

ミリ波車載レーダへの適用を想定した Hybrid-CFS 法

Hybrid-CFS Method Considered for Automotive Radar Using Millimeter-Wave Application

木島 壮氏 Takeshi Kijima 稲葉 敬之 Takayuki Inaba

電気通信大学 電子工学科
The University of Electro-Communications

1.はじめに

レーダを距離高分解能化する際に、受信機周波数帯域幅の削減と、距離サイドローブ・グレーティングローブの低減という課題がある。この課題に対し Complementary Phase Code (CPC) と Linear Frequency Stepping (LFS) をハイブリッド化した Hybrid-CFS 法 (Hybrid waveforms utilizing Complementary phase coding and linear Frequency Stepping)[1] が提案されている。CPC を用いたパルス圧縮では、相補の関係となる 2 つの相補符号を用い、それぞれの圧縮後パルスの加算により距離サイドローブを相殺可能という特長がある。しかし、2 つの符号を用いているため、観測時間等何らかの性能低下を許容せざるを得ない。本論文は、ミリ波車載レーダへ Hybrid-CFS を適応するにあたり上記を考慮した新しい送受信シーケンスを提案する。

2.提案する Hybrid-CFS

ミリ波車載レーダへの適用を想定した提案する Hybrid-CFS 法における送受信シーケンスを図 1 に示す。提案する送受信シーケンスでは図 1 に示すように、LFS の各周波数ステップ f_n において、交互に相補符号パルスを送受信する。

このとき全観測時間を一定とし、最大インストルメント距離 (TPRI に相当) を確保する条件下において、一つの符号を用いる場合と比較し、最大速度視野は 1/2 に低下する。しかし、第 3 章で示す通り、76.5GHz 帯におけるミリ波車載レーダのパラメータ設計において、必要十分な速度視野 ($\pm 220\text{km/h}$) を満足することが可能である。

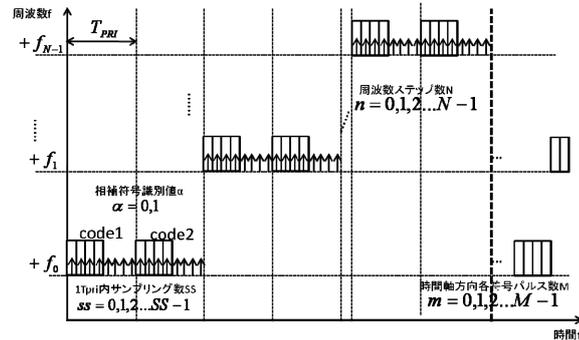


図 1 提案する送受信シーケンス図

図 1 に示す送受信シーケンスに基づく Hybrid-CFS 法では、相補符号を用いて位相変調を行った相補符号パルスを等間隔 LFS として搬送波を周波数 $f_0 \sim f_{N-1}$ のステップで送信し、測定目標反射パルスを受信する。受信波を各周波数ステップでベースバンドに周波数変換し複素 IQ 検波を行う。その後、A/D 変換を行い、1PRI 内サンプリング信号を得る。このサンプリング信号を用いて、相補符号のパルス圧縮処理 (自己相関処理) を行う。その結果として、信号 $f_0 \text{ code } 1 \sim f_{N-1} \text{ code } 2$ を得る。この信号を用いた Hybrid-CFS 法の信号処理系統図を図 2 に示す。信号には図 1 に示すように、4 つの変数 (ss, α , n, m) で記述される。

以下、図 2 に従い提案する Hybrid-CFS 法における信号処理について説明する。

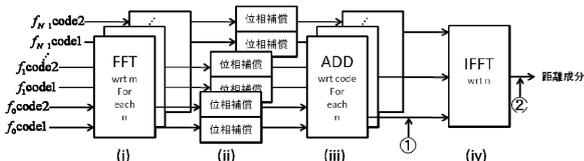


図 2 相補符号パルス圧縮処理後の信号処理系統図

(i) FFT; 各変数 n, α ごとに $ss-m$ 平面を考え、m 方向へ FFT を行いパルスドップラー処理を行う。ここで変数 ss における速度検出を行い $V(ss)$ とする。

