

# CPC 符号を用いた PC を前処理とする周波数軸上超分解能距離推定法

## Pre-Pulse Compressed Super-Resolution Range Estimation using Complementary Phase Code Pulses

植松 大貴 稲葉 敬之  
Hiroki Uematsu Takayuki Inaba

電気通信大学 電子工学科  
Department of Electronic Engineering, The University of Electro-Communications.

### 1. まえがき

筆者らは、パルス圧縮レーダにおける近接目標距離への応用を想定し「FFT-超分解能時間遅延推定法」を提案している[1]。この方法は、周波数軸上で受信信号を参照関数で除算し、その除算信号の信号周期から目標遅延時間（すなわちレーダでの目標距離）を推定するという原理に基づいている。全観測区間をスライディングゲートすることで、周波数軸上の除算信号に LowPass フィルタかつデシメーションを行うことが可能となり、周期推定のための超分解能法の計算負荷を低減可能とする方法である。一方、同様に超分解能法の計算負荷低減を目的として、全観測区間に亘り Pulse Compression(パルス圧縮)を前処理とする方法が報告されている[2][3]。本稿では、これらと比較検討・拡張していく上での第一段階として、後者において、自動車レーダへの適用を想定したパラメータおよび CPC (Complementary Phase Code) 符号を用いることを提案する。更に、計算機シミュレーションにより時間推定精度の時間ゲート幅依存性、及び時間ゲート外の信号の影響について評価を行い、CPC 符号を用いることの優位性を確認した。

### 2. CPC符号を用いたPCを前処理とする周波数軸上超分解能距離推定法

PC を前処理とする方式の信号処理ブロック図を図 1 に示す。全観測区間（レーダではパルス繰り返し区間となる）に亘り受信信号にパルス圧縮を行い、ピークの位置から目標の大よその距離を得る。次に、時間ゲート処理にて得られた距離周辺の信号を切り出す。切り出した PC 後の信号に対し DFT を行い周波数領域に変換する。さらにこの信号に周波数ゲート処理を行う。この周波数ゲート処理された受信信号を、送信信号に対し同様の処理を適用した信号で除算する。こうして得られた周波数軸上の除算信号の周期が目標距離となる。除算信号に対し FB-空間平均を行い相関抑圧後に MUSIC 処理で超分解能距離推定を行う。

しかし、この方式においては推定距離にバイアス誤差が生じる問題があることが報告されている。そこで、本報告では、この問題を考察するとともに、送信信号として CPC 符号を用いることを提案する。

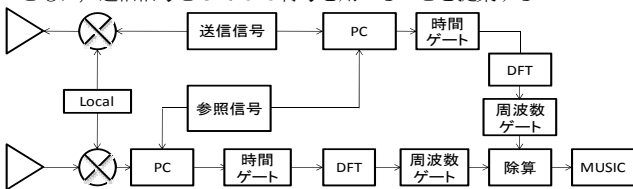


図1 信号処理ブロック図

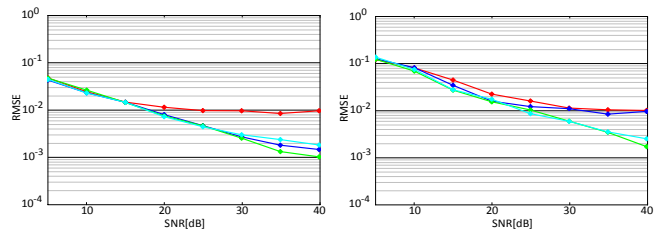
### 3. 計算機シミュレーション

自動車レーダへの適用を想定し、推定精度 (RMSE 値) の時間ゲート幅依存性を調べるため、以下のパラメータを用い、計算機シミュレーションによる評価を行った。

- ・送信信号：符号長 16 チップの P4 符号、または CPC 符号
- ・サンプリング周波数：2fs (fs：送信信号占有帯域)
- ・送信信号帯域制限フィルタ：コサインロールオフフィルタ（ロールオフファクタ 0.5)
- ・時間ゲート幅（チップ幅で規格化）：7.5(赤実線), 10.5 (青実線), 15.5 (緑実線), 20.5 (水色実線)
- ・周波数ゲート幅：-0.8fs ~ 0.8fs
- ・空間平均時のサブアラレー数：除算後のデータベクトル次元の 35 点
- ・目標数および距離差(チップ幅で規格)：2, 0.5 チップまたは 1 チップ
- ・目標信号間の位相差：0-2π の一様分布
- ・試行回数：各 100 回

