

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：12201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00114

研究課題名(和文) スマートフォンを用いた高度位置推定システムの研究

研究課題名(英文) A study on advanced positioning system by using smart phone

研究代表者

藤井 雅弘 (Fujii, Masahiro)

宇都宮大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20366446

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、スマートフォンを人が保持して歩行する場合を想定した位置推定について検討を行った。まず、絶対位置推定技術において近年実用化が進められているRTK-GPSの原理を無線LANシステムに適用する手法について検討を行った。また相対移動量の推定では、スマートフォンの座標系で計測されたセンサ情報をIMUによって地球座標系に変換し、更に主成分分析手法を用いて移動の進行方向を推定する手法の高精度化に取り組んだ。この進行方向推定は、手に保持した状態などの通常想定されるスマートフォンの様々な保持状態で適用可能であり、実用的な手法である。

研究成果の概要(英文)：In this research, I investigate a positioning method for pedestrian with smart phone. I develop an absolute positioning method based on the principle of the Real-Time Kinematic Global Positioning Systems (GPS) applied to wireless local area network. By this technique, it is possible to estimate a location of the smart phone with high accuracy even when we cannot observe the signals from the GPS satellites. Moreover, I develop an estimation method for direction of the pedestrian by using the Inertial Measurement Unit based on the sensors equipped to the smart phone. The sensor values are converted to the world coordinate system. And I estimate the direction using the Principle Component Analysis based on the sensor values. This estimation is very robust because of high degree of the attitude of the smart phone.

研究分野：位置情報システム

キーワード：位置推定 絶対位置 相対移動量

### 1. 研究開始当初の背景

近年、工場や商業施設などで動線分析やナビゲーションといった位置情報を利用した情報サービスが注目されており、屋外だけでなく、屋内でも位置推定の需要が増加している。このようなサービスを実現するために、直接的に移動体の位置を計測するための装備として最も一般的なものは GNSS (Global Navigation Satellite System) である。GPS (Global Positioning System) に代表される GNSS では、既存の衛星と移動体が装備している受信機との距離を送信時刻差から算出し、受信機の時計誤差と合わせて位置を推定する単独測位や、基準局での搬送波位相観測との差分に基づく干渉測位などの技術があり、国内では QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) の整備による高精度化が進み様々なアプリケーションへの応用が期待される。QZSS の活用により高層ビル群地帯などでの位置推定精度向上が期待できるが、衛星からの信号が不達、もしくは反射・回折波が支配的となる屋内においては、高い精度での測位は困難である。1つの解として、IMES (Indoor Messaging System) がある。IMES は GPS と QZSS と同じ RF 信号を屋内に設置された局から位置情報を放送することで、大まかな位置を知ることができる簡易な技術であり、移動局は GPS/QZSS 受信機ハードウェアで利用可能である。また、他のインフラとして、公衆移動体通信システムの基地局や近年数多く設置されている無線 LAN (Local Area Network) の AP (Access Point) の信号を利用する方法がある。受信強度に基づき AP と移動局の距離を計測し測位を行う方式や、GPS の干渉測位の原理を活用した方法も検討されている。IMES や無線 LAN を利用した屋内位置推定は広域展開はなされておらず、局所的な利用に限定される。そこで、間欠的に推定される絶対位置情報を補間する目的で相対移動量を計測する DR (Dead-Reckoning) 技術も様々検討されている。DR は通常、3軸加速度センサ、3軸ジャイロセンサによる6軸センサ情報を用いた IMU (Inertial Measurement Unit) フィルタや、さらに3軸地磁気センサを加えた9軸センサ情報を用いた MARG (Magnetic, Angular Rate, and Gravity) フィルタを用いて実現される。GNSS と無線 LAN、各種センサは最近のスマートフォンには標準的に搭載されており、様々な切り口での研究・開発が進められている。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、スマートフォン向けの高精度な位置推定についての研究を行った。スマートフォンのようなモバイル端末の位置推定において、その絶対位置を推定する技術と、その相対移動量を推定する技術に別でき、更にそれらを融合する技術が必要である。絶対位置の推定の多くは、GPS や無線 LAN

(Local Area Network) 等のアクセスポイントからの信号を利用し、スマートフォンの位置を推定する。一方で、相対移動量の推定では、スマートフォンに内蔵されている加速度センサとジャイロセンサを用いた IMU や更に地磁気センサを用いた MARG を用いる手法がある。

