

# CS レーダの狭帯域干渉抑圧における 周波数ブロック分割雑音レベル推定法の評価

2020SC062 野竹 啓裕

指導教員 梅比良 正弘

## 1 はじめに

自動運転や先進運転支援システムはカメラやレーダなどのセンサが用いられる。その中でも、FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave)レーダは相対距離と相対速度を同時検出できることから、車載レーダとして有望である。しかし、将来、レーダを搭載した車両が増加すると、他車に搭載されたレーダの信号が干渉信号として受信され、レーダ間干渉によるターゲットの不検出や誤検出が発生する確率が増加する[1]。レーダ間干渉には、ターゲットの不検出の原因となる広帯域干渉と、誤検出の原因となる狭帯域干渉がある。FMCW レーダの一種であるCS(Chirp Sequence)レーダを対象に、レプリカを用いた狭帯域干渉低減技術が提案されているが、レーダの周波数誤差等が原因となり、白色雑音とならず、干渉周辺ターゲットや雑音を抑圧する問題がある。この問題を改善するため、周波数毎に雑音レベルを推定する雑音レベル推定法を提案し、その干渉抑圧特性を評価した。

## 2 CS レーダの原理

CS レーダの構成を図 1 に示す。CS レーダでは、片側チャープを用いて、鋸波変調信号を複数回送信する[3]。掃引周期を $\Delta T$ 、掃引周波数を $\Delta f$ 、受信信号の遅延時間を $\tau$ とすると、ビート周波数 $f_B$ は、ドップラ周波数 $f_d$ を用いて、次式で与えられる。

$$f_B = \frac{\Delta f}{\Delta T} \tau + f_d = \frac{\Delta f}{\Delta T} \frac{2R}{c} + f_d \quad (1)$$

ここで、ドップラ周波数がビート周波数に比べて十分小さくなるよう、掃引周期を十分小さくすると、 $\frac{\Delta f}{\Delta T} \frac{2R}{c} \gg f_d$ となり、

$$f_B \cong \frac{\Delta f}{\Delta T} \frac{2R}{c} \quad (2)$$

と近似でき、距離 $R$ は、次式で表される。

$$R \cong \frac{c\Delta T}{2\Delta f} f_B \quad (3)$$

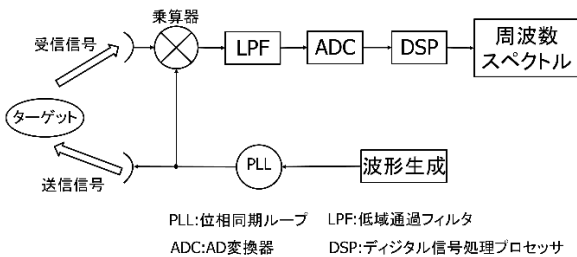


図1 CSレーダの構成

## 3 干渉レプリカを用いた狭帯域干渉抑圧法

### 3.1 狭帯域干渉

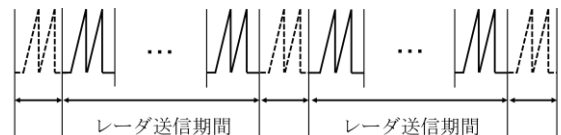
レーダ間干渉には、送信信号と干渉信号のチャープ

率が異なる場合に発生する広帯域干渉と、チャープ率が等しい場合に発生する狭帯域干渉がある。狭帯域干渉は、干渉信号により発生するビート周波数が低域通過フィルタの通過帯域幅 $f_{LPF}$ 以下になるタイミングで発生する。この場合、干渉は一定周波数となるため、周波数スペクトル上では、存在しない対象物(ゴーストターゲット)として検出され、誤検出の要因となる。