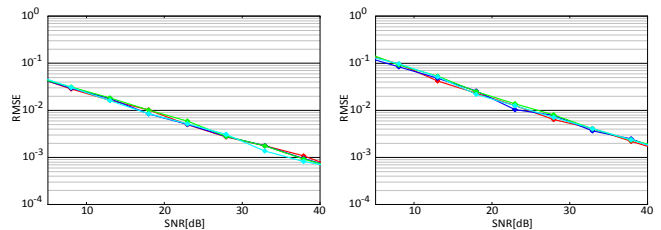
結果を図 2 に示す。横軸は PC 前での S/N であり、CPC では P4 符号に比べ 2 倍の送信パルスを用いているため、同一条件にするために横軸 (S/N) を 3dB シフトしている。図 2 より、高 SNR 時に[2][3]で報告されているバイアス誤差が P4 符号では確認されるが、CPC 符号では発生していないことが分かる。「時間ゲート処理」において、PC 後の目標ピークを含むサイドローブ領域が切り出されるが、完全に目標位置を中心として切り出された参照信号との波形不一致によりバイアス誤差が発生

したものである。一方 CPC 符号では、サイドローブが打ち消されるので、真の目標距離と時間ゲートによる切り出し位置にかかわらず、参照関数波形との間に差異が生じず、バイアス誤差が発生しないものと考えられる。なお、バイアス誤差を除くと、時間ゲート幅と、推定精度には殆ど相関性が無い事が分かる。



P4 符号 距離差 1 チップ

P4 符号 距離差 0.5 チップ

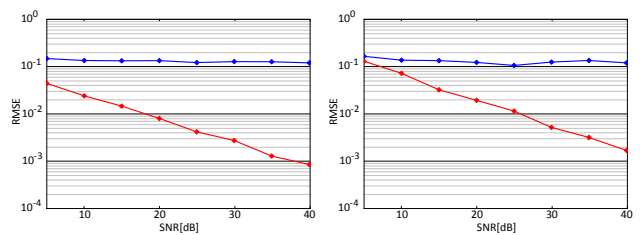


CPC 符号 距離差 1 チップ

CPC 符号 距離差 0.5 チップ

図 2 SNR 対時間推定誤差特性の時間ゲート幅依存性

次に、時間ゲート幅を 15.5 チップに固定し、時間ゲート外に目標信号との振幅比および距離差がそれぞれ、3 倍、13.5 チップとなる第三の目標を配置することで、時間ゲート外の目標の影響評価を行った（時間ゲート幅以外は同条件）。図 3 より、P4 符号では、時間ゲート外に近接した信号がある場合、推定精度が劣化する事が分かる。これは、時間ゲート外の信号のサイドローブが、時間ゲート内に入り込んだためである。一方 CPC 符号では、図 2 に比べ推定精度が劣化しないことが分かる。特に SNR10dB 以下においても CPC 符号の推定精度は P4 符号より高く、CPC 符号の利用は実用上大変有効であると思われる。



距離差 1 チップ

距離 0.5 チップ

図 3 時間ゲート外の信号の影響(赤線:CPC 青線:P4)

### 4. むすび

PC を前処理とする周波数軸上超分解能距離推定法において、送信信号に CPC 符号を用いる事で、課題であったバイアス誤差や時間ゲート外の信号の影響を除去できる事を確認した。本研究の一部は科研費（課題番号：21246062）によりなされた。

### 参考文献

- [1] 福島冬樹, 稲葉敬之, “時間ゲートと周波数軸上での低域通過フィルタを用いた FFT 超分解能時間遅延推定法の演算負荷低減,” 信学論(B), vol. J91-B, no. 4, pp.467-478, April 2008.
- [2] M.Pallas, G.Jourdain, “Active High Resolution Time Delay Estimation for Large BT Signals,” IEEE Trans. Signal Processing, vol.39, no.4, pp.781-788, April 1991.
- [3] 大島正資, 岡村 敦, 千葉 勇, 鈴木信弘, “エンハンスド周波数領域 MUSIC 法を用いた高精度遅延時間推定,” 信学技報, SANE2006-130, January 2007.