

帯域制限されたスペクトル拡散信号を用いる測距システムの精度について

正員 矢野 安宏^{†*} 正員 長谷川孝明[†]

On the Precision of a Ranging System Using a Band-Limited Spread Spectrum Signal

Yasuhiro YANO^{†*} and Takaaki HASEGAWA[†], Members

[†] 埼玉大学工学部電気電子工学科, 浦和市

Faculty of Engineering, Saitama University, Urawa-shi, 338 Japan

* 現在, 三菱電機株式会社通信システム研究所

あらまし 受信機に遅延ロックループ (Delay Lock Loop; DLL) を用いたスペクトル拡散信号による測距システムにおいて, 帯域制限された伝送路で高い測距精度を得るための信号の伝送方式の検討を行っている。

キーワード スペクトル拡散, 測距システム, 超音波, 帯域制限, 遅延ロックループ

1. まえがき

スペクトル拡散通信方式の一つの応用に, 拡散符号のタイミングを利用する測距システムがあるが, この場合, 信号の伝搬速度が速ければ, 高い分解能を得るためには高い拡散符号速度 (チップレート) が必要となり, ハードウェアへの要求も厳しくなる。超音波は伝搬速度が遅いため, これを用いた測距ではハードウェアの負担は小さいが, 超音波トランスデューサの周波数特性により使用可能帯域が著しく制限されてしまう。これまで, 超音波信号を用いたスペクトル拡散信号の測距実験も行われているが⁽²⁾, これは主に拡散符号系列として棚田らの提案する実数直交擬似雑音系列を用いた測距システムの特性について調べたものであり, 通常広く用いられている M 系列で, 帯域制限のある伝送路において, どのような搬送波周波数やチップレートのスペクトル拡散信号が高い測距精度を達成できるかという検討はほとんどなされていない。

そこで本論文では, 受動相関を行う場合と比較して能動相関による高精度な測距を期待できる遅延ロックループ (DLL)⁽¹⁾ を受信機に用いたシステムで, 超音波トランスデューサを用いるような伝送帯域が制限される場合に高い測距精度を達成するためのスペクトル拡散信号の信号方式の検討を行い, SN 比に応じて高い測距精度を達成するためのチップレートの最適値が存在することを示す。

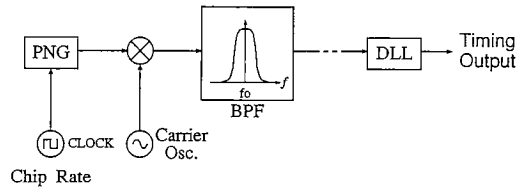


図 1 帯域制限があるときの測距システムのモデル
Fig. 1 Model of ranging system with band-limiting.

2. 測距システム

本論文では, 図 1 に示すようなモデルにより, 伝送帯域が制限されているときの測距システムを考えた。送信側では, チップレートで発振するクロックで擬似雑音 (PN) 符号発生器 (PNG) が駆動され, それによって生成された PN 符号は搬送波に乗せられ, 帯域制限がかけられる。この信号を受信側では DLL で追跡してタイミングパルスを得る。このタイミングパルスの遅延量から, 送受間の距離を算出する。ここで, 超音波トランスデューサを用いる場合などでは信号の伝送帯域は固定されるため, 測距精度を決定する要素としては, チップレートと搬送波周波数の二つが考えられる。そこで次章では, これら二つのパラメータによる測距精度への影響の検討を, 計算機シミュレーションにより行う⁽³⁾。

3. 帯域制限伝送を行うときの DLL の測距精度

3.1 帯域制限がある場合の測距精度

スペクトル拡散信号を用いて測距を行う場合には, 拡散符号である PN 符号のチップ幅が狭いほど, すなわちチップレートが高いほど測距分解能が高くなる。また, 拡散信号の変調法には DSB (両側波帯) 方式のほか SSB (単側波帯) 方式も可能であるが, チップレートを 2 倍にとることのできる SSB 方式はより高い測距精度を得られるものと期待でき, これまでに SSB 方式で測距を行った例も報告されている⁽²⁾。