### 3.2 狭帯域干渉抑圧法

本研究では、干渉センシングにより狭帯域干渉のレプリカを生成し、これを用いて干渉抑圧を行う方法を対象とする[4]。本抑圧法では、図2のように周期的に干渉センシングを行う。このタイミングで得られた受信信号が狭帯域干渉の周波数スペクトルとなるため、その周波数スペクトルのレプリカを作成する。干渉レプリカとして保持した周波数スペクトル $P_{R(n)}$ から雑音レベル $N_0$ を推定し、その逆数を受信したパワースペクトル $P(n)$ に次式のようにかけることで干渉発生部のみを抑圧する。干渉抑圧処理を行うことでターゲットのスペクトルのみにし、狭帯域干渉による誤検出の発生を低減させる。

$$P_{MS(n)} = P(n) \frac{N_0}{P_{R(n)}} \quad (n = 1 \sim N) \quad (6)$$



干渉センシング期間 干渉センシング期間 干渉センシング期間

図2 干渉センシングを行う送信チャープの例

### 3.3 狭帯域干渉抑圧法における課題

従来の干渉レプリカを用いた狭帯域干渉抑圧では、干渉センシングの際に、狭帯域干渉スペクトラム $P_{IS(n)}(n=1 \sim N)$ を観測し、干渉レプリカを生成する。このレプリカに対し窓幅 $W_{IR}$ 内の最大値を検出して、スペクトラムの包絡線 $P_{IR(n)}(n=1 \sim N)$ を得る。従来法では、白色雑音を前提として $P_{IR(n)}$ を昇順にソートした $P_{IRSORT(n)}$ の平均値 $P_{av}$ を雑音レベルとし、その $K$ 倍を干渉抑圧の基準レベル $R_{th}$ としている[1]。この方法では、すべての信号を一定レベルに抑圧するため、干渉周辺のターゲットや雑音を過度に抑圧する問題がある。

## 4 周波数ブロック分割雑音レベル推定法

この問題を改善するため、周波数ブロック毎に雑音レベル $R_{th(i)}$ を推定することで、ターゲットや雑音の抑圧を回避する方法を提案した。図3のように $N$ 点のスペクトルを $N_{div}$ 個の周波数ブロックに分割し、 $N/N_{div}$ サンプルをソーティングしてその平均値 $P_{av(i)}(i=1 \sim N_{div})$ を計算する。さらに $1+N/2N_{div}$ を開始点とした $N_{div}-1$ 個の周波数ブロックに対して同様に

$P'_{av}(i)(i=1\sim N_{div}-1)$ を計算し、その平均を次式により求め、雑音レベルとする。

$$R_{th}(1) = P_{av}(1)$$

$$R_{th}(i) = (P_{av}(\left[\left(i + \frac{1}{2}\right)\right]) + P'_{av}(\lfloor i/2 \rfloor))/2$$

$$(2 \leq i \leq 2N_{div} - 1)$$

$$R_{th}(2N_{div}) = P_{av}(2N_{div})$$

## 5 特性評価

提案した雑音レベル推定法の実現性を確認するため、実験データを用いたオフライン処理により評価を行った。表1にCSレーダの実験諸元を示す。実験では、CSレーダの前方15mにターゲット、6mに干渉レーダを設置し、提案法により雑音レベル推定、干渉抑圧を行った。

図4(a)に $N_{div}=1$ の従来法、(b)に $N_{div}=2$ 、(c)に $N_{div}=8$ の提案法による雑音レベル推定結果と、抑圧前・後の干渉抑圧の結果を示す。丸印は検出されたターゲットと干渉レーダである。

図4(a)より、狭帯域干渉にスペクトル拡がりや干渉によるクラッタと思われる信号が受信されており、従来法では、スペクトル拡がり等が過度に抑圧されている。(b)(c)の提案法では、周波数ブロック分割数が増加することで、干渉抑圧の基準となる雑音レベルが推定できるため、過抑圧が改善した。

表1 CSレーダの実験諸元

掃引周波数[GHz]	2	チャープ数	17
掃引周期[μs]	30	サンプリング数 [sample]	1024
中心周波数[GHz]	78.5	サンプリング周波数 [MHz]	53.3

## 6 おわりに

本研究で、周波数ブロック分割雑音レベル推定法を提案し、雑音レベルを周波数ブロック毎に推定することにより、干渉周辺ターゲットを抑圧する問題が改善可能であることを示した。しかし、分割数 $N_{div}$ に関しては、 $N_{div}$ を増加させることにより、干渉スペクトルに応じた抑圧が可能となるが、雑音レベルの推定精度が低下する問題が見られた。そのため、干渉抑圧、ターゲット検出に最適な $N_{div}$ については、今後の検討課題である。

