

屋内クラック検査のための SS 超音波を用いたドローン測位システムにおけるディファレンシャル補正による計測精度

佐々木 羅生[†] 鈴木 彰真[†]

岩手県立大学[†]

1. はじめに

近年、トンネルや煙道のような建物内においてドローンを用いた内壁のひび割れ検知を行う研究が進められている。一般的なドローンの測位手法を屋内環境で利用することは難しい。また、0.1mmのクラックを検出するために壁面までなるべく近づく必要があり、Wi-Fi や BLE ビーコンによる屋内測位より高精度な測位が必要である。一方、超音波を用いた屋内測位システムは、cm オーダーの誤差で測位可能であるもののノイズに弱く、ドローンの飛行音の影響が大きい。

そのため、GNSS (Global Navigation Satellite System) のアナロジー的観点から耐雑音性が高く符号分割多重通信が可能なスペクトル拡散 (SS: Spread Spectrum) 超音波を用いたドローンの測位を提案し、超音波受信機の付近を飛行しても誤差 15cm 以下でドローンの測位を達成している [1]。しかし、実環境においては、ドローンに設置された受信機を用いることで先行研究以上の雑音が予想され、反響によって測位誤差が増大する可能性がある。

そこで、既存の GNSS で用いられている SS 測位技術を流用することを考える。これまで、同期維持手法による移動体測位 [2] や GOLD 符号を用いた多チャンネル測位 [3] を行ってきた。本稿では、GNSS における精度向上技術であるディファレンシャル補正技術に着目し、SS 超音波によるドローン測位における測位精度に与える影響を実験によって検証する。

2. システム概要

2.1 SS 超音波測位

提案システムは、疑似乱数系列によって SS 信号を生成する。受信機は、送信機 $Tr_1 \sim Tr_4$ それぞれから受信した SS 信号と保持しているレプリカ信号との相関演算により信号を検出する。SS 信号が送信されてから相関値が極大になるまでの時間に音速を乗算することで送受信機間の距離を求め、複数の送受信機間距離から座標を求め

Measurement Accuracy by Differential Correction on SS Ultrasonic Positioning System for Indoor Crack Detection Using Drone

[†] Rai Sasaki, Akimasa Suzuki, Iwate Prefectural University

る。

2.2 ディファレンシャル補正

ディファレンシャル補正は、座標が既知の場所に固定局を設置し、固定局で得られた計測結果と真値との誤差を用いて、測位対象の座標を補正することで精度を向上させる技術である [4]。GNSS では、主に電離層によって発生する誤差が補正できる。一方、屋内超音波測位においては、測位環境における温度や風の影響に対しての補正が期待できる。

図 1 にディファレンシャル補正の流れを示す。図 1 では、送信機を Tr_1 、固定受信機を Rc_0 、測位対象のドローンに搭載した受信機を Rc_1 とし、固定受信機とドローンの受信機までの距離の計測値をそれぞれ d_1 、 l_1 とする。 Rc_0 で送受信機間距離 d_1 を超音波の飛行時間から算出し、 Tr_1 から Rc_0 までの距離の真値 d'_1 を減算して距離誤差 $e_1 = d_1 - d'_1$ を求める。その後、直近 10 計測分の e_1 を用いた移動平均値 SMA_{e_1} を補正值とする。 Rc_1 に 10 秒毎に SMA_{e_1} を送信し、補正後の距離の計測値 $L_1 = l_1 - SMA_{e_1}$ を算出する。 $Tr_1 \sim Tr_4$ についてこのアルゴリズムに従い送受信機間の距離の計測値を補正することで、最終的な推定座標とする。

3. 提案手法の検証

3.1 実験概要

屋内 SS 超音波測位においてディファレンシャル補正が測位精度に与える影響を調べるため、ドローンを飛ばさず、 Rc_0 、 Rc_1 の両方を固定して測位を行い、 Rc_1 の補正前後の測位精度を比較

