

UAVを用いた屋外無線センサの高精度位置推定手法の設計

加藤美奈^{1,a)} Muhammad Alfian Amrizal^{2,b)} 阿部 亨^{1,3,c)} 菅沼 拓夫^{1,3,d)}

概要: 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 (Wireless Sensor Network: 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。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が必要になる。しかし、大規模地域や危険区域等でのモニタリングに際しては、センサを上空から散布する 경우가多く、そのような状況では、各センサの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、無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) を用いて、センサの発する電波の受信信号強度 (Received Signal Strength Indicator: RSSI) を上空から観測し、遮蔽物等の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。

1. はじめに

Internet of Things (IoT) の浸透に伴い、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 Wireless Sensor Network (WSN) 技術が、環境・災害モニタリングや人物追跡など、様々なアプリケーションで用いられている [1]。これらの多くは、センサの正確な位置情報を必要とする。しかし、環境・災害モニタリングのなかでも、森林・大規模農場や被災地・戦場等などのモニタリングの際は、飛行機やヘリコプター、または Unmanned Aerial Vehicle (UAV) を使って上空から無作為にセンサを散布する場合がある [2]。その場合、実際に人が現場に赴いて1つ1つのセンサの位置を確認することは現実的には不可能であり、また一般的に利用される Global Positioning System (GPS) 機能を大規模な範囲において、多くのセンサに用いることは、高コストかつ省電力化の必要性から実現が難しい。これにより、各センサの正確な位置情報を把握することが困難であり、UAV などを用いたセンサの位置推定が必要と考えられる。

UAV による屋外無線センサの位置推定の既存研究としては、Received Signal Strength Indicator (RSSI) を用い

た手法が存在する [3]。これは、UAV を位置が既知なアンカーノードとしてセンサの上空で飛行させた場合に、電波の放射パターンから UAV が飛行した経路によって RSSI の時間に対する変化が異なる性質を利用してセンサの位置を推定している。しかしながら、この既存研究における位置推定手法では遮蔽物がある環境下において、位置推定誤差が大幅に発生し、推定精度が不十分となる課題がある。その原因として、遮蔽物が存在することで発生するマルチパスフェージング等の影響に対する考慮が不十分であることが挙げられる。また、位置推定アルゴリズムにおいて、推定点を選択する手法に対する検討が不十分であることが挙げられる。これらの課題を解決するために、推定精度向上に向けた位置推定アルゴリズムのさらなる検討が必要である。

そこで、本稿では大規模な範囲における屋外無線センサの位置推定精度の向上を目的として、遮蔽物の影響を考慮した高精度な位置推定アルゴリズムを提案し、その効果を検討する。具体的には、実環境下において、UAV を用いてセンサが発信する RSSI を上空から観測して、マルチパスフェージング等の影響を考慮しながら、高精度なセンサの位置推定を行う手法について検討する。本推定手法では、RSSI のばらつきを考慮したマルチパスフェージング動的補正手法と、候補点のプライオリティを考慮した推定点導出手法によって推定精度の向上を目指す。RSSI のばらつきを考慮したマルチパスフェージング動的補正手法では、標準偏差を基に取得データのばらつきを確認し、ばらつきの程度から瞬時変動を動的に抑制する。また、候補点のプライオリティを考慮した推定点導出手法では、得られる極

¹ 東北大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

² 東北大学電気通信研究所
Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University

³ 東北大学サイバーサイエンスセンター
Cyberscience Center, Tohoku University

a) mina_k@ci.cc.tohoku.ac.jp

b) alfian@ci.cc.tohoku.ac.jp

c) beto@tohoku.ac.jp

d) suganuma@tohoku.ac.jp

値に設けた信頼度を基に、候補点にプライオリティを設定する。さらにそのプライオリティを基に、候補点に付けた重みによる加重平均を使って最終的な推定点を導出する。さらにシミュレーション実験によりその効果を示す。

