

多周波 NL-SWW における拘束条件による周波数ステップ非線形化手法

Making nonlinear frequency step technique in Multiple Frequency NL-SWW by restraint condition

渡辺 優人 稲葉 敬之
Masato Watanabe Takayuki Inaba

電気通信大学 電子工学専攻
The University of Electro-Communications Electronic Engineering dep.

1. まえがき

筆者らは高データレート、狭受信機帯域幅で高距離分解能を実現する多周波非線形合成帯域法(NL-SWW)を提案している[1]。論文[1]では、周波数ステップを非線形化することにより、非線形関数を3次多項式としてその係数を変数として、最終出力である距離波形における距離サイドローブ(SL)低減効果について評価した。本論文では、帯域合成(周波数ステップ方向の IDFT)出力のある特定の距離の相対振幅値を拘束し、それを満足する距離波形が得られるように周波数ステップを非線形化する「拘束条件による周波数ステップ非線形化手法(以下、拘束法)」を提案する。さらに車載レーダでの運用を想定したレーダパラメータを用いて、距離 SL 低減効果に関し評価を行う。

2. 多周波 NL-SWW

多周波 NL-SWW は、図 1 に示すような周波数ステップを非線形化した送信周波数シーケンスにより、高データレート、狭受信機帯域幅で高距離分解能を実現するとともに、受信信号にウェイトを乗じるのとは異なり電力の損失無しに距離サイドローブ (SL) を低減する。また、図 2 に示すようにパルスドップラフィルタによって速度が得られるとともに、ドップラ周波数補正処理後[2]にて距離誤差を補償可能としている。最終出力である距離波形は帯域合成出力にサブパルスのパルス圧縮(PC)出力を乗じることにより得られる。

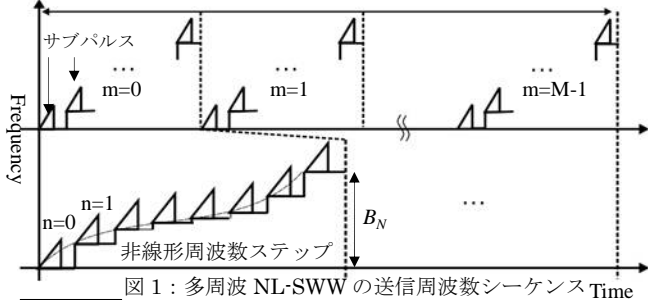


図 1: 多周波 NL-SWW の送信周波数シーケンス

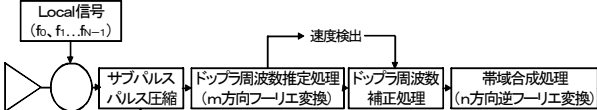


図 2: 多周波 NL-SWW の信号処理ブロック図

3. 提案する拘束法

提案する拘束法とは多周波 NL-SWW において帯域合成出力のある特定の距離の相対振幅値を拘束し、それを満足する距離波形が得られるように非線形最小二乗法により非線形関数パラメータを決定する。ここでは、その非線形関数は周波数ステップの中心を対象とした奇関数である以下の3次の多項式とする。

$$F(n) = P_0 \cdot n^3 + P_1 \cdot n^2 + P_2 \cdot n + P_3 \quad (n=0 \dots N-1) \quad \text{①}$$

周波数ステップの始点、終点および上記中間点の条件より、

$$F(0) = P_0 \cdot 0^3 + P_1 \cdot 0^2 + P_2 \cdot 0 + P_3 = 0 \quad \text{②}$$

$$F(N-1) = P_0 \cdot (N-1)^3 + P_1 \cdot (N-1)^2 + P_2 \cdot (N-1) + P_3 = B_N \quad \text{③}$$

$$F((N-1)/2) = P_0 \cdot ((N-1)/2)^3 + P_1 \cdot ((N-1)/2)^2 + P_2 \cdot ((N-1)/2) + P_3 = B_N/2 \quad \text{④}$$

となる。このとき、周波数ステップによる全帯域幅を B_N とする。また拘束条件は IDFT の指向距離 R と目標距離 R_0 が一致した距離 R_0 から距離 Δr だけ離れた位置(拘束距離)の相対振幅値を ϵ とすると、

$$S(\Delta r_x) = \left(\frac{1}{N} \right) \cdot \left| \sum_{n=0}^{N-1} \exp(-j4\pi \cdot \Delta r_x \cdot c) \cdot (P_0 \cdot n^3 + P_1 \cdot n^2 + P_2 \cdot n + P_3) \right| = \epsilon_x \quad \text{⑤}$$

