

## 狭帯域干渉回避のための FMCW レーダ信号検出法の評価実験

## A-14 Experimental Performance Evaluation of FMCW radar signals to Avoid Narrow-band Interference

石川慎太郎<sup>†</sup> 黒澤 幹寛<sup>††</sup> 王 瀟岩<sup>†</sup> 梅比良正弘<sup>†</sup>Shintaro ISHIKAWA<sup>†</sup> Mikihiro KUROSAWA<sup>††</sup> Xiaoyan WANG<sup>†</sup> Masahiro UMEHIRA<sup>†</sup><sup>†</sup> 茨城大学工学部<sup>††</sup> 茨城大学大学院理工学研究科<sup>†</sup>Faculty of Engineering, Ibaraki University <sup>††</sup>Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

## 1. はじめに

ミリ波 FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) レーダは距離と速度を同時に測定でき、環境性能に優れるため車載レーダに広く用いられている。高度運転支援システムや自動運転の普及により、将来、高密度でレーダが利用されると、レーダ間干渉が問題になる[1]。一般に、狭帯域干渉は発生確率が低いとされているが、近年、注目されている Fast Chirp FMCW レーダは、掃引周期を短くするため、本文で述べるように狭帯域干渉の発生確率が増加し、その回避方法の検討が必要となる。狭帯域干渉を回避するには、干渉が発生しない条件で送信するため、送信前に他の FMCW レーダ信号が周波数  $f_s$  を送信中のタイミングを検出する必要がある。本文では、本研究室で提案している狭帯域干渉回避のための FMCW レーダ信号検出法の実現性を実験により評価した。

## 2. Fast Chirp レーダにおける狭帯域干渉

全ての FMCW レーダが同じチャープ率  $CR$  (Hz/s) と周波数掃引幅  $B$  (Hz)、LPF (Low Pass Filter) の帯域幅  $f_{LPF}$  (Hz) を持つ場合、レーダ間干渉により発生するビート信号の周波数が  $f_{LPF}$  より大きければ狭帯域干渉は発生しない。したがって、掃引周期  $T$  をビート信号の周波数が LPF の帯域  $f_{LPF}$  より大きくなる  $\Delta T$  だけシフトすればよい。 $\Delta T$  は次式で与えられる。

$$\Delta T > f_{LPF}/CR \quad (1)$$

狭帯域干渉はビート信号の周波数が  $f_{LPF}$  より小さくなると発生するため、その発生確率  $P$  は次式で与えられる。

$$P = 2f_{LPF}/B \quad (2)$$

Fast Chirp レーダでは掃引周期を短くするため  $CR$  が大きくなり、 $f_{LPF}$  も大きくなるため狭帯域干渉発生確率が大きくなる。

## 3. FMCW レーダ信号検出法

図 1 に提案する FMCW レーダ検出方式の構成を示す[2]。FMCW レーダでは測定中は PLL (Phase Lock Loop) の発振周波数を掃引するが、FMCW レーダ検出時には、これを一定周波数  $f_s$  とし、ビート周波数が  $f_{LPF}$  より小さくなる FMCW レーダ信号の有無を検出する。送信中の FMCW レーダが存在しない場合はレーダ信号を送信可とし、送信 FMCW レーダが存在する場合は送信を待機する。干渉 FMCW レーダ信号の送信周波数が  $f_s$  近傍になると、ビート周波数が  $f_s - f_{LPF} < f < f_s + f_{LPF}$  で変化するインパルス状の信号が発生するため、このタイミングを検出する。LPF 出力のビート信号の時系列データを  $m(n)$  とすると、その絶対値  $|m(n)|$  が予め定めた閾値より大きくなることでビート信号の存在を検出でき、その継続時間  $T$  は次式で与えられる。

$$T = 2f_{LPF}/CR \quad (3)$$

LPF 出力をサンプリング周波数  $f_{samp}$  で A/D 変換すると、サンプル数は  $T \cdot f_{samp}$  となる。この A/D 変換した振幅は一定ではないため、多数決判定フィルタにより、連続する  $M$  個 (奇数) の絶対値  $|m(n-M+1)| \sim |m(n)|$  を求め、閾値を超えた個数が過半数以上の場合に FMCW 信号を検出したと判定する。

