人体による電波減衰を考慮したWi-Fi測位精度向上手法

原田 翔平[1] 村尾 和哉[2] 望月 祐洋[3] 西尾 信彦[2]

概要：近年，Wi-Fi や Bluetooth などの通信デバイスや加速度，角速度センサなど様々なセンサが搭載されたスマートフォンの普及に伴い，これらのセンサから得られるデータを活用した位置情報サービスやユーザの状況を考慮したサービスの提供が期待されている．これらのサービスの提供には測位技術のさらなる発展が不可欠であり，これまで様々な手法の研究が行われている．屋内では一般に GPS 測位を利用することが困難なため，Wi-Fi 測位や PDR 測位といった手法が提案されている．中でも Wi-Fi 測位は絶対位置が推定できることに加え，様々な施設で既に Wi-Fi 基地局が設置されているため導入コストが低く，注目されている．Wi-Fi 測位では主に電波強度 (RSSI) を利用して位置推定を行う．しかし，電波観測時にユーザ本人の体が電波を遮ってしまうことで RSSI が低下してしまい，測位精度が低下する問題が存在する．そこで本研究では，GMM(Gaussian mixture model) を用いて電波環境マップを表現し，パーティクルフィルタを利用した Wi-Fi 測位における人体による電波減衰を考慮し，測位精度を向上させることを目的とする．人体の減衰が発生していない電波環境マップ (理想的な電波環境マップ) の作成手法，人体による電波減衰が発生した基地局の判別手法，電波減衰の発生した基地局に対する補正手法を提案する．人体による電波減衰が発生した基地局は位置推定結果の周囲にパーティクルを配置し，各パーティクルの座標における理想的な RSSI と観測した RSSI の差の平均を算出することによって判別する．電波減衰の発生した基地局電波に対する補正は事前実験による実測値を利用して行う．評価実験により，電波観測回数に関わらず，電波減衰判別手法が有効であることを確認した．加えて，人体による電波減衰の発生した基地局が判別可能な場合においては RSSI に補正をかけることで，大きな測位誤差の発生を抑制できることを確認した．

SHOHEI HARADA[1] KAZUYA MURAO[2] MASAHIRO MOCHIZUKI[3] NOBUHIKO NISHIO[2]

1. はじめに

近年のスマートフォンの普及に伴い，ユーザの位置情報を利用した様々なサービスが提供されている [1]．屋外では主に GPS(Global Positioning System) を利用して測位を行うが，屋内では壁や天井などの遮蔽物によって GPS の電波が受信できなくなり，測位が行えない問題がある．そのため，屋内で位置情報を取得する手法の研究が数多く行われており，加速度センサやジャイロセンサを利用した PDR((Pedestrian Dead Reckoning)[2] や Wi-Fi 測位が提案されてきた．中でも Wi-Fi 測位は絶対位置が推定できることに加え，Wi-Fi 基地局が既に設置されている屋内施設が多く導入が容易であるため，屋内測位手法として注目されている．Wi-Fi 測位では主に RSSI(Received Signal Strength Indicator) を利用して現在位置を推定する．Wi-Fi は 2.4GHz 帯の通信帯域を利用しているため，電波の反射，遮蔽の影響を受けやすい．水分を多く含む人体による電波減衰の影響が著しい．そのため，Wi-Fi 測位において，Wi-Fi 受信端末により RSSI を計測する際に基地局とユーザの位置関係からユーザ本人の体が遮蔽物となり，RSSI が減衰することによって測位精度が低下する原因となる問題がある．そこで，今宮ら [4] は電波環境マップ作成時に 8 方位別に RSSI を測定し，方位別のデータベースを作成し，測位を行なった．しかし，位置推定時の進行方向は地磁気センサ用いた電子コンパスを利用しており，地磁気の乱れの多い屋内では十分な精度が確保できない．

1 立命館大学大学院 情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
2 立命館大学 情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University
3 立命館大学 総合科学技術研究機構
Research Organization of Science and Technology, Ritsumeikan University

加えて電波マップ作成時と同様の端末所持方法を行う必要があり，複数の所持方法に対応困難である．本研究では，Wi-Fi 測位における人体による電波減衰を考慮し，測位精度の向上を目的とする．そのために人体の減衰が発生していない電波環境マップの作成と，人体による電波減衰が発生した基地局の判別手法，電波減衰の発生した基地局に対する補正手法を提案する．

