計測自動制御学会東北支部 第 288 回研究集会 (2014.5.19)
資料番号 288-5

スペクトル拡散超音波を用いた飛行物体による屋内測位のための対雑音性に関する検討

Discussion on Noise Robustness for Indoor Positioning by a Flying Object Using Spread Spectrum Ultrasonic Waves

○猪八重衛*，寺尾匠平*，鈴木彰真**，伊与田健敏*
○M. INOYAE, S. TERAO, A. SUZUKI and T. IYOTA

*創価大学，**岩手県立大学
*Soka University, **Iwate Prefectural University

キーワード:屋内測位システム(Indoor positioning system)，スペクトル拡散(Spread spectrum)，超音波(Ultrasonic waves)，飛行ロボット(Flying robot)，飛行雑音(Flight noise)，信号検出(Peak detection)，対雑音性(Noise robustness)

連絡先: 〒192-8577 東京都八王子市丹木町 1-236 創価大学工学部
情報システム工学科 伊与田研究室 猪八重 衛,
Tel.: 080-3605-3503，E-mail: e1152104@soka-u.jp

1 はじめに

近年，警備ロボットや施設案内ロボットなどの屋内における自律移動ロボットの研究，開発が盛んに行われている．特に最近では，人間の通行可能な階段室や障害物が多い通路にも容易に対応できるよう，マサチューセッツ工科大学の SKYCALL [1]や岩倉らの赤外線距離センサを搭載した飛行ロボットの研究 [2]のように高さ方向の移動が可能な飛行ロボットを用いた研究が進められている．一方で，これらの研究では屋内 GPS や赤外線で 2 次元座標として現在位置を計測しており，測位誤差は 1.5m 程度 [2]である．そのため，飛行ロボット同士や複数の人とのすれ違いを安全に行い，狭い階段等の通路を自由に通行しながら人の案内や追跡をするためには，今後より高い座標情報としての測位精度が必要になると考えられる．

座標取得可能な測位センサの研究としては Ultra Wide Band（UWB） [3]や無線 LAN [4]等あるが，高さ方向を自由に制御できるよう，3 次元で高精度な座標取得をリアルタイムに行えるセンサは少ない．そこで，本研究室ではこれまで超音波にスペクトル拡散（Spread Spectrum：SS）変調を施すことで, 3 次元測位誤差 50mm 以下, 応答時間 80ms 以内での測位が可能な屋内測位システムの研究を進めてきた [5]．SS 超音波は通常の超音波と比較して対雑音性や符号分割性に優れるため，より高い精度で複数対象の測位が可能である．

これまで, 飛行ロボットを用いた SS 超音波による測位実験を行ってきた [6]．その結果，耐雑音性のある SS 超音波を用いても計測できないことがわかった．そこで，本稿では，飛行時における信号検出を可能とするため，雑音要因を検証した．具体的には，ロボットによる飛行雑音を発生させた状態で距離計測実験を行い，飛行雑音が距離計測に与える影響を考察した．

2 システムの構成

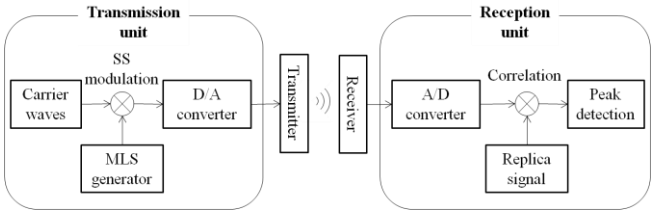
2.1 本測位システムにおける信号検出手法

SS 変調方式には直接拡散方式（Direct Sequence：DS）方式と周波数ホッピング（Frequency Hopping：FH）方式があり，本測位システムでは DS 方式を採用している．本測位システムでは拡散符号として M 系列（Maximum Length Sequence：MLS）を使用する．MLS は，高い自己相関特性と

周期性を持つ疑似乱数符号系列の 1 つであり，また, 相互相関の低い組み合わせを持つ. そのため, これらを複数の送信機に割り当てることにより, 符号分割多重通信を実現している.