となる。ここで拘束条件数を $3(x=0,1,2)$ とすると、未知数 $((P_0, P_1, P_2, P_3))$ の 4 個に対し、式②から $P_3=0$ が確定し、式③、④および拘束条件式⑤の 3 個の計 5 個となり、これらの式から非線形最小二乗法にて非線形関数の係数 $((P_0, P_1, P_2))$ を求める。

拘束条件を与える距離 Δr とその相対振幅値 ϵ に対し、本論文では以下を考慮し、表 1 に示すような距離 SL 拘束および PC スル拘束を採用する。

- (1) PC 出力のメインローブ内で、帯域合成出力の相対振幅値を小さい値に拘束する。
 - (2) PC 出力がスルとなる距離(PC スル距離と呼ぶ)での帯域合成出力の相対振幅値が高くなるようにする。
- 以上より、PC 出力と帯域合成出力の積である当方式の距離波形において距離 SL を低減することが期待される。

表 1: 拘束条件

拘束条件	拘束距離 Δr	相対振幅値 ϵ
①距離 SL 拘束	帯域合成出力第 1SL	$\epsilon = 0.001$
②距離 SL 拘束	帯域合成出力第 2SL	$\epsilon = 0.001$
③PC スル拘束	PC スル距離	$\epsilon = 0.1$

4. シミュレーション

ミリ波車載レーダを想定し、以下のレーダパラメータを採用した。

- ・送信周波数 $f: 76.5\text{GHz}$
- ・パルス繰返し周期 TPRI: $2\mu\text{s}$ (最大インストルメント距離: 300m)
- ・サブパルス帯域幅 $b: 80\text{MHz}$ (距離分解能: 1.875m)
- ・周波数ステップ数 $N: 8$ (最大速度視野: $\pm 220.588\text{km/h}$)
- ・基準周波数ステップ幅 $\Delta f: 70\text{MHz}$ (提案法の距離分解能: 0.263m)
- ・占有帯域幅 $B: 570\text{MHz}$ ($= b + B_N$)
- ・全観測時間 $T_s: 4.096\text{ms}$ (速度分解能: 1.723km/h)
- ・目標数: 1(目標距離 $R_0: 200\text{m}$, 目標速度 $V: 200\text{km/h}$)
- ・拘束条件 $(\Delta r, \epsilon):$ ①(0.368m, 0.001), ②(0.632m, 0.001), ③(2.025m, 0.1)

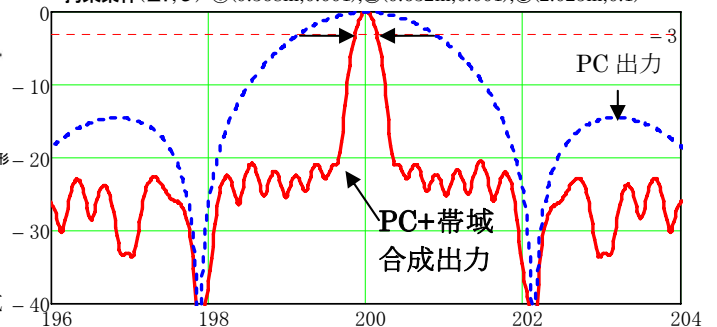


図 4: 距離波形

図 4 に周波数ステップ数 $N=8$ 、占有帯域幅 $B=570\text{MHz}$ という条件下における距離波形を示す。表 1 に示す拘束条件を用いた提案法(実線)では、サブパルスのパルス圧縮(点線)と比べて約 7 倍(-3dB)の距離分解能を得るとともに、全ての距離範囲において距離 SL が -20dB 以下に低減することを確認した。

5. むすび

本論文では「拘束条件による周波数ステップ非線形化手法」を提案し、ミリ波車載レーダを想定したレーダパラメータを用いたシミュレーションにて、距離波形におけるすべての距離 SL を -20dB 以下に低減することを達成した。

参考文献

- [1] 渡辺優人, 稲葉敬之, "多周波 NL-SWW による距離サイドローブ低減効果", 2009 年電子情報通信学会総合大会, B-2-20, 2009-03.
- [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.