

# CSMA FMCW レーダにおけるセンシング周波数のランダム化による狭帯域干渉回避特性改善法

## A-14 Narrow band Interference Avoidance Improvement by Randomized Sensing Frequency in CSMA FMCW radar

安面 大樹<sup>†</sup> 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>

Daiki ANMEN<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. 序論

将来、自動運転の普及などにより多数の車載用ミリ波 FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) レーダが高密度に利用されると、レーダ間干渉が問題になる。干渉信号を対象物として誤検出する狭帯域干渉を回避するため、筆者らは、送信前にキャリアセンスを行い、干渉が発生しないタイミングで送信を開始する、パケットベースの CSMA FMCW レーダを提案している。従来方式では、キャリアセンスタイミングで、他の FMCW レーダ信号が周波数  $f_s$  を送信中であるか否かを検出しているが、レーダ信号の生起率が大きくなると狭帯域干渉発生確率が大きくなる [1]。本文では、CSMA FMCW レーダにおけるセンシング周波数のランダム化による狭帯域干渉回避特性改善法を提案し、有効性を明らかにする。

### 2. CSMA FMCW レーダの原理

干渉回避には、送信前に、キャリアセンスタイミングで干渉レーダが送信中か否かを検出し、狭帯域干渉が発生しない送信タイミングで送信する。具体的には、送信停止中にキャリアセンスタイミング  $t_0$  において、センシング時間  $2\Delta t$  中にセンシング周波数  $f_s$  が送信されているか否かを検出する [1]。周波数  $f_s$  が送信されていない場合はチャネルアイドルと判定し、次式の送信開始タイミング  $t_s$  で送信を開始する。

$$t_s = t_0 - \Delta t + \frac{f_{max} - f_s}{CR} \quad (1)$$

なお、 $f_{max}$  は送信終了周波数、 $f_s$  はセンシング周波数、 $CR$  はチャープ率である。チャネルビジーの場合は、ランダム時間待機し、再度キャリアセンスを行う。 $\Delta t$  は狭帯域干渉が発生しない送信タイミング差で、FMCW レーダの低域通過フィルタの帯域幅を  $f_{LPF}$  とすると  $\Delta t = f_{LPF}/CR$  で与えられる。

### 3. 狭帯域干渉回避特性改善法

従来方式では、レーダ信号の生起率が大きくなると狭帯域干渉発生確率が大きくなる。これは、キャリアセンスをチャープ周期に 1 回行うが、にキャリアセンスタイミングが  $t_0 \pm \Delta t$  で、同時にキャリアセンスを行うと、同時に  $\pm \Delta t$  の誤差でレーダ信号を送信するためである。これを改善するために、本文では、センシング周波数のランダム化による狭帯域干渉回避特性改善法を提案する。

提案方式の原理をレーダ 2 台の場合で説明する。レーダ 2 台のレーダが異なるセンシング周波数  $f_{s1}$ 、 $f_{s2}$  を持つ場合を考える。キャリアセンスタイミングが  $t_{01}$ 、 $t_{02}$  でチャネルアイドルと判定すると、送信タイミング  $t_{s1}$ 、 $t_{s2}$  は次式となる。

$$t_{s1} = t_{01} + \frac{f_{max} - f_{s1}}{CR} \quad (2)$$

$$t_{s2} = t_{02} + \frac{f_{max} - f_{s2}}{CR} \quad (3)$$

この場合、 $|t_{s1} - t_{s2}| < \Delta t$  となると狭帯域干渉が発生するが、センシング周波数  $f_{s1}$ 、 $f_{s2}$  が異なる場合は、キャリアセンスタイミング  $t_{01}$ 、 $t_{02}$  も異なることになる。そこで、チャネルアイドルとなると、キャリアセンス終了からレーダ信号を予約信号として送信を開始する。この場合、センシング周波数の低いほうが先に送信を開始することになるため、センシング周波数の高いほうでは、予約信号であるレーダ信号を検出可能となり、狭帯域干渉を回避できる。

### 4. 特性評価

提案方式の有効性を確認するため、表 1 のシミュレーションパラメータを用いて狭帯域干渉発生確率を評価した。センシング周波数を二種類用意し、周波数差をパラメータとした時の生起率に対する狭帯域干渉発生確率のシミュレーション結果を図 1 に示す。2 つのセンシング周波数  $f_{s1}$ 、 $f_{s2}$  の差が大きいほど狭帯域干渉発生確率が改善できていることがわかる。

センシング周波数の数をパラメータとした時の生起率に対する狭帯域干渉発生確率のシミュレーション結果を図 2 に示す。帯域を均等に分割してセンシング周波数を設定し、センシング周波数をランダムに選択する。センシング周波数の数が増加すると狭帯域干渉発生確率が改善されていることがわかる。9 以上にしても改善効果は小さいが、これはシミュレーションで台数が 10 台であるためと考えられる。

### 5. 結論

センシング周波数のランダム化による狭帯域干渉回避特性改善法を提案し、有効性を明らかにした。

<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] 黒澤幹寛 他, “マルチプルアクセス FMCW レーダにおける狭帯域干渉改善効果”, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2018 年 9 月.

表 1 シミュレーションパラメータ

項目	表記	パラメータ
掃引周波数	$\Delta f$	3[GHz]
掃引時間	$T$	100[ $\mu$ s]
LPF通過帯域	$f_{LPF}$	40[MHz]
サンプリング周波数	$f_{samp}$	100[MHz]
センシング時間	$\Delta t = 2f_{LPF}/CR$	5.33[ $\mu$ s]
試行回数	$f_s = \Delta f/2$	10000[回]
台数		10[台]

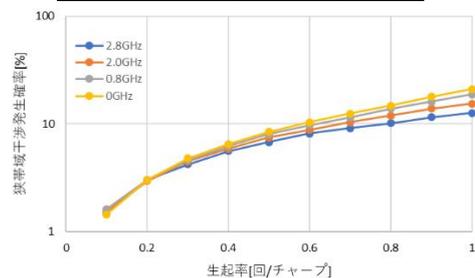


図 1 2 つのセンシング周波数  $f_{s1}$ 、 $f_{s2}$  の差の変更

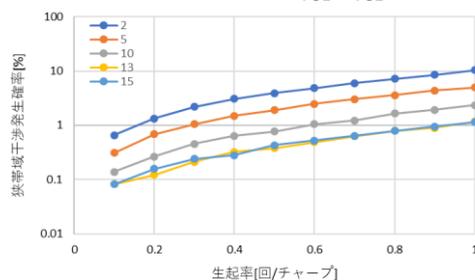


図 2 センシング周波数  $f_s$  のランダム化と予約信号