本研究課題では、スマートフォンを人が保持して歩行する場合を想定した位置推定について検討を行った。まず、絶対位置推定技術において近年実用化が進められている RTK (Real Time Kinematic)-GPS の原理を無線 LAN システムに適用する手法について検討を行った。この技術により GPS 衛星からの直達信号が届きにくい屋内などでも高精度な位置推定が可能となる。また相対移動量の推定では、スマートフォンの座標系で計測されたセンサ情報を IMU によって地球座標系に変換し、更に主成分分析手法を用いて移動の進行方向を推定する手法の高精度化に取り組んだ。この進行方向推定は、手に保持した状態などの通常想定されるスマートフォンの様々な保持状態で適用可能であり、実用的な手法である。

### 3. 研究の方法

まず、絶対位置推定における研究において、図1に示す GPS 衛星の観測を用いた屋内向けの絶対位置推定技術の開発を行った。GPS 衛星は通常屋内では観測できない場合が多い。しかしながら、屋内においても窓を介して衛星が観測できる場合もある。一般に衛星の航路情報を得ることができる。その情報は SkyPlot という手法で表現する事ができる。また、屋内のある地点で天球カメラを用いて撮影した画像は SkyPlot の角度関係と一致する。この性質に着目し、時刻で変化する衛星位置情報と窓情報を整合させ絶対位置推定に活用する手法をスマートフォン上で開発した。

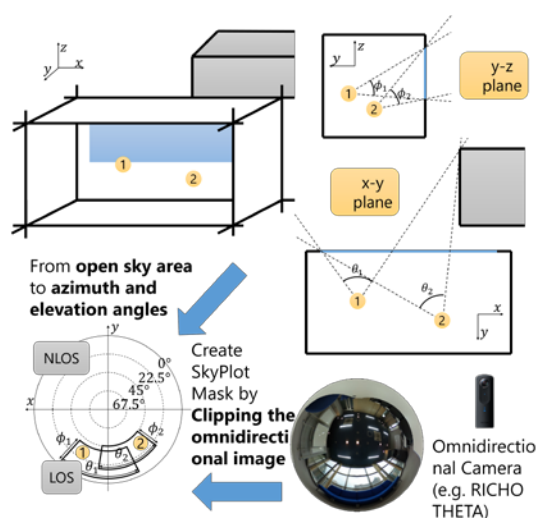


図1 SkyPlot マスクを用いた絶対位置推定

また、絶対位置を推定するために無線 LAN なのでアクセスポイントを用いる手法がある。この手法ではアクセスポイントとスマートフォンの距離を正確に測ることが課題となる。このために、受信強度を用いる手法があるが、特に屋内環境では周辺の壁や床での反射が原因でその受信強度が変動することが知られている。そこで、その変動の確率モデルを導入し、適切なバイアスを加えることで推定精度を改善する手法を開発した。更に、図 2 に示すようにアクセスポイントとスマートフォンを設置し、実証実験を行い、提案手法の正当性の評価を行った。

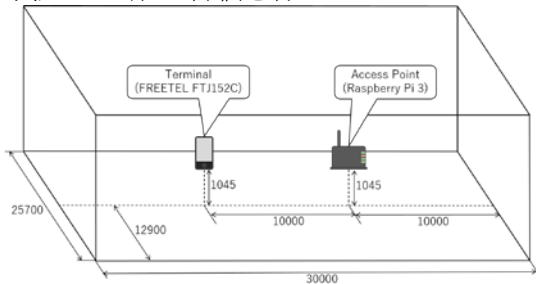


図 2 屋内における受信強度に基づく距離推定

次に、無線 LAN の標準規格である IEEE802.11 に則した絶対位置推定に関する研究を行った。この手法では図 3 に示す PCF (Point Coordination Function) というアクセス制御方式によりパケット衝突なく各局で情報のやり取りを行う。この際、各局では受信波数を計数して、バッファに保持し、自身の送信順序の際にフレームにその情報を付して送信する。このプロセスを全ての局で繰り返すことで、波数情報の収集が可能となる。集められた波数情報を用いて、RTK-GPS の原理を流用して高精度に絶対位置を推定する手法を開発した。

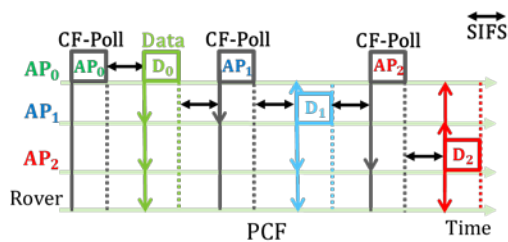


図 3 PCF による波数情報の収集

次に、図 4 に示すように様々な保持状態でスマートフォンを保持した歩行者が移動した際の相対移動推定の研究について述べる。スマートフォンに搭載されたセンサはその姿勢に基づく 3 次元で計測される。この座標系は必ずしも歩行者の進行方向と一致しない。そこで、IMU や MARG を用いて、まず、スマートフォンの座標系と地球座標系に変換する手法を開発した。そして、世界座標系での第一主成分軸と相対移動方向に相関が高いことに着目し、主成分分析

