

令和 5 年 6 月 23 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04379

研究課題名（和文）UWB通信を用いた自己位置推定システムの低信頼性空間回避ナビゲーション

研究課題名（英文）Low-reliability spatial avoidance navigation for positioning systems using UWB communications

研究代表者

東 善之（Higashi, Yoshiyuki）

京都工芸繊維大学・機械工学系・助教

研究者番号：70585760

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000 円

研究成果の概要（和文）：屋内などGPSが使用できない環境におけるロボットナビゲーションのための測位手法の一つとしてUltra-Wide Band（UWB）通信を使用した測位が挙げられる。この手法では移動ロボットが受信する電波強度が弱くなると通信が不安定になるほか、ロボット周囲に配置された地上局との位置関係によっても測位精度が低下する。

本研究では、UWB通信を用いた際のロボットの受信電波強度をレイトレース法に基づき算出し、推定精度について地上局との幾何学的関係から定量的に評価した。そして、それらの分布示した地図を利用することで、位置推定精度の信頼性が高い空間のみを通る経路をA*アルゴリズムにより生成できることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでの屋内での電波測位では、電波の受信強度が低いエリアや測位精度が低下するエリアを減らすために、地上局を多数設置することで冗長性を確保し、死角を減らすことが行われている。本研究の成果により任意位置での測位信頼性を評価できるようになった。また、この指標に基づき必要最低限の地上局による最適配置も導くことができるため、社会実装時の導入コストや運用コストの低減にもつながるといえる。

研究成果の概要（英文）：One of the positioning methods for robot navigation in environments where GPS cannot be used indoors is using Ultra-Wide Band (UWB) communication. In this method, when the radio wave strength received by the moving robot becomes weak, communication becomes unstable, and the positioning accuracy may also decrease depending on the geometric relationship with the ground stations placed around the robot.

The purpose of this study was to quantitatively evaluate the estimation accuracy based on the geometric relationship with the ground station by calculating the received radio wave strength of the robot when using UWB communication based on the ray tracing method. Using a map showing their distribution, it was demonstrated that a path passing only through the space with high reliability of position estimation accuracy could be generated by the A* algorithm.

研究分野：ロボット工学

キーワード：Ultra-Wide Band 超広帯域無線 ナビゲーション 測位 マルチラテレーション DOP

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

背景として屋内など非 GPS 空間におけるロボットナビゲーションにおいて、オドメトリや IMU(Inertial Measurement Unit)、SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)などが研究されながらもドリフトやカメラノイズの問題から位置推定精度を保ち続けるには至っていないことが挙げられる。3~10 GHz の広い周波数帯域を使用する UWB(Ultra-Wide Band)通信では小型かつ省電力の装置で、ドリフトを含まない空間座標を直接取得できることから非 GPS 空間における移動ロボットの位置座標把握についても研究されるようになった。しかし屋内においては壁等の障害物により電波強度が減衰し通信安定性が低下し、地上側通信デバイスである UWB アンカーと移動体に搭載されるタグとの位置関係によっても推定精度が変化するため、どの位置においても空間座標を安定して高精度で取得し続けることは原理上不可能である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、超広帯域無線通信を用いて任意位置における位置推定信頼性を定量的に評価し、空間地図を生成することで、位置推定精度の信頼性が高い空間のみを通るドローンの飛行ナビゲーションを可能とすることである。具体的には位置推定時の通信安定性と推定精度を【通信電波強度地図】と【推定精度分布図】で評価し、低信頼性空間を回避することを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では UWB 通信時にアンカー(固定局)とタグ(移動局)が通信した際の受信電波強度について、対象となる空間を CAD データで生成し、アンカーを配置する。レイトレース法により空間内の任意位置における電波強度を求め、空間内の電波強度分布を得る。次に複数のアンカーと 1 台のタグを使用した際の推定精度について精度低下率(Dilution of Precision)を求め、推定精度分布を得る。最後に電波強度分布と推定精度分布の両方を考慮し、空間内の移動開始地点から移動目標地点まで測位の信頼性が高い場所のみを通る経路について A*アルゴリズムを用いて導出する。