2. 関連技術

2.1 Wi-Fi を用いた屋内位置推定に関する研究

Duc ら [8] は Wi-Fi 測位手法として，Triangulation という手法を利用している．Triangulation はスマートフォンと基地局間の距離と RSSI の減衰関係から距離を近似する式を定義し，基地局からの推定距離と基地局との相対的な位置関係を元に測位を行う．3 箇所以上の基地局から端末までの推定距離を算出し，それぞれの距離の和が最小になるように最小二乗法によって位置を推定する．Triangulation は基地局の配置が偏っている場合でも推定精度が低下しない利点があるが，3 箇所以上の基地局の電波を観測できなければ測位不可能である問題が存在する．

暦本ら [6] は加重平均法と呼ばれる手法を提案している．加重平均法とは，複数の基地局座標からの推定距離を重みとして，位置の重み付き平均を行うことで推定位置を決定する手法である．基地局座標からの推定位置は Triangulation と同様に端末と基地局間の距離と RSSI の減衰関係から距離を近似する．加重平均法には Wi-Fi 基地局が密集している地点に推定位置が収束してしまう問題や観測できた Wi-Fi 基地局が 1 つの場合はその Wi-Fi 基地局の位置が推定位置になってしまうという問題が存在する．

Bahl ら [3] は Scene Analysis という手法を用いて位置を推定している．Scene Analysis は測位空間の緯度経度情報と基地局からの電波情報を結びつけた電波環境マップを事前に収集しておき，位置推定時に実際に観測した電波情報とパターンマッチングを行うことで絶対位置を推定する方式である．この手法は主に Fingerprint と呼ばれている．

藤田ら [7] は電波環境マップを GMM(Gaussian Mixture Model) で表現し，パーティクルフィルタを適用することで位置推定を行う手法を提案した．GMM とは複数の正規分布を線形結合したもので，基地局の電波情報を 2 次元のこの GMM で表す．GMM の各正規分布は平均 μ と分散共分散行列 Σ，混合係数 π_k をパラメータにもち, それらを EM アルゴリズムによって求める．このように各基地局ごとにモデル化することで Wi-Fi 測位をするための電波環境マップを作成する．作成した電波マップと測位時に受信した電波情報に対して，パーティクルフィルタを適用し位置推定を行う．パーティクルフィルタは有限個のパーティクルを予測に基づいて移動させ，尤度計算とリサンプリングを繰り返す事で次状態の予測を行う手法である．本研究では実験・評価において藤田らの手法を基にした測位手法を利用した．

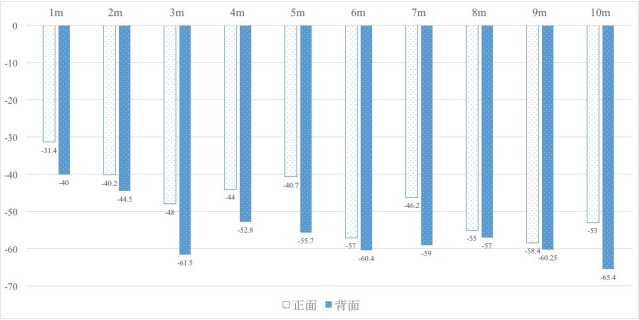

図 1 ある基地局に対するユーザの距離・方向別の RSSI

3. 関連研究

3.1 人体による減衰を考慮した Wi-Fi 測位に関する研究

今宮ら [4] は電波環境マップ作成時に 8 方位別に RSSI を測定し，方位別のデータベースを作成し，測位を行なった．しかし，位置推定時の進行方向は地磁気センサ用いた電子コンパスを利用しており，地磁気の乱れの多い屋内では十分な精度が確保できない．加えて電波マップ作成時と同様の端末所持方法を行う必要があり，複数の所持方法に対応困難である．星ら [5] は Wi-Fi と同じ 2.4Ghz 帯の BLE を用いて人の往来といった動的遮蔽物による電波減衰を考慮した測位を行った．カメラによる人物検知技術を利用して，時刻毎に動的遮蔽物である人物の位置を取得し，動的遮蔽物による影響が小さい送信ビーコンを選択して位置を推定することで．測位精度を 1.2m 改善した．しかし，カメラを設置することでプライバシーの問題や，導入コストの増大などの問題がある．加えて，ユーザ本人の体による電波減衰は考慮されていない．