2. 関連研究

2.1 WSN における位置推定手法

WSN においてセンサの位置推定のアルゴリズムは、Range-based と Range-free の2種類のアプローチに大別できる [4]。Range-based のアプローチは、センサ間の距離情報を利用した推定方法であり、精度の高い位置推定を行うことができる。ただし、センサ間の通信機能の他に、距離を測定する測距機能を用いる必要があるため実現コストが高い。一方で、Range-free のアプローチは、センサ間の距離情報を利用せずに、センサ間の通信のみを利用した推定方法であるため、多様なセンサに適用可能である。追加のデバイスが不要であるため実現コストは低い、用いる情報が少ないために位置推定の精度は低い。Range-free のアプローチで高精度に位置を推定するためには、位置情報が既知なセンサであるアンカーノードを多数、必要とすることから広範囲に大量のセンサを散布することを想定した環境に適用することは困難である。近年は、安価なコストで実現が可能な Range-free のアプローチを用いて精度向上を目指した研究が盛んに行われている。

また、センサの位置推定における技術が多く存在する [5]。例として、信号の到着角度を用いた AOA (Angle Of Arrival) や時間および RSSI を基にして距離を利用した Distance Related がある。これらは、距離情報を用いて位置推定を行う Range-based のアプローチに分類される。しかし、これらは前述したようにノード間の角度や距離を測るための追加のデバイスが必要となる。一方で、距離情報は使用せず、RSSI をプロファイルすることによって位置推定を行う RSSI profiling の手法がある。これは、Range-free のアプローチに分類され、追加のデバイスが不要かつ多くの無線デバイスで使用可能である。これらから、本稿では RSSI profiling を用いた Range-free による位置推定手法に着目をする。

2.2 UAV を用いた RSSI profiling による Range-free 位置推定手法

UAV を用いた RSSI profiling による Range-free の位置推定として前章において述べた通り、電波の放射パターンから得られる RSSI の特性を利用してセンサの位置を推定する手法が提案されている [3]。この手法では、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、電界強度が水平方向には等しいが、天頂方向には著しく低下するという性質を利用して推定を行っている。センサが発信する電波の電界分布の概略を図 1(a) に示す。UAV をセンサ

の上空で飛行させる場合、図 1(b) の [A],[B],[C] のように UAV の通過した位置に応じて測定される RSSI の時間に対する変化が異なり、測定された RSSI の時間変化のグラフに極大値または極小値が生じる。原理上、図 1(c) で示すように、その極値点に対応する点を UAV の飛行経路上にとり、飛行経路に対して垂直となる法線にセンサが存在するため、得られた複数の極値点から法線を引き、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。ただ、一度の測定ではセンサの位置が定まらず、位置推定には各センサに対して複数回の異なった経路で UAV が上空を通過する必要がある、より多くの経路で測定を行うことで推定精度の向上が見込まれる。

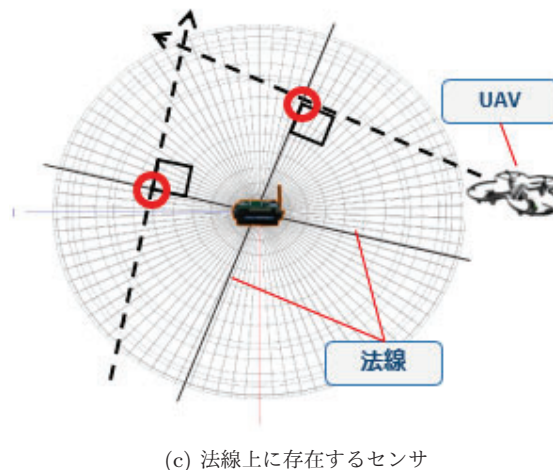
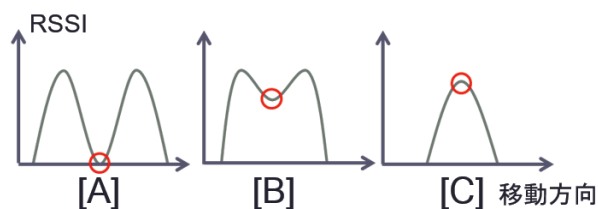
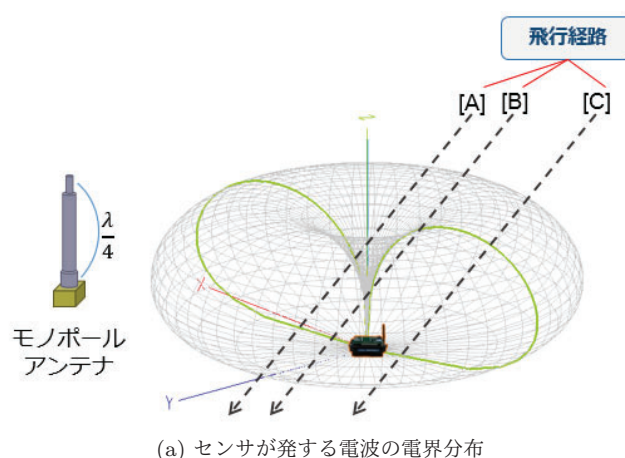