一般に, 測距における誤差としては, 測定値の平均が実際の値と異なる定常的な誤差と, 測定値の揺らぎによる誤差の二つが考えられる。定常的な誤差は, その原因が超音波トランスデューサや雑音除去用のフィルタ等によるものと考えられるため, 補償することができる。しかし, 揺らぎによる誤差は, その原因が DLL 出力の位相ジッタであると考えられるため, その誤差を完全に補償することはできない。また, 測定値の時間平均をとることによってこの揺らぎの影響を小さくすることも可能であるが, この場合でも, その揺らぎ自身を

抑えることは、測距精度を直接向上させる。そこで、以降はこの揺らぎの大きさの検討を行う。

検討対象とする測距システムのモデルは、3 [dB] 帯域幅が 40 ± 3 [kHz] に固定された 4 次のパワース帯域通過フィルタによって帯域制限され、表 1 に示すような諸元の受信機を用いているものとした。図 2 に、入力信号の SN 比と DLL の位相ジッタの標準偏差を距離に換算した測距誤差特性を示す。ここでは、①メインロープと通過域を一致させた DSB 方式 (チップレートは 3 [kHz]) のほか、チップレートを 2 倍に上げた (=6 [kHz]) 以下の三つの方式、② USB (上側波帯) 方式 (搬送波周波数: 37 [kHz])、③ LSB (下側波帯) 方式 (搬送波周波数: 43 [kHz])、④②、③と同じ帯域幅で遮断した DSB 方式 (搬送波周波数: 40 [kHz]) の四つの方式の特性を示している。なお、④の方式を“DSB($\times 2$)”と表記し、括弧内には、伝送帯域幅 BW の $1/2$ の周波数に対する、拡散符号のチップレート f_{PN} の比 ($f_{PN}/BW/2$) をとって示すことにする。また、帯域制限をかけたことで DLL の遅延弁別特性が変化するため、いずれの場合でもロックレンジを一

表 1 受信機の諸元

構成	ノンコヒーレント Δ 型 DLL
ループ次数	1 次 (ループフィルタなし)
ロックレンジ	100 [Hz] (一定)
自走周波数	搬送波周波数と同一

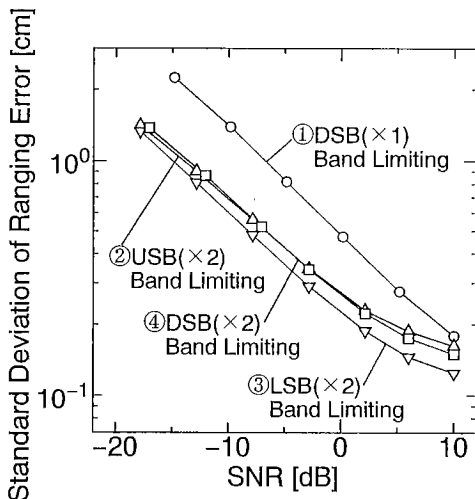


図 2 測距誤差特性

Fig. 2 Ranging error performance.

定となるようにゲインを調節して比較を行っている。図 2 から、搬送波周波数を変化させた②、③、④の各方式においては大きな差は見られず、チップレートを 2 倍に上げたことが測距精度向上に寄与していることがわかった。

以上より、チップレートを更にした場合の比較が

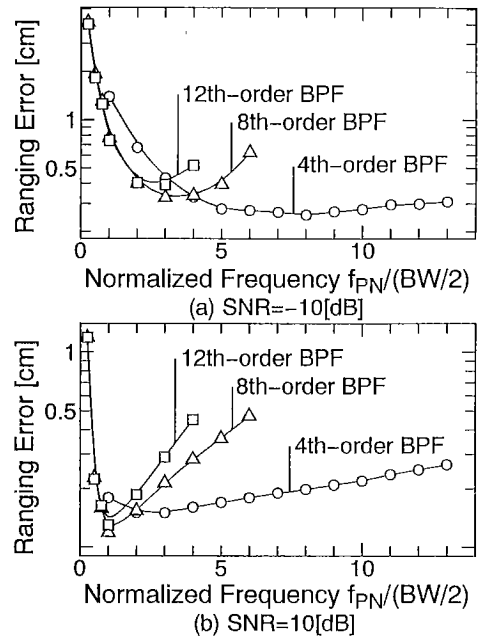


図 3 チップレートと測距誤差の関係
Fig. 3 Ranging error vs. chip rate.