から移動方向を高精度で推定する手法を確立した。

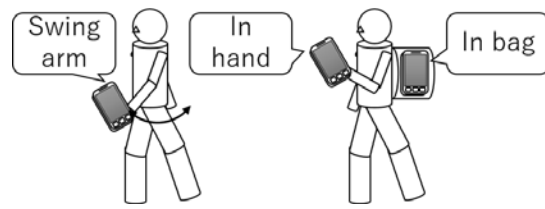


図 4 様々な保持状態での相対移動推定

#### 4. 研究成果

無線 LAN のアクセスポイントとスマートフォンの距離を受信強度に基づき推定する手法において、図 5 に示すように、補正項を挿入するだけで、容易に距離推定精度が改善できることを理論的に証明し、シミュレーション実験、及び実証実験においてもその効果を確認した。更に理論限界であるクラメオ・ラオ基準に照らし合わせると、提案手法でもその限界を達成できていないことを示し、さらなる改善の可能性を示した。

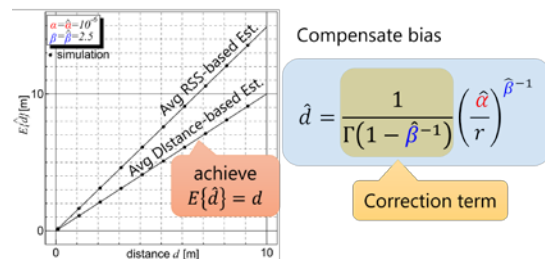


図 5 受信強度に基づく距離推定における補正とその推定精度

次に IEEE802.11 PCF に基づくアクセス制御の下で、計測波数を用いて RTK-GPS の原理に基づき位置推定を行った結果を図 6 に示す。これは図の四隅に無線 LAN のアクセスポイントが設置されている場合の例であり、移動局が様々な位置にいる際の誤差を表現したものである。アクセスポイントからの信号が比較的等しく観測できる中央部では推定誤差が小さくなり、端に近づくにつれて観測のアンバランスから推定精度の劣化が観測できる。しかし、この評価の範囲では、20cm 以下の誤差での位置推定が可能であることを示せた。

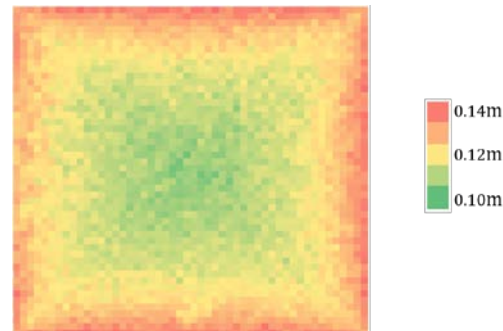


図 6 位置推定誤差のヒートマップ

次に、図 7 にスマートフォンのセンサを用いた進行方向推定について示す。この歩行者の歩行実験では、まず、 $180^\circ$  方向に進行し、その後、 $90^\circ$  方向に進行方向を変化させた例である。赤線で示した従来手法では、ある特定の条件が発生すると、方向が  $180^\circ$  反転してしまうという問題があった。そこで、提案手法で平滑化の原理を導入し、これを抑制する事に成功した。この結果、高精度での歩行者の進行方向推定が可能となった。

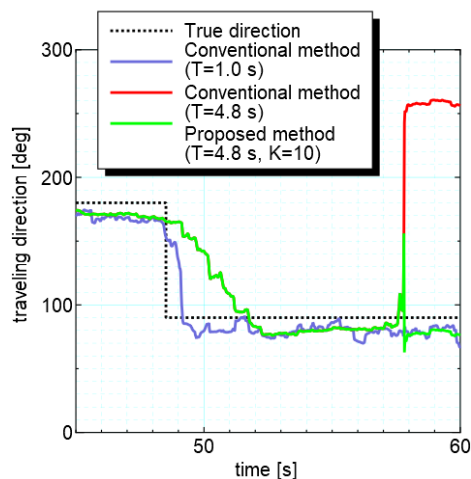


図 7 提案手法による進行方向推定性能

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① Masahiro Fujii, Yuya Sakuma, “Suppression of reversal in traveling direction estimation by using IMU and PCA for PDR,” International Journal of Networking and Computing (掲載決定)
- ② Hiromi In, Hiroyuki Hatano, Masahiro Fujii, Atsushi Ito, Yu Watanabe, “Reliable Position Estimation by Parallelized Processing in Kinematic Positioning for Single Frequency GNSS Receiver,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences (掲載決定)
- ③ Masayuki Ochiai, Hiroyuki Hatano, Masahiro Fujii, Atsushi Ito, Yu Watanabe, “Indoor Positioning Based on Fingerprinting Method by Incoming GPS Signals,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol. E99-A, no. 1, pp. 319-322, Jan., 2016.
- ④ Masahiro Fujii, Yuma Hirota, Hiroyuki Hatano, Atsushi Ito, Yu Watanabe,