図 1: 基本原理

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ような実環境を想定した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、遮蔽物によって発生す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。既存研究 [3] では、包絡線の平均をとる手法により瞬時変動を抑制しているが、その影響の除去が不十分であるために本来不要な極値が多く残ってしまうことで精度が低下する。そのため、遮蔽物の影響に対するさらなる考慮が必要であると考えられる。

さらに、精度が不十分である原因として、推定点の導出手法の検討が不十分という点が挙げられる。既存研究 [3] では、RANSAC を用いた手法により、任意の大きさの円の中に含まれる点の数で推定点を決定している。しかし、この手法では、推定点の数しか考慮しておらず、推定点のばらつきの状況次第では推定に失敗して大幅な誤差が生じる。そのため、高精度なセンサの位置推定アルゴリズムの検討が必要と考えられる。

3. 提案

3.1 提案概要

前章において既存研究 [3] の問題点を解決するため、本稿では遮蔽物の影響を考慮した高精度な位置推定アルゴリズムを提案する。システム全体としては、散布されたセンサの上空に自律飛行をする UAV を巡回させ、各センサの発する RSSI を観測する。そして、取得した RSSI を基に位置推定を行う。その際、本アルゴリズムでは、RSSI のばらつきを考慮したマルチパスフェージング動的補正手法と、候補点のプライオリティを考慮した推定点導出手法によって解決を目指す。RSSI のばらつきを考慮したマルチパスフェージング動的補正手法では、標準偏差を基に取得データのばらつきを確認し、ばらつきの程度から瞬時変動を動的に抑制する。また、候補点のプライオリティを考慮した推定点導出手法では、得られる極値に設けた信頼度を基に、候補点にプライオリティを設定する。さらにそのプライオリティを基に、候補点に付けた重みによる加重平均を使って最終的な推定点を導出する。

3.2 想定環境

想定環境では、センサとして Crossbow 社が提供する温度・湿度・照度などのセンシングが可能な IRIS mote [6] を想定する。IRIS mote の各センサには 1/4 波長モノポールアンテナが搭載されているとする。また、UAV としてマルチロータ [7] を想定する。これは、GPS によって自己位置を既知とし、自律飛行および自由自在な飛行を可能とする。なお、UAV にはセンサと同様に、1/4 波長モノポールアンテナが搭載されているとし、散布されたセンサの数および信号の種類を識別可能とする。

3.3 提案アルゴリズム

本提案手法の遮蔽物を考慮した高精度なセンサの位置推定アルゴリズムの流れは以下の 5 つの Step から構成される。本アルゴリズムの流れの概要を図 2 に示す。

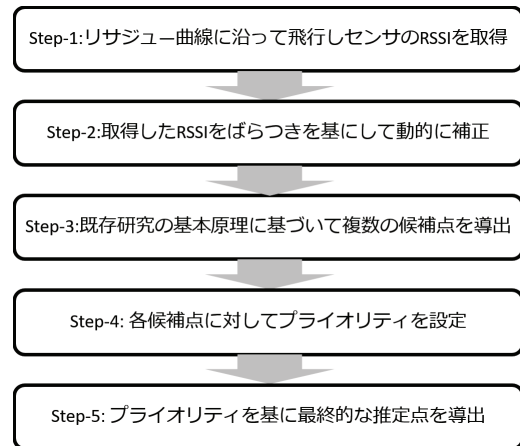


図 2: 提案アルゴリズムの概要

Step-1: UAV がリサージュ曲線に沿って飛行しセンサの RSSI を取得

UAV が飛行する経路として、複数回の異なった経路かつ、ある一定方向ではない経路を飛行することで推定点の候補となる点を多く抽出でき、それにより推定精度を向上させることが可能と考えられる。また、UAV のバッテリー消費量を考慮して、より少ない飛行距離で位置の推定が可能となる経路が求められる。そこで本稿では、簡易的な経路ながら幅広いエリアをカバーでき、データに多様性を持たせることができると考えられるリサージュ曲線 (Lissajous curve) を飛行経路として採用した。ここで、リサージュ曲線は一般的に以下の式 (1) で表される。

$$\begin{cases} x = A_x \cos(\omega_x t) \\ y = A_y \cos(\omega_y t + \delta) \end{cases} \quad (1)$$