Fig. 1 に本測位システムに用いる距離計測手法のアルゴリズムを示す．Fig. 1 (a) は本測位システムに用いる信号検出手法の概要を表す．送信機では搬送波に MLS を用いて SS 変調を施し，信号を送信する. 一方, 受信機では, 送信機と同等の MLS と搬送波を用いて，レプリカ信号を生成する．そして，レプリカ信号と受信信号を掛け合わせて相関演算を行う．これによって受信信号を識別することが可能となる．これによって得られた相関値は，MLS の自己相関特性により，受信信号とレプリカ信号の位相と周波数が一致したときのみ, Fig. 1 (b) のように高い相関値（ピーク）を示す．そのため，信号が送信されてから最初のピークが検出されるまでの伝搬時間に音速を掛け合わせることで送受信機間距離を求めることができる. Fig. 2 に

(a) Block diagram of the Peak detection technique with SS ultra sonic waves



(b) Algorithm of the distance measurement technique with SS ultra sonic waves

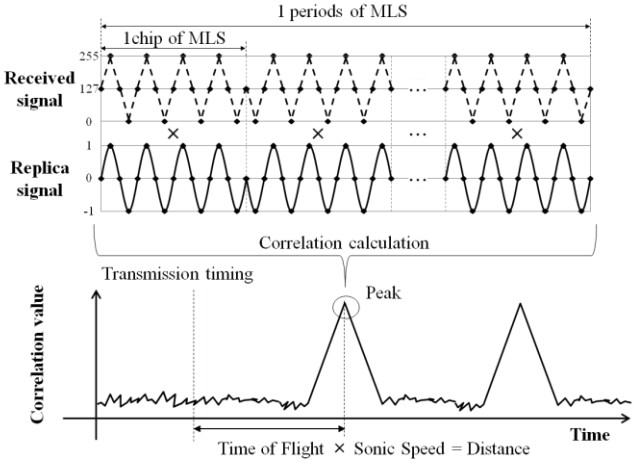


Fig. 1 Algorithm of the measuring system with SS ultra sonic waves

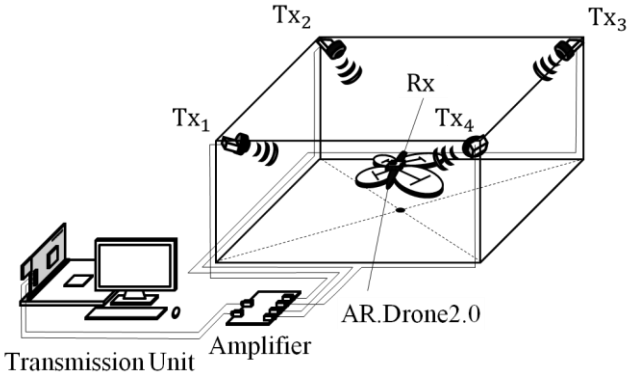


Fig. 2 Outline of a positioning environment

実際の測位空間の概要を示す．Transmission Unit で送信信号を 2ch 生成し送信する．次に Amplifier で信号を 2ch から 4ch に分散し送信素子$Tx_1 - Tx_4$に送信信号を送信する. 受信機 Rx では，送信信号を受信し，Fig. 1 のように相関計算する.

2.2 飛行ロボットによる距離計測実験

これまで，SS 超音波による飛行ロボットを用いた距離計測実験を行い，測位可能性について検討してきた [6]．飛行ロボットには Parrot 社製の AR.Drone2.0 を使用した．また，送信素子として日本セラミック社製の密閉型素子（PR40-18）を天井に設置し, そのうち送信機Tx_1から受信機R_Xに送信信号を送信した.

一方，受信素子として Knowles Electronics 社製の無指向性 Si マイクロフォン（SPM0404UD5）を飛行ロボットの中心に設置した．その結果，プロペラの回転時に距離計測および測位をすることが困難であることが判明した. Fig. 3 に飛行ロボットのプロペラを回転させた場合の相関値を示す. Fig. 3 から，プロペラ回転時にはピークを検出することができなかった．そこで，飛行ロボットの距離計測を実現するためにいくつかの実験を行い，距離計測困難である要因を検証する.