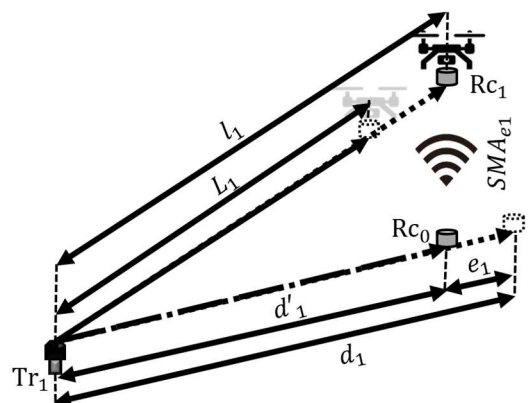


図 1 ディファレンシャル補正の方法

する。

実験環境を図2に示す。十時の中央からxy軸の正負の方向にそれぞれ 1000mm 離れた位置に $Tr_1 \sim Tr_4$ を設置する。 Tr_1, Tr_2, Tr_3, Tr_4 の座標をそれぞれ (1000, 2000, 1500) [mm], (2000, 1000, 1500) [mm], (3000, 2000, 1500) [mm], (2000, 3000, 1500) [mm] とする。中央直上かつスピーカー平面から 300mm の高さに Rc_0 を設置する。測位地点は P_0 を中央直上とし、同地点からy軸と平行かつ Tr_2 の方向に 500mm 間隔で P_1, P_2 として、 P_0, P_1, P_2 の地点で測位を行う。 P_2 は Tr_2 の直上となる。

3.2 実験結果

実験結果を図3に示す。 P_0 では、xy平面とz軸方向の両方で補正をかけることにより誤差が改善され、RMS 測位誤差は 23mm であった。 P_1 では、xy平面上では測位精度が変わらず、z軸方向の測位精度の向上が見られた。 P_2 では、xy平面

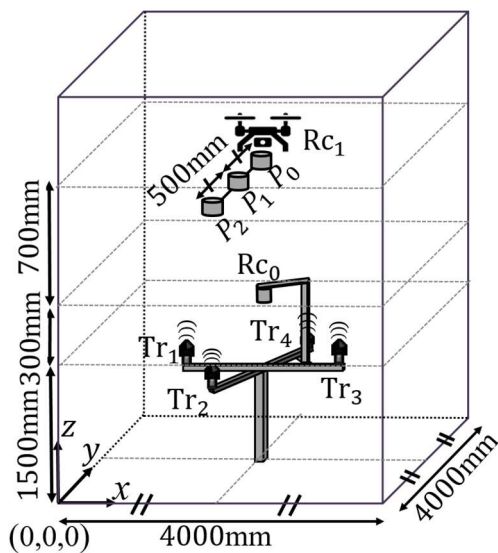


図2 送・受信機の配置と計測地点

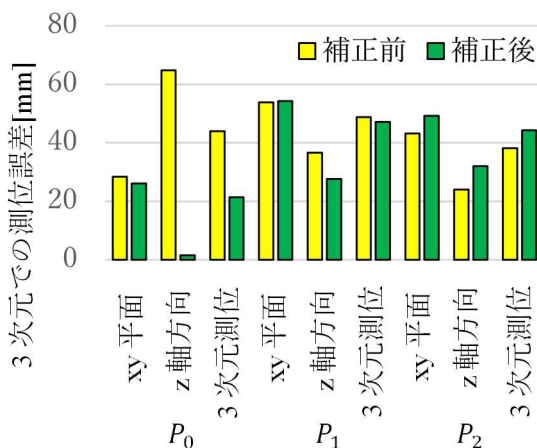


図3 Rc_0 における補正前後の RMS 測位誤差

とz軸方向の両方で補正をかけることにより測位誤差が大きくなり、RMS 測位誤差は 6mm 増加した。

実験によって、ディファレンシャル補正には有効的な範囲があり、 Rc_1 が Rc_0 から水平方向に遠ざかるほど、ディファレンシャル補正による測位精度を改善する効果が失われていく結果となった。

4. おわりに

ドローンを用いた屋内壁面検査のために、GNSS の精度向上手法の1つであるディファレンシャル補正を SS 超音波の屋内測位システムに適用した。また、計算距離に補正をかけることにより補正前後の測位精度を比較した。その結果、固定局に近いエリアにおいてはディファレンシャル補正による効果があった。

参考文献

- [1] T. Okada, A. Suzuki and S. Masuda, "Performance Evaluation on Indoor Positioning System Using SS Ultrasonic Waves for Drone Applications," International Journal on Advances in Systems and Measurements, Vol.14, No.1&2, pp.59-68, 2021.
- [2] A. Suzuki, K. Kumakura, C. YongWoon and I. Taketoshi, "Accuracy of distance measurements using signal tracking of spread spectrum ultrasonic waves with CDMA," in Proc. of 2014 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN), pp.575-581, 2014.
- [3] 増田 蒼一郎, 鈴木 彰真, "GOLD 符号を用いた SS 超音波によるドローンの屋内自己位置推定の精度評価," 情報処理学会 第84 回全国大会講演論文集 -Z84-6ZA-06, Vol.2022, No.1, pp.305-306, 2022-02-17.
- [4] 富田 邦裕, 松山 洋, "簡易型 differential GPS の開発と実用性の検討," GIS-理論と応用 Theory and Applications of GIS, Vol. 4, No. 2, pp.15-28, 1996.