Step-2: RSSI のばらつきを基にしたマルチパスフェージングの影響の抑制および平滑化

実際の環境では、センサの設置区域に建物や樹木などの電波遮蔽物が存在する場合が考えられる。このような状況では、電波伝搬損失やマルチパスフェージング、シャドウイング等の影響により、取得する RSSI が大きく影響を受ける。センサと遮蔽物の双方の位置関係によって受ける影響の程度は異なるため、取得した RSSI に対して、可能な限り必要な極値を損なわず、かつ不要な極値を抽出しないように動的に調節をして、適切に滑らかにする必要がある。

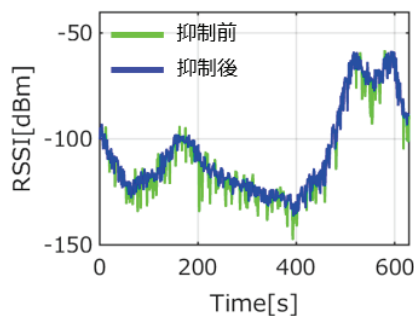
そこで、Step-2 では、RSSI に対して動的に補正を行う。まず、Step-1 で取得した RSSI の値に対して、各サンプルにおいて、そのサンプルと左右 k 個で構成されるウィンド

ウの中央値 m_i を計算する．また，中央絶対偏差からウィンドウ中央値 m_i に対する各サンプルの標準偏差 σ_i の推定を行う．サンプルが中央値 m_i からある決められた閾値 r 倍以上離れていた場合は，中央値と置き換える．これにより，大きく離れた値に左右されることなく，瞬時変動を抑制することが可能となる．ここで，中央値 m_i を式 (2) に，係数 c を使って推定される標準偏差 σ_i を式 (3) にそれぞれ示す．また，瞬時変動に対してこの手法を適用した場合の RSSI を図 3(a) に示す．図 3(a) より，大幅な瞬時変動を起こしている抑制前の RSSI に対して，瞬時変動の抑制ができていくことがわかる．

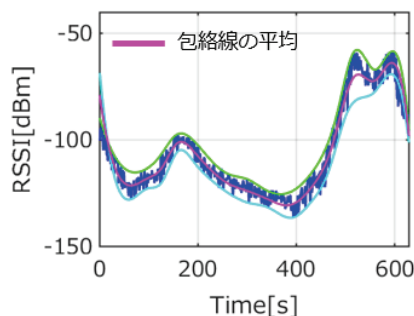
$$m_i = \text{median}(x_{i-k}, x_{i-k+1}, \dots, x_i, \dots, x_{i+k-1}, x_{i+k}) \quad (2)$$

$$\sigma_i = c \times \text{median}(|x_{i-k} - m_i|, \dots, |x_{i+k} - m_i|) \quad (3)$$

最後に，瞬時変動を抑制した RSSI に対して平滑化を行う．平滑化には，包絡線の平均により信号を滑らかにする手法をとる [3]．包絡線およびその平均をとった RSSI を図 3(b) に示す．