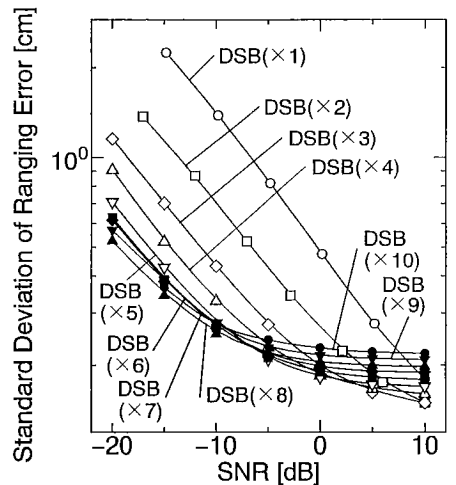


図 4 チップレートを変化させたときの測距誤差特性
Fig. 4 Ranging error performances in various chip rates.

必要となることがわかり、次節ではこの点を検討する。

3.2 チップレートを変化させたときの測距精度

シミュレーションの条件は前節と同様に DLL のロックレンジ一定で、伝送帯域幅も一定として比較を行った。SN 比が -10 [dB] と 10 [dB] のときに DSB ($\times n$) 方式としてチップレートを変化させた場合の測距精度を図 3 に示す。なお、ここでは前節で用いた 4 次のフィルタのほかに、より急しゅんな遮断特性をもつ 8 次と 12 次のフィルタで帯域制限を行う場合についても検討を行う。横軸は伝送帯域幅で規格化したチップレートを、縦軸は図 2 と同じ測距誤差の標準偏差をそれぞれ示す。図 3 より、どの次数の帯域通過フィルタによって帯域制限が行われた場合でも、SN 比に応じて高い測距精度が得られるチップレートの最適値が存在することがわかる。

次に、図 3 と同じ条件でチップレートをパラメータとして SN 比を変えたときの測距誤差を図 4 に示す。ここでの帯域制限は、図 2、図 3 で用いた 4 次のフィルタで行っている。SN 比が -5 [dB] より低い範囲では DSB ($\times 8$) 方式が最良の測距精度を得ていること、および -5 [dB] より高い範囲ではチップレートを上げていくと測距精度は SN 比に対し直線的に減少せず、高い測距精度が得られるチップレートは各 SN 比で異なることがわかる。

以上より、伝送帯域に制限があり、受信機に DLL を用いた測距システムでは、伝送路での SN 比に応じて高い測距精度が得られるチップレートの最適値が存在

し、システム設計の際にはこの点を十分に考慮すべきであることがわかる。

4. む す び

伝送帯域に制限のあるスペクトル拡散信号による測距システムで、受信機に DLL を用いる場合について測距精度向上の検討を行った。ロックレンジ一定による比較をシミュレーションで行った結果、測距精度はチップレートに大きく依存し、また、その最適値は各 SN 比に応じて変化することがわかった。

今後は、実際の超音波測距システムの精度の限界の検討が課題となる。

本研究は超音波スペクトル拡散測距システムをかながみて行った検討であるが、一般に帯域制限のある伝送路での測距にも適用することができる。

謝辞 日ごろ御指導を頂く埼玉大学工学部電気工学科羽石操教授に深く感謝致します。

文 献

- (1) Spilker, Jr., J. J.: "Delay-Lock Tracking of Binary Signals", IEEE Trans. Space Elec. Telemetry, SET-9, 3, pp. 1-8 (March 1963).
- (2) 棚田嘉博, 佐々木義雄, 前田直樹, 堀 泰彰: "実数直交擬似雑音系列を用いた超音波測距方式", 信学技報, SS87-27 (1987-08).
- (3) 矢野安宏, 長谷川孝明: "帯域制限されたスペクトル拡散信号による測距について", 信学技報, SST91-60 (1992-03).

(平成 4 年 3 月 31 日受付, 7 月 13 日再受付)