

車載用 FMCW レーダにおける広帯域干渉継続時間の評価実験

Experiments of wide band interference in automotive FMCW radars

坂谷 朱理[†] 奥田 健夫[†] 石川 慎太郎[†] 梅比良 正弘[†] 王 瀟岩[†] 武田 茂樹[†]
 Akari SAKATANI[†] Takeo OKUDA[†] Sintaro IHKAWA[†] Masahiro UMEHIRA[†] Xiaoyan WANG[†] Shigeki TAKEDA[†]
 茨城大学工学部^{††} 茨城大学大学院 理工学研究科[†]

Faculty of Engineering, Ibaraki University

Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

1. はじめに

将来、車載用 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave)レーダが広く普及すると、レーダ間干渉によりターゲットの不検出、誤検出が問題となる。チャープ率の異なるレーダが干渉する場合に発生する広帯域干渉は、継続時間が長くなるとターゲットからの受信電力が低下するため、その発生メカニズムを明らかにすることは重要である。本研究室では FMCW レーダの広帯域干渉の解析を行い、継続時間が LPF 特性と干渉信号電力に依存することを示した[1]。本文では、広帯域干渉継続時間を実験により評価し、解析結果と比較したので報告する。

2. LPF 特性を考慮した広帯域干渉の概要

鋸波変調を用いる 2 つの FMCW レーダ間の干渉を考える。掃引周波数を Δf 、希望信号の掃引時間を T 、干渉信号の掃引時間を nT 、FMCW レーダで用いる LPF が帯域 f_{LPF} の理想フィルタの場合、干渉継続時間 T_I は次式で与えられる。

$$T_I = \frac{2T \cdot f_{LPF}}{\Delta f} \cdot \left| \frac{n}{n-1} \right| \quad (1)$$

しかし、実際の FMCW レーダでは LPF にバターワースフィルタ等が使用される。LPF に 3dB 帯域 f_{LPF} の N 次のバターワースフィルタを仮定し、希望信号の電力を P_D 、干渉信号の電力を P_I とし、干渉ビート信号のレベルが $\sqrt{AP_D}$ より大きい場合を干渉とすると、広帯域干渉継続時間は次式で与えられることが報告されている。ただし、 $n \neq 1$ である。

$$T_I = \frac{2T \cdot f_{LPF}}{\Delta f} \cdot \left| \frac{n}{n-1} \right| \cdot \sqrt[2N]{\frac{P_I}{AP_D} - 1} \quad (2)$$

干渉電力 P_I が大きく、LPF のフィルタ次数 N が小さくなると、と 3dB 帯域 f_{LPF} に依存することがわかる。干渉信号が CW の場合は、 n が ∞ となり、 T_I は次式で与えられる。

$$T_I = \frac{2T \cdot f_{LPF}}{\Delta f} \cdot \sqrt[2N]{\frac{P_I}{AP_D} - 1} \quad (3)$$

3. 実験概要

2. で述べた広帯域干渉継続時間の解析の妥当性を確認するため、24GHz 帯の FMCW レーダを用いて実験を行った。実験にはサクラテック(株)の miRadar8-EV2 評価キットを用いた。実験に使用した FMCW レーダの主要パラメータを表 1 に示す。中心周波数は 24.15[GHz]、掃引周波数幅は 200[MHz]、掃引時間は 350[μ s]、LPF の 3dB 帯域幅は 280kHz である。

実験は観測レーダの出力レベルを -4dBm とし、干渉レーダ送信電力を可変して干渉信号電力 P_I を、観測レーダとターゲットとの距離を可変して希望信号電力 P_D を設定し、UD 比である P_I/P_D を設定した。実験系の構成を図 1 に示す。 P_D はターゲットからの反射信号の受信電力であり、直接測定できない。ここで、観測レーダ・ターゲット間距離を d_1 、観測レーダ・干渉レーダ間距離を d_2 とする。送信アンテナ利得 G_T と受信アンテナ利得 G_R は観測レーダと干渉レーダは同一で、干渉レーダ送信電力を P_{T1} 、観測レーダ送信電力を P_{T2} 、ターゲットの散乱断面積を σ とすると、UD 比は次式で与えられる。

$$\frac{P_I}{P_D} = \frac{P_{T1}}{P_{T2}} \cdot \frac{4\pi}{\sigma} \left(\frac{d_1^2}{d_2^2} \right)^2 \quad (4)$$

干渉信号は CW(Continuous Wave)とし、干渉信号の送信電力 $P_{T1} = -4, +2, +8$ [dBm]、観測レーダの送信電力 $P_{T2} = -4$ [dBm]、

$d_1 = 10, 15, 25$ [m]、 $d_2 = 15$ m として、LPF 出力のビート信号を観測し、干渉継続時間を測定した。なお、干渉の閾値パラメータ $A=5$ とした。ターゲットの散乱断面積 σ は 10[dBsm] である。

4. 実験結果

UD 比に対する干渉継続時間の測定結果を図 2 に示す。UD 比は式(4)より測定した。また、UD 比に対する干渉継続時間の理論値を併せて示す。LPF はバターワースフィルタと仮定し、次数 $N=2, 3, 4, 5$ の場合の干渉継続時間の計算値を併せて示した。図よりわかるように、UDR が大きくなると干渉継続時間が長くなり、 $N=3$ の場合の計算結果と概ね一致していることがわかる。

5. まとめ

実験により、UD 比に対する干渉継続時間を測定し、広帯域干渉の解析結果が概ね一致することを示した。これより、文献[1]の解析が、広帯域干渉継続時間の解析に有用であることを示した。

<参考文献>

- [1] 梅比良正弘, 王瀟岩, 武田茂樹 ”FMCW レーダにおける LPF 特性を考慮した広帯域干渉の解析”, 電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 2019 年 9 月

表 1 実験のパラメータ

パラメータ	値
掃引帯域幅(観測レーダ) Δf	350[MHz]
掃引時間(観測レーダ) T	350[μ s]
中心周波数(観測レーダ) f_c	24.15[GHz]
サンプリング周波数 f_s	1.8[MHz]
FFT サイズ	512

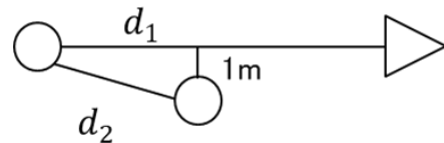


図 1 実験系

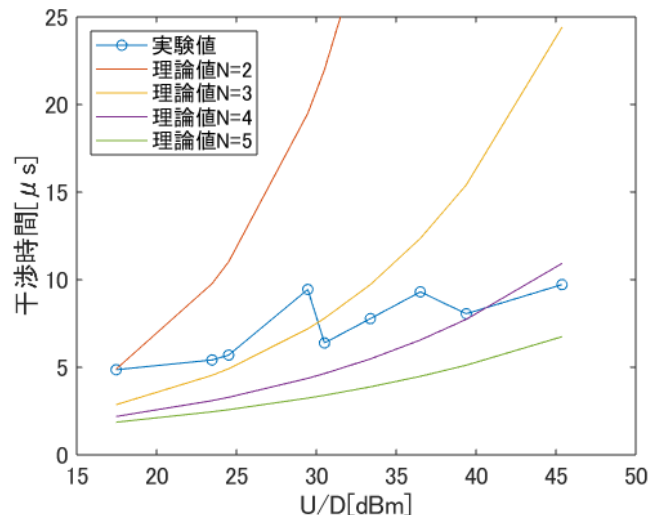


図 2 UD 比に対する干渉継続時間の測定結果