

UAV を用いた屋外無線センサの位置推定の高精度化に関する基礎的検討

加藤 美奈^{†1} 阿部 亨^{†1,†2} 菅沼 拓夫^{†1,†2}

^{†1} 東北大学大学院情報科学研究科 ^{†2} 東北大学サイバーサイエンスセンター

1 はじめに

無線ネットワーク機能を有するセンサを用いて情報収集を行う無線センサネットワーク (WSN) 技術が、環境・災害モニタリングや人物追跡など様々な用途で用いられている [1]。これらのアプリケーションの多くは、センサの正確な位置情報を必要とする。しかし、特に森林・大規模農場や被災地・危険区域等でのモニタリングに際しては、センサを上空から無作為に散布する 경우가多く、そのような状況では、各センサの正確な位置情報を把握することが困難である。そこで本研究では、屋外における散布型無線センサの位置推定の高精度化を目指す。具体的には、無人飛行機 (UAV) を用いて、センサの発する電波の受信信号強度 (RSSI) を上空から観測し、遮蔽物等による影響を考慮してセンサの位置情報を高精度に推定する手法を提案する。

2 関連研究と課題

WSN におけるセンサの位置情報取得を目的として、UAV による RSSI のパターンを用いてセンサの位置を推定する手法がこれまでに提案されている [2] [3]。これらの手法では、センサに搭載されたモノポールアンテナの放射パターンから、電界強度がセンサの天頂方向で低下するという性質を利用して、センサが発する電波の電界分布の概略を図 1(a) に示す。したがって、UAV をセンサの上空で飛行させる場合、図 1(b) のように通過した位置に応じて測定される RSSI の値に極値が生じる。原理上、この極値点から飛行経路に対して垂直となる直線上にセンサが存在するため、得られた複数の極値点から直線を引き、これらの交点を求めることでセンサの位置を推定することができる。

しかし、この手法では樹木や建物などの電波遮蔽物がある際のセンサの位置推定精度が不十分となる課題がある。この原因として、遮蔽物によるマルチパスフェージングの影響を受け、RSSI の実測値が大きく変動し、極値の抽出が困難になる点が挙げられる。関連研究 [2] では、包絡線の平均をとる手法によりこの変動を平滑化しているが、ノイズの除去が不十分であり、不要な極値点が残ってしまうことが原因で精度が低下している (P1)。

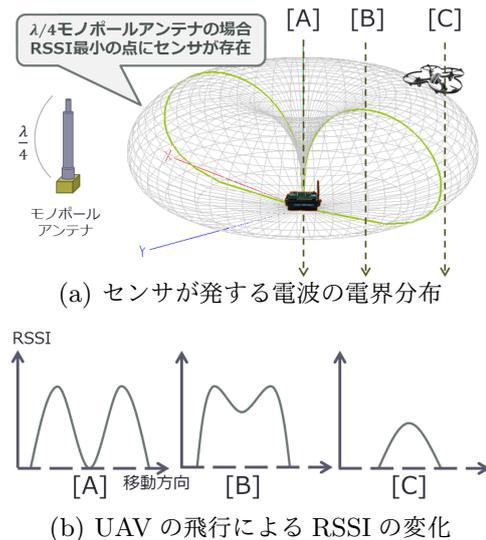


図 1: 基本原理

また、関連研究 [2] では、UAV の飛行経路として、より推定点多く選択可能で、かつより少ない飛行距離で推定が可能なりサジュー曲線 (Lissajous curve) を用いているが、飛行経路が固定的であるため、遮蔽物による影響を考慮した適切な RSSI の観測が行えず、十分な推定精度が得られない (P2)。

3 位置推定の高精度化手法

3.1 概要

本研究では、前章で述べた課題を解決することで、遮蔽物の影響を考慮した位置推定の高精度化を目指す。具体的には、関連研究 [2] での原理を基に、課題 (P1) に対して、遮蔽物が RSSI に与えるマルチパスフェージングの影響を補正する手法 (S1)、および課題 (P2) に対して、UAV の飛行経路を動的に制御する手法 (S2) を提案する。提案 (S1), (S2) を含めたアルゴリズムを以下に示す。

Step 1: UAV がリサジュー曲線に沿って飛行し、センサの RSSI を取得する

Step 2: 取得した RSSI を、単純移動平均法を用い、補正する (提案 (S1))

Step 3: 基本原理に基づき、全ての直線の組み合わせから複数の推定点を導出する

Step 4: 推定点の密集度が最も高い領域を決定し、その領域内で再度 UAV がリサジュー曲線に沿って飛行する (提案 (S2))

A Fundamental Study on Improving Accuracy of Outdoor Wireless Sensor Localization using UAV

Mina KATO^{†1}, Toru ABE^{†1,†2}, and Takuo SUGANUMA^{†1,†2}

^{†1} Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

^{†2} Cyberscience Center, Tohoku University

Step 5: Step 3と同様に推定点を導出し、全ての直線を使って導出した点を最終的な推定点として選択する (提案 (S2))