4. 研究成果

本研究の成果として 4 つの成果が挙げられる。1 つ目は CAD データにより生成された空間内の電波強度分布取得である。一例として CAD 図(図 1 左)における電波強度算出例を図 1 (右)に示す。これは空間内に設置された 1 台のアンカーから 1 台のタグまで伝搬した電波の強度を示すものである。これを空間内の全計測点に適用することで、複数のアンカーを空間内に設置した場合の任意位置にあるタグが受信する電波強度、見通しの有無を分布としてあらわすことができる。

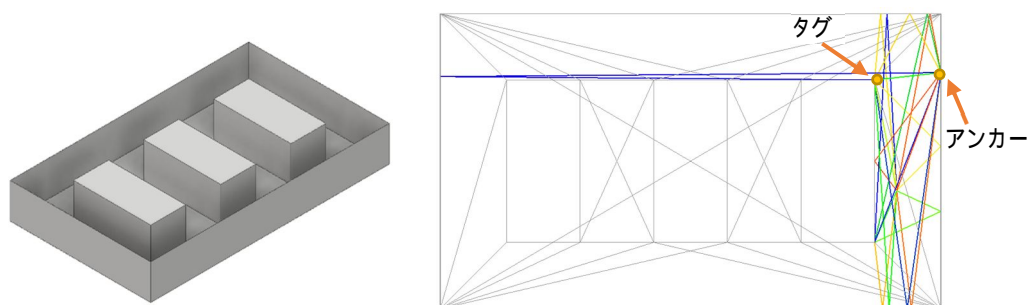


図 1 CAD により生成された空間(左)、1 台のアンカーからタグまでの伝搬経路の計算結果(右) (伝搬シミュレーションにおいては直接波と 1 回反射した反射波までを表示している)

2 つ目の成果として、アンカーとタグの位置関係によって変化する DOP について、アンカーが複数配置された空間内の任意位置の DOP を算出し、空間全体の位置推定精度について分布を取得できるようになった点がある。この分布と前述の電波強度分布を組み合わせることで、受信電波強度が低い位置と、位置推定精度が低い位置を把握できるようになった。また、同時に受信電波強度が低い位置と測位精度が低い位置が必ずしも一致しないことが示された。図 2 に作業者がアンカーを任意に配置した際の電波強度分布と位置推定精度分布を示す。

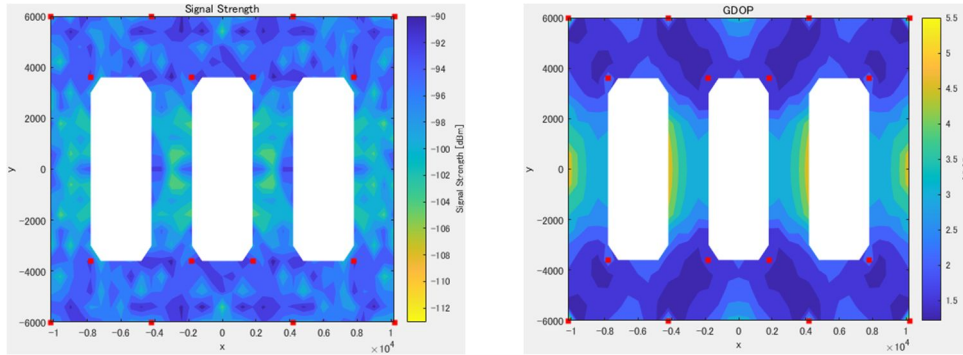


図2 アンカーを任意に配置した際の電波強度分布（左）と位置推定精度分布（右）
（各図中の赤い点がアンカーの設置位置）

3つ目として上記の電波強度分布と位置推定精度分布の結果を組み合わせた指標に基づき、任意位置における測位信頼性を評価可能となった。この測位信頼性に基づき、空間内に設定した移動開始地点から目標位置までの経路をA*アルゴリズムにより導出することで、測位信頼性が低い空間を回避するルート生成が可能になった。図2の結果に基づき生成された測位信頼性が低い空間を回避するルートを図3に示す。