## 4. 特性評価

提案する FMCW レーダ信号検出法の実現性を確認するため、市販の 24GHz 帯 FMCW レーダを使用して実験を行った。主なパラメータを表 1 に示す。実験では、観測レーダ信号と干渉レーダ信号のパラメータは同一とし、888 回の試行測定を行い、その測定データを用いてレーダ信号の不検出率と誤検出率を評価した。不検出率を評価するための時間窓  $W$  を図 2 に示す。A/D 変換時の振幅は一定とならず、時間揺らぎもあるため、これによる誤検出が発生しないよう十分な時間窓を設定する必要があり、ここでは  $W=29.4(\mu s)$  とした。閾値は雑音のみの場合に、ASK 非同期検波で 0 から 1 に誤る確率が 0.01% になるよう設定した。

多数決判定フィルタ長  $M$  に対する不検出率、誤検出率を図 3 に示す。 $M$  を大きくすると不検出率が増加し、誤検出率は低下する。 $M=1$  は  $M=3$  より誤検出率が大きく、 $M=3$  が最適である。

## 4. まとめ

狭帯域干渉回避のための FMCW レーダ信号検出法の実現性を実験により確認し、レーダ信号の検出特性を評価した。

<謝辞>

本研究開発は総務省 SCOPE (受付番号 175003004) の委託を受けたものです。

<参考文献>

[1] M. Goppelt, H.-L. Blöcher and W. Menzell, "Analytical investigation of mutual interference between automotive FMCW radar sensors", Microwave Conference (GeMIC), 2011 German, pp.1-4.

[2] 黒澤幹寛 他, "マルチプルアクセス FMCW レーダにおけるキャリアセンス方式の一検討," 信学会総合大会 2018.3 発表予定.

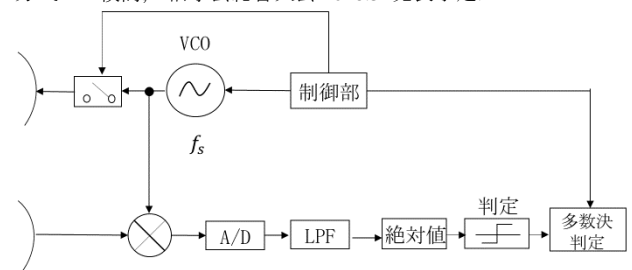


図 1 FMCW レーダ検出方式の構成

表 1 実験パラメータ

パラメータ	値
掃引周波数	200 [MHz]
中心周波数	24.15 [GHz]
掃引時間	350 [ $\mu s$ ]
サンプリング周波数	1.8 [MHz]
FFT サイズ	512

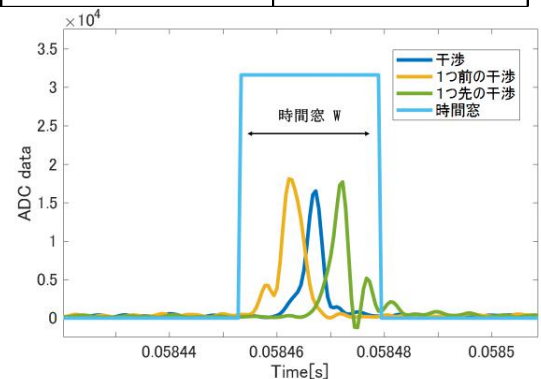


図 2 時間窓の設定

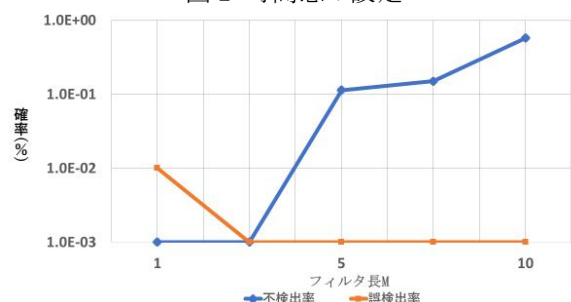


図 3 フィルタ長と不検出率、誤検出率