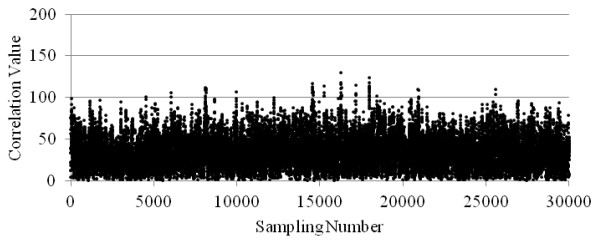


Fig. 3 Correlation values obtained by SS signals from without the rotors rotation

3 飛行雑音による信号干渉の検証

飛行ロボットが距離計測困難であった原因は以下の 3 つが考えられる．

1. ホバリング時のわずかな揺れ
2. 飛行ロボットから生じる気流による信号の吸収，減衰
3. モーター駆動音およびプロペラによる風切音

以上の原因について実験を行い，検証する．

3.1 ホバリング時の揺れについての検証

距離計測が困難であった要因の一つとして，飛行ロボットがホバリング時にわずかに揺れることにより，受信波形が伸縮し，受信機の相関計算時に影響を及ぼしている可能性が考えられる．そこで，ホバリング時の揺れによる信号干渉を検討するため，飛行ロボットを台の上に固定させた状態でプロペラを静止させた場合と回転させた場合の信号検出実験を行う．これによって，ホバリング時の揺れによる受信波形の伸縮を防ぐことが出来ると考えられる．実験構成は Fig. 2 とほぼ同様であるが，先の実験と異なり，飛行ロボットを台の上に固定させた状態で実験を行う．

実験結果として, Fig. 4 に飛行ロボットを台の上に固定させた状態でプロペラを静止させた場合の

Fig. 5 Flying object subjected with a hull for avoiding wind from propellers

相関値とプロペラを起動させた場合の相関値を示す．図の横軸は受信信号のサンプル数を表し，縦軸はその時の相関値を表す．(a)，(b)はどちらも飛行ロボットを台の上に固定している．その状態で，(a) はプロペラを静止させた時の相関値を表し，(b) はプロペラを回転させた時の相関値を表す．Fig. 3 と Fig. 4 から，Fig. 3 のときはピークを検出することが出来なかったが，Fig. 4(b) では信号検出が出来た．しかし， (b) のピークの値は，距離計測が行えた (a) のピークの値と比べて小さい値であるため, 距離計測不可能である．したがって，