3.2 (S1) マルチパスフェージングにおける影響の補正手法

本研究では、ノイズの影響を低減する効果的な手法として、移動平均法および包絡線の平均をとる手法を用いる。移動平均法の中でも、直近の n 個のデータに対して重みづけのない単純な平均をとる手法である単純移動平均法を用いる。単純移動平均法を式 (1) に示す。

$$y_k = \frac{1}{n} \sum_{i=j}^{n+j-1} x_i \quad (1)$$

単純移動平均法を用いたのち、瞬時変動の極大値と極小値をそれぞれ繋いだ包絡線の平均をとる手法により平滑化を行うことで、よりノイズの影響を抑えた補正を行うことが可能である。

3.3 (S2) UAV 飛行経路の動的制御手法

本研究では、UAV の飛行経路を動的に選択する手法として、3.1 章の Step 4 で述べたように、一度目の飛行で得られた推定結果をもとに、センサが存在する可能性が高い領域を再度飛行するアルゴリズムを提案する。再度飛行する領域を決める際には、設定した矩形範囲を全領域の中でスライドさせて、その範囲内に存在する推定点の数で比較を行い、最も多い推定点を含む矩形領域を再飛行の対象とする。このアルゴリズムによって、二度目は位置推定を行う環境に応じてセンサが存在する可能性の高い領域を飛行でき、より信頼性の高い RSSI を取得できることで、位置推定の高精度化が見込める。このアルゴリズムを図 2 に示す。

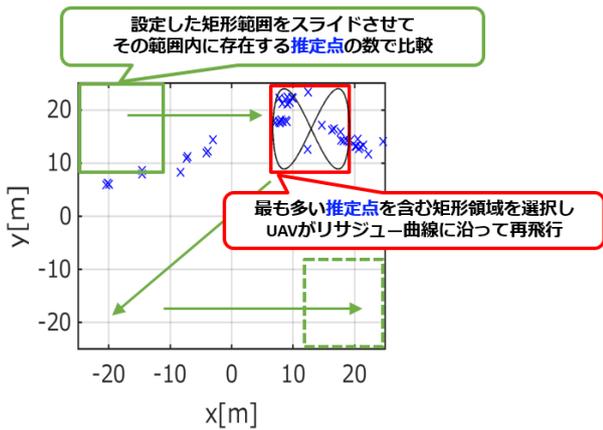
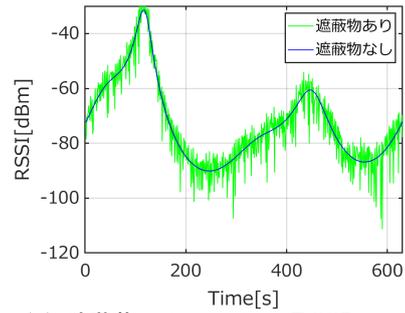


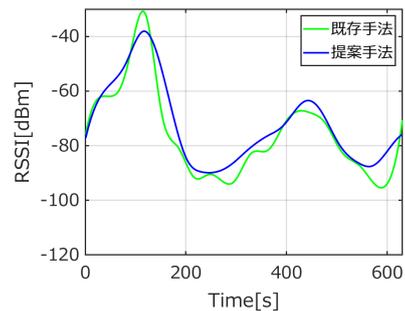
図 2: 飛行領域の探索および選択

4 実験

提案手法 (S1) の有効性を評価するために、関連研究 [2] と同様の実験環境を再現し、シミュレーションによる実験を行った。ここで木製遮蔽物が存在する場合としない場合における、UAV 飛行に伴う RSSI の時間変化を図 3(a) に示す。この結果から、遮蔽物がある場合はない場合に比べて、RSSI の変動が大きいことが確認できる。また、図 3(a)



(a) 遮蔽物ありとなしの RSSI の比較



(b) 既存手法と提案手法による補正結果

図 3: 実験結果

の遮蔽物がある場合の RSSI を既存手法および提案手法によって補正した結果を図 3(b) に示す。これらの結果から、提案手法は既存手法に比べて不要な極値点を残すことなく補正できていることが分かる。また、遮蔽物なしの場合に対する RSSI の平均二乗誤差は、既存手法の 20.92dBm に対し、提案手法は 8.50dBm となり、補正精度の向上が確認できた。

5 おわりに

本稿では、UAV を用いた屋外センサの位置推定の高精度化手法の提案と、シミュレーション実験による評価を行った。提案 (S1) については、マルチパスフェージングの補正が効果的であることが確認できた。今後は、提案 (S2) の UAV 飛行経路の動的選択手法の実装および評価を行う。

参考文献

[1] Paul, A.K. and Sato, T., "Localization in Wireless Sensor Networks: A Survey on Algorithms, Measurement Techniques, Applications and Challenges," Journal of Sensor and Actuator Networks. 6(4):24, 2017.
 [2] 大坂久登, 他, "UAV を用いた屋外センサ位置推定の精度向上に関する基本設計," 信学技報, Vol.116, No.361, IN2016-76, pp.63-68 (2016).
 [3] Fidan, B. and Umay, I., "Adaptive Source Localization with Unknown Permittivity and Path Loss Coefficients," ICM 2015, pp.170-175 (2015).