(a) 瞬時変動の抑制



(b) 瞬時変動の平滑化

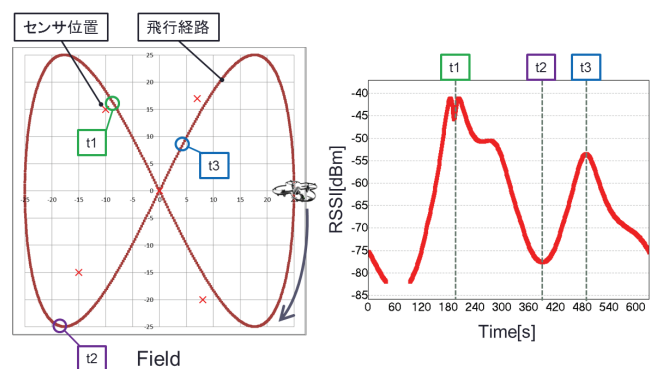
図 3: 補正を適用した RSSI

Step-3: 既存研究 [3] の基本原理に基づき，全ての直線の組み合わせから複数の候補点を導出

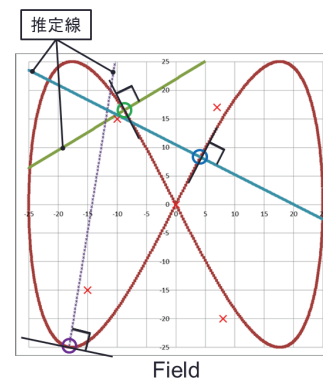
Step-3 では 2 章で前述した既存研究 [3] の基本原理を基にして複数の候補点を導出する．基本原理の具体的な手順について概略を図 4 に示す．手順として，まず Step-2 で補

正をした RSSI に関して，極小値および極大値をとる極値点を選択し，その極値点を観測したときに飛行していた点を経路上にとる (図 4(a))．その飛行経路上の点を通り，かつ飛行経路とのなす角が垂直になるように法線を引く (図 4(b))．各直線から距離の 2 乗の総和が最小となる点 (x, y) を以下の式 (4) により導出し，これを候補点 (x, y) として決定する (図 4(c))．以上の流れを極値の全ての組み合わせに対して行うことで，複数の候補点を導出する．原理上，抽出された極値の数が多いほど組み合わせの数も増えることから，導出される候補点の数は多くなる．

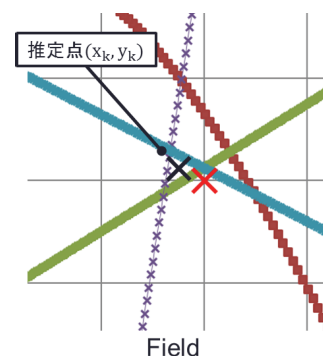
$$\min_{x,y} \sum_{i=1}^n \frac{(a_i x + b_i y + c_i)^2}{a_i^2 + b_i^2} \quad (4)$$



(a) 極値の選択



(b) 法線の導出



(c) 候補点の導出

図 4: 候補点の導出手順

Step-4: 導出した全候補点に対して極値の信頼度によるプライオリティを設定

Step-4 では Step-3 で導出した複数の候補点に対してプライオリティの設定を行う。プライオリティの設定を行う上で、UAV の飛行経路とセンサの位置関係によって成り立つ極値の特性を利用する。センサと飛行経路の位置関係によって RSSI の時間変化は各センサで大きく異なり、その中で極大値と極小値が得られる。それぞれの極値が得られる上で、UAV の飛行経路と大きな関連性がある。UAV の飛行経路はリサージュ曲線であり、直線的な飛行を行う時間とカーブ飛行を行う時間が存在する。これらの飛行経路とセンサとの位置関係から、UAV が少しのずれもなくセンサ真上を飛行する場合および真上の僅かに周辺を飛行した場合を除いて、直線的飛行時に得られる極値は極大値、カーブ飛行時に得られる極値は極小値と分類することができる。

また、Step-3 の基本原理が成り立つ条件としてセンサの上空を直線的に飛行した場合となる。そのため、リサージュ曲線の中でも直線的に飛行を行っている間に得られる極値(極大値)は、基本原理が成り立つ正確なデータといえるが、カーブ飛行時に抽出した極値(極小値)は基本原理が必ずしも成り立つデータとは限らない。つまり、極値点が正確に取得できている可能性が低いため、データとして信頼性が低いと考えられる。そこで本稿では、極値に信頼性の高低を設定し、それを基に候補点にプライオリティを設定する。直線的に飛行した際に抽出した極大値を信頼性が高い極値とし、カーブ飛行時に抽出した極小値を信頼性が低い極値として考える。