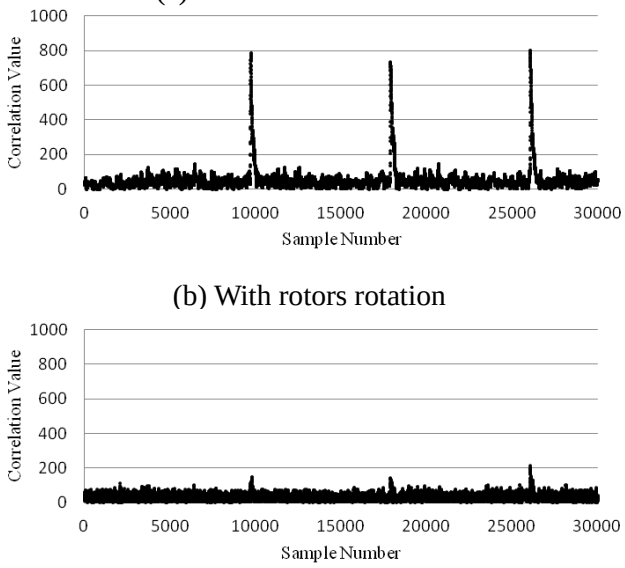


Fig. 4 Correlation values obtained from a receiver without vibration

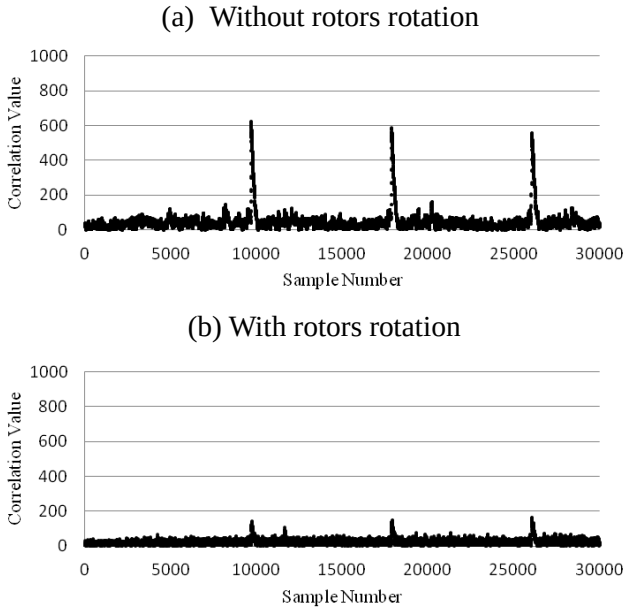


Fig. 6 Correlation values obtained by using a flying robot with the hull

ホバリング時の揺れによる問題は距離計測が困難となる要因のひとつであるが，一番の原因とは言えないことが分かった．

3.2 飛行ロボットから生じる気流による信号の吸収，減衰についての検証

次に考えられる要因として，飛行ロボットから生じる気流による信号減衰が考えられる．なぜなら，音波は空気を媒体として伝搬するため，SS 信号がプロペラから生じる気流に流され，受信機に届く SS 信号が減衰し, 相関計算時に影響を及ぼす場合が想定されるからである．この原因を克服するため, Fig. 5 のように飛行ロボットの外装に傘のような形状のスポンジを設置し，このスポンジの頂点に受信機を設置する．この形状によって，空気の流れが変化し，SS 信号がプロペラから生じる気流に流されることが減ると考えられる．スポンジの素材として，ウレタン製のスポンジを使用する．飛行ロボットの外装に加工を施した状態で先の実験と同等の信号検出実験および距離計測実験を行う．

実験結果として, Fig. 6 に飛行ロボットの外装にスポンジを設置した状態で (a) プロペラを静止させた場合， (b) プロペラを回転させた場合の相関値を示す．Fig. 6 から，飛行ロボットのプロペラを (a) 静止させた場合と (b) 回転させた場合では，回転させた場合の方が信号は大きく減衰していた．しかし，Fig. 4(b) と Fig. 6(b) を比較すると，Fig. 6(b) の方がわずかに雑音信号が減衰していることが分かった．以上のことから，飛行ロボットのプロペラから生じる気流による信号減衰という問題

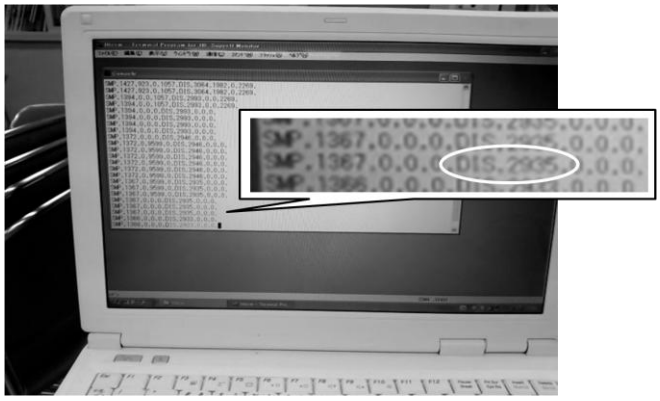


Fig. 7 A result of the distance measurement using the receiver a narrow frequency band

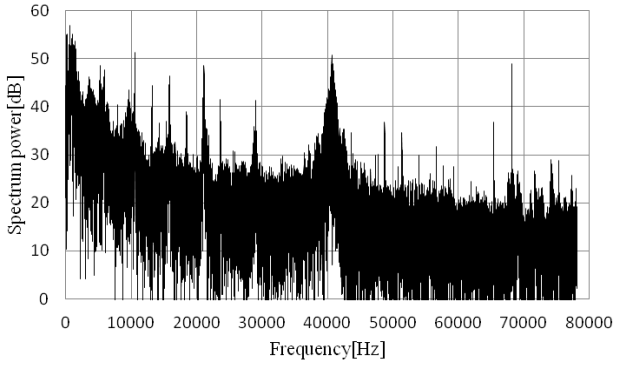


Fig. 8 Frequency analysis of the flight noise with the flying object

はホバリング時の揺れよる問題と比べて距離計測に影響を与えている可能性があることが分かった．しかし，プロペラから生じる気流による信号減衰は距離計測が困難となる最大の原因とは言えないことが分かった．

3.3 飛行ロボットのモーター駆動音およびプロペラによる風切り音についての検証

3 つ目に飛行ロボットのモーター駆動音およびプロペラが発する風切り音による信号干渉を検討する．飛行ロボットのモーター駆動音およびプロペラによる風切音のような広帯域で強力な雑音は受信信号の復調時に拡散し切れない問題がある．そのため, 受信素子を周波数帯域が 40±1kHz である SPL 社製の開放型素子に変更し，距離計測実験を行う．

