並ぶ地点や道路においてノイズが適切に除去できた。また、経緯度をポリラインで結んだ歩行経路がノイズ除去前後で一致したことより、信頼性の高い位置情報のみを取得できていると言える。したがって、本技術は、歩行時を対象としたリアルタイムなノイズ除去技術として有用であることを再確認した。

最後に、一連の成果を基に、スマートフォンアプリケーションの開発に向けて、基本設計及び詳細設計について纏めている。今後、展開研究においてシステムが実装され運用されることで、信頼性の高いトリップデータから質の高い大規模なプローブデータが蓄積され、有益な空間情報を構築することが可能になる。また、それを活用することで新たな発見やビジネスに繋がり、社会貢献に寄与するものである。また近い将来、歩行のみならず移動速度が異なる自転車や自動車の交通手段において本研究成果は大いに役立ち、発展することが期待できる。

以上の内容によって、本論文は、スマートフォンの GPS センサの特性を踏まえてリアルタイムに信頼性の高い 3 次元位置情報を取得することについて、実社会における問題解決に寄与できる深遠な研究であり、実用面での有用性を証明した先駆的な論文と言える。したがって、本論文を博士論文として価値あるものと認める。