### <参考文献>

- [1] F. Uysal and S. Sanka, "Mitigation of automotive radar interference," 2018 IEEE RadarConference (RadarConf18), Oklahoma City, OK, USA, 2018, pp. 0405-0410.
- [2] M. Umehira, D. Ammen, Y. Watanabe, X. Wang and S. Takeda, "A Novel GhostTarget Cancellation Scheme using Periodical Interference Sensing for Automotive ChirpSequence Radar," 2021 21st International Radar Symposium (IRS), Berlin, Germany, 2021, pp. 1-9, doi: 10.23919/IRS51887.2021.9466185.
- [3] 梅比良正弘「FMCWレーダにおける干渉低減技術」、伊東敏夫ほか『距離・画像センサの基礎と最先端』, S&T出版, 2020, pp.186-202.

- [4] 丸山貴大, '干渉レプリカの包絡線検出による狭帯域干渉抑圧を用いたチャープシーケンスレーダの検討', 茨城大学大学院理工学研究科修士学位論文, 令和4年.

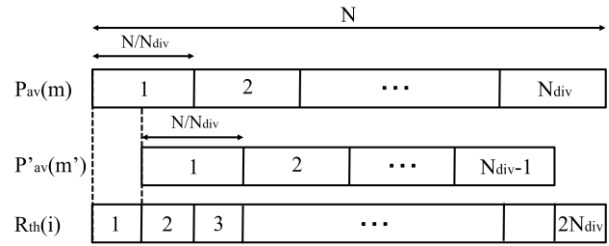
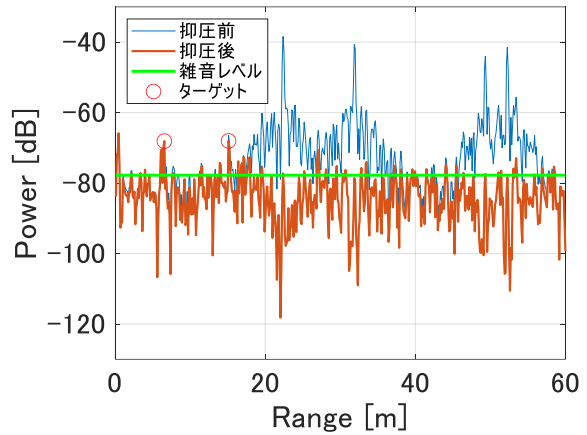
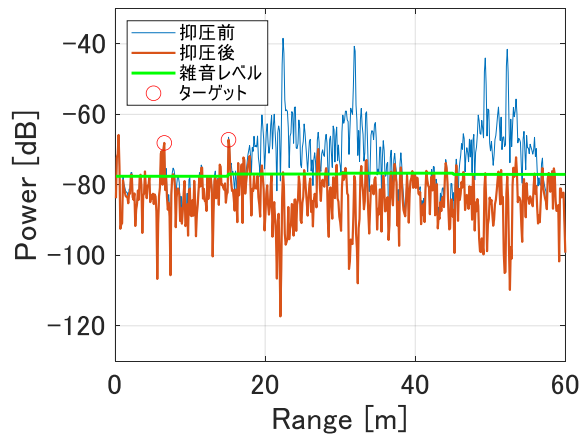


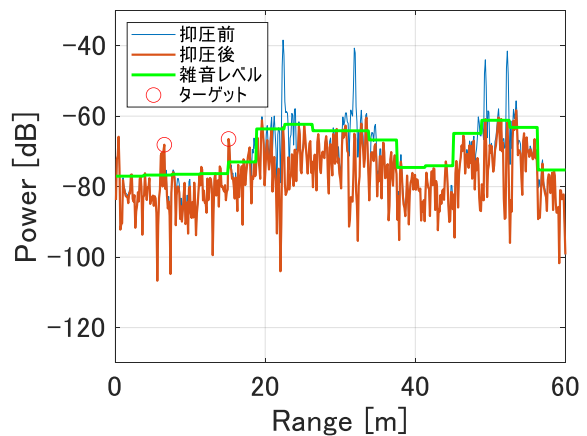
図3 周波数ブロック分割雑音レベルの原理



(a)  $N_{div}=1$



(b)  $N_{div}=2$



(c)  $N_{div}=8$

図4 雑音レベル推定と狭帯域干渉抑圧結果