実験結果として, Fig. 7 に距離計測実験の実験結果を示す．図は飛行ロボットに設置した受信機から得られた相関値から距離を算出し, PC に出力している．実験結果から，受信素子を周波数帯域の狭い素子を用いることで距離計測が可能であることが分かった．そのため，飛行ロボットの発する広帯域な雑音が信号検出に大きく影響を与えている可能性があるということが推測できる．しかし，周波数帯域の狭い素子を用いてしまうと一部の周波数しか受信できないため，相関値が減少し測位システムの対雑音性が向上しない．そのため，受信信号に問題となる周波数をカットする帯域通過フィルタ（Band-Pass Filter : BPF）を通す必要がある．そこで，受信信号の周波数を解析し，飛行雑音の具体的な周波数を調査する．

4 飛行ロボットによる飛行雑音の周波数解析

飛行ロボットを距離計測可能にするためには，信号干渉を起こしている原因である飛行雑音の周波数帯域を解析し，その周波数帯域を除去する必要がある．今回解析するデータとして，3.2 で得られた受信波形を使用し，ソフトウェア上で周波数解析を行う．

Fig. 8 に 3.2 で得られた受信波形を周波数解析した図を示す．図の横軸は周波数を表し，図の縦軸はそのときの周波数成分を表している．図の 40kHz 帯の周波数成分は SS 信号によるものである．Fig. 8 から，グラフ全体の波形が歪んでいることが分かる．これは飛行ロボットが発する飛行雑音によるものであると考えられる．その中でも 0.1kHz – 30kHz の間と 68kHz – 68.5kHz の間の周波数成分が SS 信号以上に周波数成分が大きいことが分かった．以上の結果から，飛行ロボットの距離計測が実現するには，0.1kHz – 30kHz と 68kHz – 68.5kHz をカットするフィルタ回路を作成し，問題となる周波数帯域を除去することで，距離計測が可能であると考えられる．

5 おわりに

本研究では，飛行ロボットによる案内誘導，警備サービスの実用化のために，SS 超音波測位システムによる屋内測位システムの応用を提案し，ホバリング時における信号検出を可能とするため，雑音要因を検証した．実験結果から，飛行ロボットのモーター駆動音およびプロペラによる風切り音が一番測位システムに影響を与えることが分かった．また，飛行雑音の周波数を分析した結果，0.1kHz - 30kHz 帯と 68kHz - 68.5kHz 帯の周波数成分が受信信号の周波数より大きいことが分かった．今後は原因と思われる周波数帯域をフィルタ回路で除去し，正常に距離計測が行えるかどうか実験を行う．

参考文献

[1] MIT SENSEable City Lab, “SKYCALL - MIT SENSEable City Lab,” 09 2013. [Online]. Available: http://senseable.mit.edu/skycall/.

[2] 岩倉大輔，野波健蔵，藤原大悟, “A201 赤外線距離センサを搭載した飛行ロボットの屋内自己位置推定,” 一般社団法人日本機械学会，「振動と運動の制御」シンポジウム講演論文集 2011(12), 253/258, (2011).

[3] T. Gigl, G. Janssen, V. Dizdarevic, K. Witrisal and Z. Irahhauten, “Analysis of a UWB Indoor Positioning System Based on Received Signal Strength,” Positioning, Navigation and Communication, 2007. WPNC '07. 4th Workshop, 97/101, (2007).

[4] Z. Xiang, S. Song, J. Chen, H. Wang, J. Huang and X. Gao, “A wireless LAN-based indoor positioning technology,” IBM Journal of Research and Development (Volume:48 , Issue: 5.6) 617/626, (2004).

[5] K. Kumakura, A. Suzuki and T. Iyota, “Code division positioning by continuous signals using spread spectrum ultrasonic waves,” in 2013 International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation (IPIN 2013), 907/914, (2013).

[6] K. Kumakura, A. Suzuki, T. Iyota and C. Yongwoon, “Real-time 3-D positioning for Flying Robot using SS Ultrasonic Waves,” International Symposium on Smart Sensing and Actuator System (ISSS’13), (2013).