4. 事前実験

4.1 人体による電波減衰量調査

人体による電波減衰量を調査するため事前実験を行なった．本学実験棟において,Wi-Fi 基地局からの距離と向きを変えながら 100 回の電波観測を行なった．基地局からの距離は基地局からの距離は 1m から 10m を 1m 刻みで 10 通り，人体の向きは基地局に対して，正面，背面の 2 通りである．実験結果を図 1 に示す．人体によって平均して 8.265dBm の減衰が発生した．基地局からの距離と RSSI が反比例していないのはマルチパスフェージングの影響と考えられる．

4.2 人体による電波減衰の測位結果への影響調査

人体による電波減衰の測位結果への影響を調査するために事前実験を行なった．本学実験棟一階で基地局に取り囲まれているような環境であるエレベータ前において，

図 2　北向き Wi-Fi 測位結果

図 3　東向き Wi-Fi 測位結果

図 4　南向き Wi-Fi 測位結果

NEXUS5 を用いて同一地点で東西南北の四方向でそれぞれ 100 回程度 Wi-Fi 測位を行なった．NEXUS5 の所持方法は胸の前の手持ちに限定している．図中の赤マーカは測位結果，青マーカは平均測位結果，緑マーカは ground truth である．北向きの結果を図 2 に示す．東向きの結果を図 3 に示す．南向きの結果を図 4 に示す．西向きの結果を図 5 に示す．同一地点で位置推定を行なったにもかかわらず測位結果の分布が大きく異なっているのが確認できる．これはユーザの方向によって人体による電波減衰が発生する基地局が異なるためと予測できる．

図 5　西向き Wi-Fi 測位結果

5.　提案手法

5.1　電波減衰の影響を受けていない電波環境マップ作成

電波環境マップの作成は藤田ら [7] の手法を元にして行なった．しかし，測位を行う際だけでなく，電波環境マップを作成する際にも人体による電波減衰は発生しうる．そこで，自撮り棒を利用し，観測社の姿勢を低くして，地上から約 140cm の高さで人体による電波減衰が発生しないように電波収集を行なった．加えて，RSSI には揺らぎがあるため，複数回の電波収集の中で最も減衰していないと考えられる最大値を利用した．

5.2　人体によって減衰した RSSI の補正

RSSI の補正をかけるにはまず，電波減衰が発生した基地局の判定が必要となる．そこで，本研究における測位方法である GMM を利用した電波環境マップとパーティクルフィルタの特徴を利用する．減衰の発生した基地局判別アルゴリズムを以下に述べる．

5.2.1　減衰の発生した基地局判別アルゴリズム

まず，人体による電波減衰を含んだ Wi-Fi 電波を用いて位置推定を行う．その後，位置推定結果から半径 10 数メートルにパーティクルを一様に撒く．ここで，測位に使用する電波環境マップは人体による電波減衰の影響を受けていない理想的なマップであるため，各パーティクルには理想的な RSSI が格納される．位置推定時に受信した各基地局の RSSI と各パーティクルに格納された理想的な RSSI の差を取り，平均を算出する．算出した基地局別の平均 RSSI は人体による電波減衰があった場合，不当に減少することが予想される．以上の方法で減衰の発生した基地局を判別する．

5.2.2　減衰の補正

人体による電波減衰の発生した基地局に対して RSSI に補正をかけ減衰前の RSSI に戻す作業を行う．具体的な補正量は人体の電波減衰量調査した事前実験の結果から 8.3dBm の補正を行う．