“Distance Estimation based on Statistical Models of Received Signal Strength,” IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol. E99-A, no. 1, pp. 199-203, Jan., 2016.

- ⑤ 星 尚志, 藤井 雅弘, 羽多野 裕之, 伊藤 篤, 渡辺 裕, “スマートフォンを用いた歩行者デッドレコニングのための進行方向推定に関する研究,” 情報処理学会論文誌, vol. 57, no. 1, pp. 25-33, Jan., 2016.
- ⑥ Yasuhiro Ikeda, Hiroyuki Hatano, Masahiro Fujii, Atsushi Ito, Yu Watanabe, Tomoya Kitani, Toru Aoki, and Hironobu Onishi, “Distance Sensor Assistance to GPS Positioning,” IARIA International Journal on Advances in Networks and Services, vol. 8, no. 3/4, pp. 215-225, Dec., 2015.

[学会発表] (計 28 件)

- ① Yuya Sakuma, Masahiro Fujii, “A Study on Direction Estimation of Movement by Multiple Sensors for Pedestrian Dead-Reckoning,” International Workshop on Advances in Networking and Computing, pp. 603-605, Nov., 2017.
- ② Masahiro Fujii, Nobuaki Arai, “Experimental Evaluation for Distance Estimation by Using Received Signal Strength Indicator,” IEEE Global Conference on Consumer Electronics, pp. 66-67, Oct., 2017.
- ③ Hiroki Musha, Masahiro Fujii, “A Study on Indoor Positioning Based on RTK-GPS,” IEEE Global Conference on Consumer Electronics, pp. 64-65, Oct., 2017.
- ④ Toshiaki Nagaoka, Hiroyuki Hatano, Masahiro Fujii, Atsushi Ito, Yu Watanabe, “A Study on Reliable Position Estimation in Kinematic Positioning for Single Frequency GNSS Receiver”, International Conference on ITS Telecommunications, 7 pages, May, 2017.
- ⑤ Hiromi In, Hiroyuki Hatano, Masahiro Fujii, Atsushi Ito, Yu Watanabe, “A Study on Estimation Method of Pedestrian’s Walking Status for GPS Positioning Correction,” International Conference on ITS Telecommunications, 7 pages, May, 2017.
- ⑥ Toru Hattori, Masahiro Fujii, “A Study on Point Positioning Method Considering Residual Ranging Error”,

- IEEE Global Conference on Consumer Electronics, pp. 76-69, Oct., 2016.
- ⑦ Masahiro Fujii, Yoshiaki Mori, "A Study on Indoor Positioning Systems Based on SkyPlot Mask," IEEE Global Conference on Consumer Electronics, pp. 66-67, Oct., 2016.
  - ⑧ Masahiro Fujii, "A Study on Distance Estimation Based on Received Signal Strength and Its Cramer-Rao Lower Bound," International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation, 4 pages, Oct., 2016.
  - ⑨ Yasuhiro Ikeda, Hiroyuki Hatano, Masahiro Fujii, Atsushi Ito, Yu Watanabe, Tomoya Kitani, Toru Aoki, Hironobu Onishi, "A Study on GPS Positioning Method with Assistance of a Distance Sensor," International Conference on Networks, Apr., 2015.

他, 国内学会発表 19 件

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

関連研究での国内外学会での受賞

- ① 佐久間裕弥, 藤井 雅弘, "PDR のための IMU と PCA による進行方向推定に関する一検討," 情報処理学会第 80 回全国大会学生奨励賞, Mar., 2018.
- ② 武者 大樹, 藤井 雅弘, "無線 LAN を用いた干渉測位における位置推定誤差に関する一検討," 電子情報通信学会ワイドバンドシステム研究会学生奨励賞, Dec., 2017.
- ③ Yuya Sakuma, Masahiro Fujii, "A Study on Direction Estimation of Movement by Multiple Sensors for Pedestrian Dead-Reckoning," CANDAR' 17, Workshop Best Poster Paper, Nov., 2017.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤井 雅弘 (FUJII Masahiro)

宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 20366446

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

なし