次に、以上の前提を基にして Step-3 で導出された全候補点に対して、プライオリティの決定を行う。候補点は、Step-3 でも前述したように極値の全ての組み合わせから導出するために、複数の候補点が導出される。その際、プライオリティは、全極値に対して選ばれた組み合わせの極値のうちどのくらい信頼度の高い極値(極大値)が含まれているかで決定を行う。つまり、組み合わせにより選ばれた複数の極値の中に信頼度が高い極値(極大値)が多いほど、プライオリティは高くなり、少ないほどプライオリティは低くなる。ここで、候補点 i に対するプライオリティ P_i について、全ての極値の中から選択された極値数 N_i と N_i の中に存在する信頼度が高い極値数 n_i を用いて、以下の式 (5) で決定される。

$$\text{プライオリティ } P_i = \frac{\text{信頼度が高い極値数 } n_i}{\text{全極値の中から選択された極値数 } N_i} \quad (5)$$

実際にある例として、図 5 のような全極値数が 6 つの候補点 i について考える。この 6 つの極値のうち、選択され

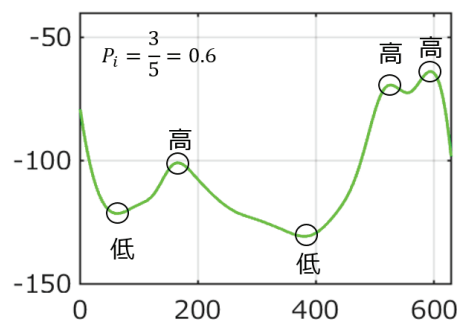


図 5: 候補点のプライオリティ P_i の設定例

た極値数 N_i が丸で示されたように 5 つである場合、その中でも信頼度が高い極値数 n_i は 3 つであるため、式 (5) より $P_i=0.6$ となる。このようにすべての候補点 i に関して、プライオリティ P_i の設定を行う。

また、設定したプライオリティ P_i の値を基に High, Middle, Low の 3 つのレベルによって区別を行う。区別を行う際は、閾値 α および β を使って以下のように表す。

$$\begin{aligned} 0 < P_i < \alpha: & \text{Low} \\ \alpha \leq P_i < \beta: & \text{Middle} \\ \beta \leq P_i \leq 1: & \text{High} \end{aligned}$$

Step-5: プライオリティを基に加重平均によって最終的な推定点を導出

Step-5 の概要を図 6 に示す。Step-5 では Step-4 で設定した候補点のプライオリティを基にして、最終的な推定点の決定を行う。まず、最終的な推定点の決定を行う前に、プライオリティのついた候補点を基にセンサが存在する可能性が高い領域をある程度定める。そのために、ある大きさの矩形範囲 $L \times L$ を設ける。その矩形範囲を全領域に対してスライドをさせて、その矩形範囲内に含まれるプライオリティが High の候補点の数で比較を行い、最も多く High が存在する矩形範囲を 1 つ選択する。これは、High の候補点が密集している領域は比較的センサが存在する可能性が高いと考えられるためである。また同時に、候補点にばらつきが生じ、プライオリティの設定に失敗した候補点が生じた場合、密集の程度を考慮することで、一部設定に失敗した候補点に左右されることなく推定を行うためである。ただし、最多推定点を含む矩形範囲が複数存在する場合は、各矩形範囲の重心 g_i と全矩形範囲の重心 G を導出し、 G に最も近い g_i をもつ矩形範囲を選択する。これにより複数矩形範囲が選択された場合でも、全ての選ばれた矩形範囲を考慮した最終的な選択が可能と考えられる。

その後、選択された矩形範囲の中に含まれる全ての推定点に対して Step-4 で設定したプライオリティをもとにして重みをつける。付け方としては、プライオリティのレベルが高い順に大きい重みの設定を以下のように行う。

High の重み $w_h >$ Middle の重み $w_m >$ Low の重み w_l

最後に、設定した重みを使って矩形範囲内における推定点の加重平均を算出し、それを最終的な推定点とする。推定点を導出する式 (6) を以下に示す。

$$x_w = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

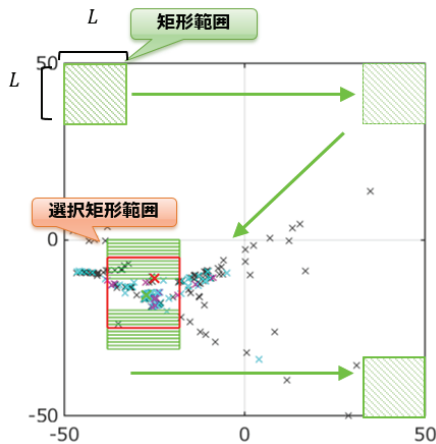


図 6: センサが存在する可能性が高い領域の探索と選択

4. 実験

4.1 実験概要

提案手法による有効性を検証するためにシミュレーションによる実験を行った。具体的には、遮蔽物が存在する環境下でランダムに配置された位置が未知なセンサ 10 個 (1~10) に関する位置推定を行い、既存手法 [3] との位置推定結果の誤差の比較を行った。