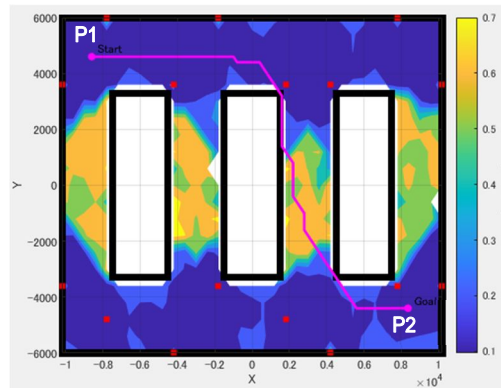


図3 測位信頼性の分布と信頼性が低い空間を回避しながら P1 から P2 へ至るルート

最後の4つめとして、電波強度分布と位置推定精度分布に基づき、両方の指標を考慮したアンカー配置の最適化アルゴリズムを構築できた点がある。これはアンカーを配置した際の空間内の測位信頼性について、多目的最適化アルゴリズムであるNSGA2を使用することで、空間全体の測位信頼性の平均値を高めるような配置を導出するものである。その一例を図4に示す。この図で示された電波強度分布と位置推定精度分布は、どちらも図2の分布よりも平均値が高いものである。これにより得られた配置を使用することで、空間内のどの位置においても極端に測位信頼性が低下することなくロボットのナビゲーションが可能となる。

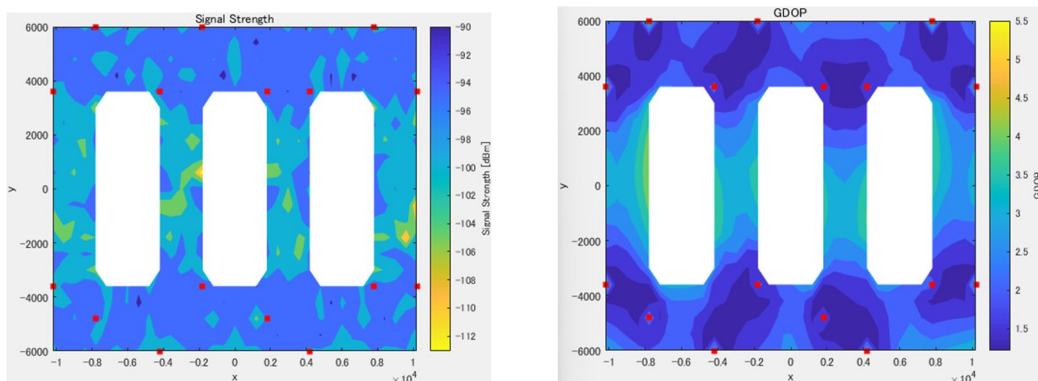


図4 NSGA2により配置を最適化した際の電波強度分布（左）と位置推定精度分布（右）
（各図中の赤い点がアンカーの設置位置）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Higashi Yoshiyuki, Yamazaki Kenta	4. 巻 35
2. 論文標題 Autonomous Flight Using UWB-Based Positioning System with Optical Flow Sensors in a GPS-Denied Environment	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 328 ~ 337
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2023.p0328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yukiya Yasukawa, Yoshiyuki Higashi, Arata Masuda, Nanako Miura
2. 発表標題 Automatic Anchor Calibration for UWB-based Indoor Positioning Systems
3. 学会等名 IEEE REGION 10 CONFERENCE (TENCON)（国際学会）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 移動体、および移動体の位置を推定する方法	発明者 東善之, 安達基朗	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願 2021 - 194599	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------