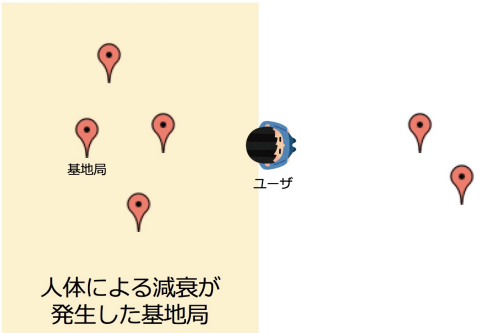

図 6　基地局とユーザの位置関係

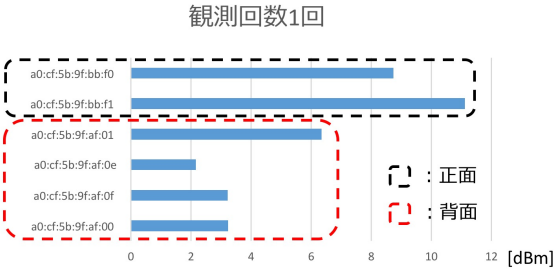

図 7　観測回数 1 回の評価結果

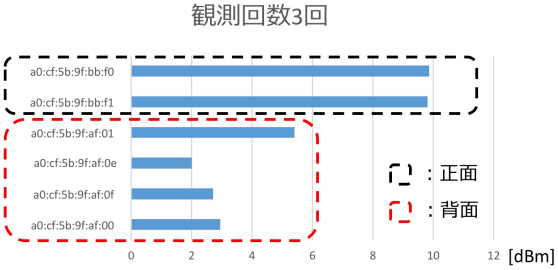

図 8　観測回数 3 回の評価結果

6.　評価

6.1　人体による電波減衰が発生した基地局の判別に関する評価

人体による減衰が発生した基地局の判別に関する評価を行う．評価方法は図 6 のように背面に 4 つの基地局があり前面に 2 つの基地局がある環境で Wi-Fi を 20 回観測し，電波減衰判別アルゴリズムを適用した．パーティクルを配置する基準点は grand truth から周囲 10m とし，観測回数別に平均 RSSI を用いて評価を行なった．結果を観測回数別に図 7，8，9，10 に示す．黒色の破線がユーザの正面にある基地局で，赤色の破線がユーザの背面にある基地局である．提案手法によって観測回数にかかわらず有効な値が算出されたことを確認できた．加えて，背面にあってもあまり減衰しない基地局があることも確認できた．

6.2　人体による電波減衰を補正した測位結果に関する評価

人体による減衰を補正した測位結果に関する評価を行う．実験方法は本学研究棟 1 階において西向きで静止して

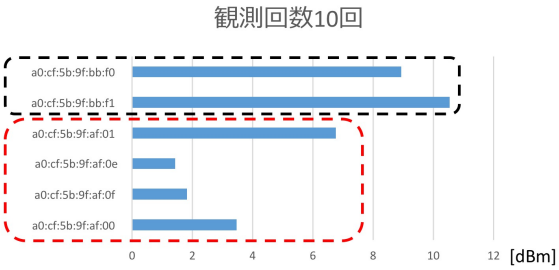

図 9　観測回数 10 回の評価結果

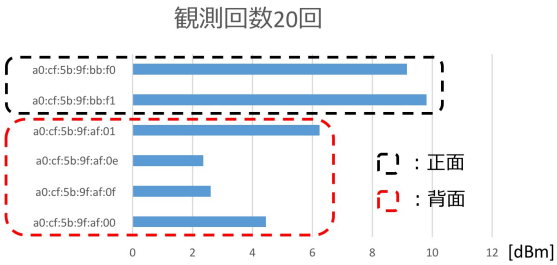

図 10　観測回数 20 回の評価結果

図 11　基地局とユーザの位置関係

100 回ほど位置推定を行なった．実験端末は NEXUS5 を利用した．基地局とユーザの位置関係を図 11 に表す．赤色マーカは電波環境マップによる基地局の推定位置を表している．円で囲んだ基地局の RSSI に補正を行なった．補正を行なった測位結果と補正なしの測位結果を図 12 に表す．赤マーカは測位結果，青マーカは平均測位結果，緑マーカは grand truth を示している．補正なしの場合は大きく grand truth から外れた測位結果 (図中黒円) があるのに対し，補正を行うとそれらの発生が抑制されていることが確認できる．また，補正の有無による測位結果の分散の変化を図 13 に示す．緯度，経度において分散が大幅に減少したことが確認できた．提案手法によって測位結果のばらつきが小さくなっていると言える．