(ii) 位相補正; 4 変数を持つ全てのサンプル点に対し位相補正項(1)でドップラーシフト及び時間軸シフトに対する位相補正[2]を行う。

$$\exp \left[-j \left[\left(2\pi \frac{2fV(ss)}{c} \cdot 2N \cdot T_{PRI} \right) \cdot m + \left(2\pi \frac{2fV(ss)}{c} \cdot 2T_{PRI} \right) n \dots \right] + 2 \left[\left(2\pi \frac{2fV(ss)}{c} \cdot T_{PRI} \right) \alpha + \left(2\pi \frac{2fV(ss)}{c} \cdot T_{chip} \right) ss \right] \right] \quad \dots (1)$$

(iii) ADD; 位相補正を行った受信波をそれぞれの n において相補となる符号同士で加算しサイドローブの相殺を行う。

(iv) IFFT; LSF の周波数ステップ変数 n 方向への IFFT を行い、距離成分を得る。

3. 計算機シミュレーションによる干渉抑圧特性評価

ミリ波車載レーダへの適用を想定し、以下のレーダパラメータを採用しシミュレーションを行った。

- ・送信周波数 f : 76.5GHz
- ・パルス繰返し周期 TPRI : 2 μ s (最大インストルメント距離=300m)
- ・周波数ステップ数 N : 8 (最大速度視野= $\pm 220.588\text{km/h}$)
- ・サブパルス帯域幅 b : 100MHz (距離分解能: $\delta R = 1.5 \text{ m}$)
- ・全観測時間 Ts : 8.192ms (速度分解能: $\delta V = 1.723 \text{ km/h}$)
- ・符号 bit 数 : 16bit (パルス幅 Tp : 0.16 μ s)
- ・目標数 2 (目標距離 R1 : 99m R2 : 100.5m (1 チップ相当の距離差))
- ・目標速度 V1 : 15km/h V2 : 15km/h, 反射振幅比 : 1 : 1)

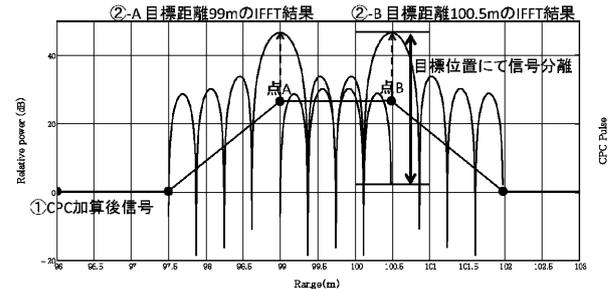


図 3 距離出力結果

図 3 に上記パラメータによる 1 チップ相当の距離 (1.5m) 差を持つ 2 目標に対する結果を示す。図 3 において横軸は距離を、縦軸は信号電力を表す。①は、二つのパルス圧縮後の相補符号の加算後波形であり、点 A, B の二点で電力が得られているが、相補符号の 1 チップ相当の 1.5m の分解能にとどまっている。一方、この点 A の周波数方向の複数のデータを用いて IFFT (この処理は帯域合成と呼ばれる) した結果が図の②-A である。同様に、B 点の結果が②-B である。図より、それぞれ $2 \times 1.5\text{m}/N$ の高分解能が得られる。この図より、更に、②-A, B の IFFT 結果の互いのピークにおいて、もう一方への干渉がないことを確認できる。

4. おわりに

ミリ波車載レーダへ Hybrid-CFS 法を適用することを想定し新しい送受信シーケンスを提案した。また計算機シミュレーションにより、CPC を用いたパルス圧縮にて距離サイドローブを相殺可能であり、LFS における IFFT 出力に干渉が発生しないことを示した。なお、CPC を用いたパルス圧縮は、筆者らが提案している多周波ステップ ICW 法に組み合わせることも可能であり、受信機周波数帯域幅のみならず送信帯域幅を小さくすること、および超近距離目標の測距・距離のさらなる高分解能化を実現とすることが期待される[2]。

参考文献

- [1]: DANIEL B. KOCH, WILLIAM H. TRANTER, PROCESSING CONSIDERATION FOR HYBRID WAVEFORMS UTILIZING COMPLEMENTARY PHASE CODING AND LINEAR FREQUENCY STEPPING Radar Conference, 1990., Record of the IEEE 1990 International 7-10 May 1990 Page(s):606 - 611
- [2]: 稲葉敬之, “多周波ステップ ICW レーダによる多目標分離法”, 電子情報通信学会論文誌(B), vol. J89-BNo.3, pp.373-383, Mar.2006.