4.2 実験環境

本実験で想定した環境の概要を図 7 に、環境を構成するための各種設定を表 1 に示す。また、本アルゴリズムで設定した各種パラメータについて表 2 に示す。

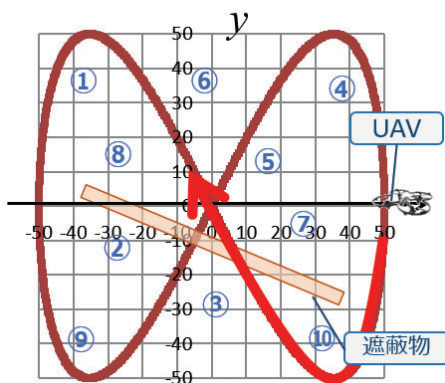


図 7: 実験環境の概要

表 1: 実験環境

シミュレータ	Scenargie [8]
フィールドサイズ	100m×100m
センサ位置	1:(-34m,34m), 2:(-25m,-11m) 3:(0m,-28m), 4:(33m,32m) 5:(12m,13m), 6:(0m,36m) 7:(24m,-8m), 8:(-24m,-15m) 9:(-35m,-36m), 10:(28m,-37m)
障害物のサイズ	(w,d,h): (60m,3m,3m)
UAV 初期位置	(50m,0m)
UAV 飛行高度	10m
測定時間	630s
測定間隔	1.0s
使用周波数帯	2.4GHz
アンテナ利得	2.1dBi
電波伝搬モデル	WallCount, COST231Hata
フェージングモデル	Rayleigh fading
シャドウイングモデル	SimpleLogNormal

表 2: 各種パラメータ

リサージュ曲線における ($w_x : w_y$)	1:2
瞬時変動のサンプル数 k	18
各サンプルを中央値に置換する閾値 r	1.3
式 (3) における c	1.4826
プライオリティの閾値 α	0.5
プライオリティの閾値 β	0.75
設定矩形範囲 $L \times L$	10 × 10
プライオリティ High の重み w_h	1
プライオリティ Middle の重み w_m	0.5
プライオリティ Low の重み w_l	0.025

4.3 実験結果

センサ 10 個 (1~10) のうち、本稿ではセンサ 4 について、既存研究と本研究におけるそれぞれの候補点と選択された最終的な推定点に関する結果を以下の図 8 に示す。また、全てのセンサに関する既存研究による位置推定誤差と本研究の位置推定誤差を比較した結果を表 3 に示す。

4.4 考察

図 8 よりセンサ 4 に関して、マルチパスフェージングの動的補正を行うことにより、既存研究に比べて候補点の数の削減およびばらつきを抑えることができている。また、図 8 の本研究 (a) において、矩形範囲を適切に設定できていることが確認できる。センサ 4 に関して、位置推定誤差を低減できていることから、本提案手法の適用が有効であることが示された。

さらに、表 3 より 10 個のセンサのうち、7 個のセンサについて位置推定誤差を低減でき、各センサにおいて最小で 18%、最大で 94% の推定精度向上が見込まれた。一方で、位置推定誤差が大きく生じ、既存研究よりも精度が低下し