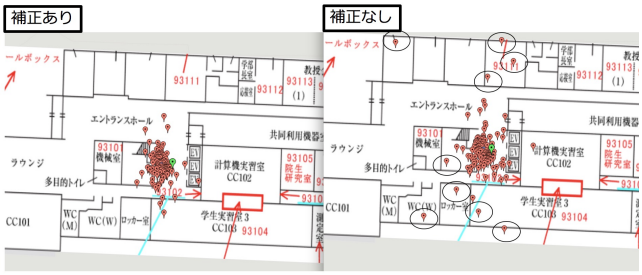

図 12　補正の有無による測位結果比較

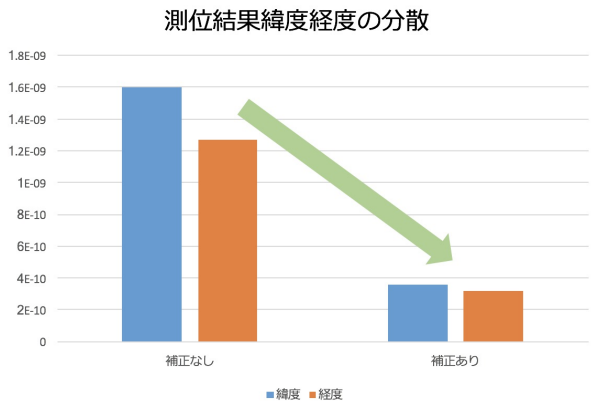

図 13　補正の有無による測位結果分散比較

7.　まとめと今後

初めに，既存の Wi-Fi 測位手法では RSSI を主に使用しているにも関わらずユーザ本人の体による電波減衰で測位誤差が発生する問題を述べた．事前実験では，人体による電波減衰量と人体による電波減衰がどの程度測位結果に影響を与えるのかを調査，確認した．そこで，電波減衰が発生していない理想的な電波環境マップの作成手法と電波減衰が発生した基地局の判別・補正手法を提案した．評価実験より，電波観測回数に関わらず電波減衰判別手法が有効であることを確認した．加えて，電波減衰が発生した基地局が既知である場合は提案手法による補正で測位結果の外れ値を抑制し，測位結果のばらつきを減らすことを示した．今後は電波減衰の発生した基地局判別を grand truth ではなく位置推定位置を基準点としてパーティクルを配置し，アルゴリズムを適用する．パーティクルの数や配置の範囲の検討も行う．加えて，補正方法においても一様な値で補正をするのではなく基地局判別アルゴリズムによって算出した値から動的に適切な値で補正を可能なアルゴリズムを考案する．

参考文献

[1] Google Maps, https://www.google.co.jp/maps
[2] 上坂大輔, 村松茂樹, 岩本健嗣, and 横山浩之. 手に保持されたセンサを用いた歩行者向けデッドレコニング手法の提案. 情報処理学会論文誌, 52(2):558-570, 2011
[3] Paramvir Bahl and Venkata N Padmanabhan. Radar: An in-building rf-based user location and tracking system. In INFOCOM 2000. Nineteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE, volume 2, pages 775-784. leee, 2000
[4] 今宮秀晴 and 横田孝義. M-010wi-fi の電界強度情報とその方向依存性を考慮した屋内位置推定手法の研究: アクセスポイント数による影響 (m 分野: ユビキタス・モバイル コンピューティング, 一般論文). 情報科学技術フォーラム講演論文集, 14(4):313-314, 2015
[5] 星尚志, 石塚宏紀, and 小野智弘. 動的遮蔽物を考慮した BLE による屋内位置推定手法の提案. In マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2017) シンポジウム論文集, volume 2017, pages 1540-1546, jun 2017.
[6] 暦本純一, 塩野崎敦, 末吉隆彦, and 味八木崇. Placeengine: 実世界集合知に基づく wifi 位置情報基盤. インターネットコンファレンス, 2006:95-104, 2006.
[7] 藤田迪, 梶克彦, and 河口信夫. Gaussian Mixture Model を用いた無線 LAN 位置推定手法. 情報処理学会論文誌, 52(3):1069-1081, 2011.
[8] 鬼倉隆志, 高柳健司, 望月祐洋, 村尾和哉, and 西尾信彦. 無線 LAN の端末側測位と基地局側測位を用いた測位精度改善手法. 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), 2015(3):1-8, 2015.