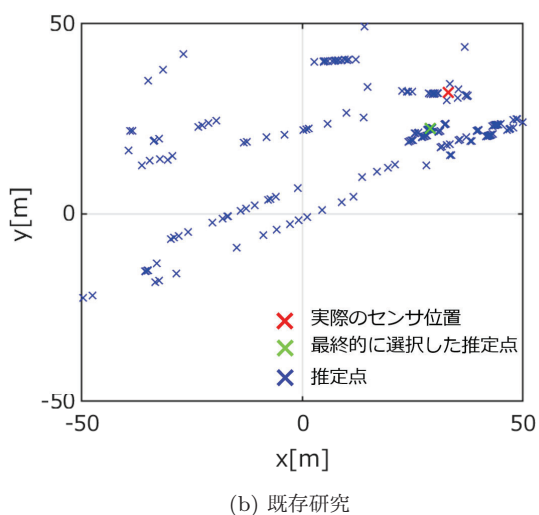
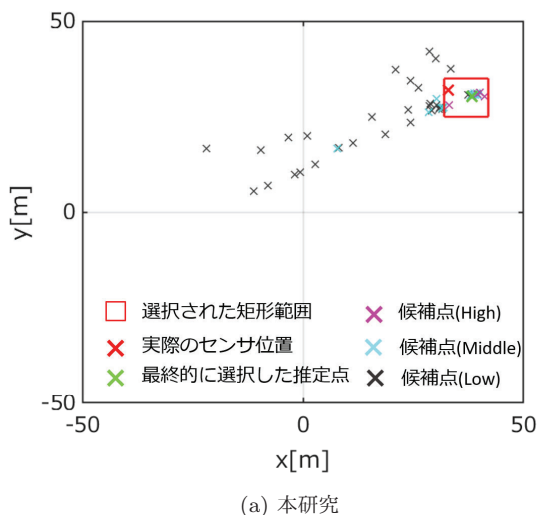


図 8: 推定点の選択結果

表 3: 既存研究との誤差比較

既存研究 [3]		本研究	
センサ	誤差	センサ	誤差
1	5.13m	1	4.23m
2	2.01m	2	8.10m
3	4.77m	3	2.64m
4	10.48m	4	5.56m
5	5.83m	5	4.54m
6	7.53m	6	4.27m
7	5.22m	7	6.30m
8	2.43m	8	7.57m
9	76.90m	9	4.61m
10	13.41m	10	5.36m

たセンサ 2,7,8 に関しては、候補点にばらつきが生じ、プライオリティの設定に失敗していることが確認できた。この原因としては、マルチパスフェージングの補正が未だ不

十分であることが挙げられる。補正が不十分な3つのセンサはいずれも、遮蔽物に近い場所に位置しているため、他のセンサに比べてマルチパスフェージングの影響をより大きく受けたと考えられる。そのため、遮蔽物に近いセンサに対しても効果的な補正手法の検討が必要であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、UAV を用いた屋外無線センサの位置推定手法において、遮蔽物の影響を考慮した高精度な位置推定アルゴリズムを提案し、その効果について報告した。実環境を想定した状況でも提案手法を用いることで一部センサにおいて位置推定精度が向上したことをシミュレーション実験において示した。今後は、遮蔽物に近いセンサの位置推定精度の向上を目指したさらなる高精度な位置推定アルゴリズムの検討を行う。

参考文献

- [1] Ahmadi Hanen, and Ridha Bouallegue.: Exploiting machine learning strategies and RSSI for localization in wireless sensor networks: A survey, 13th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), pp.1150-1154 (2018)
- [2] Grigulo Juliano, and Leandro Buss Becker.: Experimenting Sensor Nodes Localization in WSN with UAV Acting as Mobile Agent, 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Vol.1, pp.808-815 (2018)
- [3] 大坂久登, 阿部亨, 菅沼拓夫.: 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)
- [4] Khan Haroon, Muhammad Numan Hayat, and Zia Ur Rehman.: Wireless sensor networks free range base localization schemes: A comprehensive survey, Proc. of International Conference on Communication, Computing and Digital Systems (C CODE), pp.144-147 (2017)
- [5] Paul Anup, and Takuro Sato.: Localization in Wireless sensor Networks: A Survey on Algorithms, Measurement Techniques, Application and Challenges, Journal of Sensor and Actuator Networks. 6(4):24 (2017)
- [6] IRIS WIRELESS MEASUREMENT SYSTEM, [Online], Available: http://www.memsic.com/userfiles/files/Datasheets/WSN/IRIS_Datasheet.pdf [Accessed: 2-Aug-2019]
- [7] ドローンの現状について, [Online], Available: http://www.soumu.go.jp/main_content/000401647.pdf [Accessed: 2-Aug-2019]
- [8] Space Time Engineering, [Online], Available: <https://www.spacetime-eng.com/jp/> [Accessed: 2-Aug-2019]