

# チャープシーケンスレーダにおける広帯域干渉の実験による評価

2018SC053 宮本輝一郎

指導教員：梅比良正弘

## 1 まえがき

近年、交通事故の低減や運転の負荷の軽減のため、ADAS (Advanced driver-assistance systems) や自動運転が注目されており、外界認識をするセンサーの一つとして、レーダが用いられる。レーダは電波を放射してターゲットからの反射信号により、対象物の検出し、距離・速度を計測する。将来、自動運転や ADAS が普及すると、同一時間・同一場所で使用されるレーダの数が増加し、レーダ間の干渉が問題となると予想される。本研究では、チャープシーケンスレーダにおける広帯域干渉を実験により評価した。

## 2 チャープシーケンスレーダの原理

チャープシーケンスレーダは一方向の鋸波変調を用いたチャープ信号を複数連続して送信する。図 1 にチャープシーケンスレーダの送受信信号の時間に対する周波数を示す。

チャープ信号の掃引時間を  $\Delta T$ 、掃引周波数幅を  $\Delta f$  とし、ターゲットから反射して受信される信号の遅延時間を  $\tau$  とすると、ビート信号が得られ、ビート周波数  $f_B$  は次式で与えられる。

$$f_B = \tau \frac{\Delta f}{\Delta T} \quad (1)$$

ビート信号の周波数スペクトラムのピーク検出を行い、 $f_B$  を検出する。(1)式より、 $f_B$  から  $\tau$  が求められ、光速を  $c$  とした際の距離  $R$  は(2)式で求められる。

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

## 3 CS レーダにおける広帯域干渉について

広帯域干渉は希望レーダ信号と干渉レーダ信号のチャープ率の異なるレーダ間で発生し、干渉信号はターゲットからの反射信号である希望信号より受信レベルが極めて大きくなる。

図 2 に広帯域干渉の時間に対するビート周波数を示す。希望レーダ信号と干渉レーダ信号の掃引周波数幅を同一として  $\Delta f$ 、のチャープ周期をそれぞれ  $T_U, T'_U$  とすると、チャープ率は  $\frac{\Delta f}{T_U} t, \frac{\Delta f}{T'_U} t$  となる。この時、干渉信号により発生するビート信号の周波数  $f_{BI}$  は(3)式で与えられる。

$$f_{BI}(t) = \left| \frac{\Delta f}{T_U} t - \frac{\Delta f}{T'_U} t \right| \quad (3)$$

干渉信号の周波数  $f_{BI}$  が LPF 通過帯域  $f_{LPP}$  より小さくなる期間に、希望信号と比べて大きなレベルの信号が発生する。この干渉信号の継続時間  $T_I$  は、 $f_{BI} < f_{LPP}$  となる不等

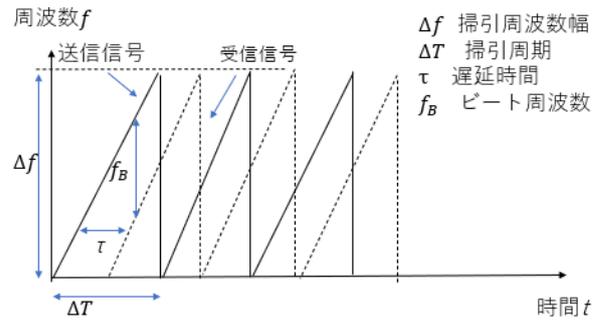


図 1 チャープシーケンスレーダの送受信信号

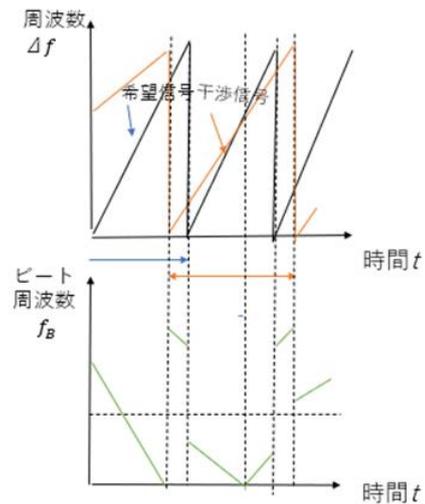


図 2 広帯域干渉のビート周波数

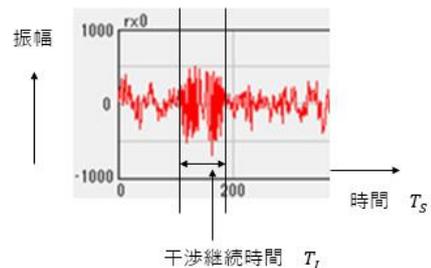


図 3 広帯域干渉の測定例

式を  $t$  について解くと次式で与えられる。

$$T_I = 2 \left| \frac{f_{LPP} T_U T'_U}{\Delta f T_U - T'_U} \right| \quad (4)$$

これより、広帯域干渉は周波数が  $-f_{LPP}$  から  $f_{LPP}$  まで変わる干渉継続時間  $T_I$  の信号であることがわかる。

図 3 に広帯域干渉の測定例を示す。図よりわかるように、希望信号のビート信号に加えて、干渉継続時間  $T_I$  で大きなレベルの干渉信号が発生していることがわかる。広帯域干渉をフーリエ変換すると、周波数スペクトラムでは周波数が  $0 \sim f_{LPP}$  において干渉により雑音電力が増加し、

電力は干渉継続時間に比例する。

#### 4 広帯域干渉の評価実験

チャープ率が異なる干渉レーダ信号により発生する広帯域干渉の干渉継続時間 $T_I$ を実験により評価し、(4)の計算値と比較した。

実験ではサクラテック製の 76/79GHz 帯 FMCW (Frequency Modulation Continuous Wave)レーダを用いた。送信 2 アンテナ, 受信 4 アンテナの MIMO (Multiple Input Multiple Output)レーダとなっており, 掃引周期, 掃引周波数幅, チャープシーケンス数をソフトウェアによって設定, 変更することができる。また, 外部からのトリガ信号により, 送信タイミングを制御でき, 実験において意図的に干渉を発生させることができる。

広帯域干渉の実験系を図 4 に示す。複数の干渉レーダを測定レーダの前に配置し, 測定レーダはターゲットからの反射信号と干渉信号を受信する。干渉信号の計測を容易にするため, 本実験では測定レーダと干渉レーダの掃引周期は同一とし, 干渉レーダの掃引周波数幅を変更し, 外部からトリガ信号を入れて, 掃引ごとに毎回広帯域干渉を発生させた。この時, 干渉継続時間 $T_I$ は次式で与えられる。

$$T_I = 2 \left| \frac{f_{LPF} \cdot T_U}{\Delta f - \Delta f'} \right| \quad (5)$$

$f_{LPF}$  は LPF の周波数で帯域幅はサンプリング周波数  $f_s$  の 1/2,  $T_U$  は掃引周期,  $\Delta f$  は測定レーダの掃引周波数幅,  $\Delta f'$  は干渉レーダの掃引周波数幅である。実験では, 干渉レーダの台数は 1 台とした。

図 5 に実験による広帯域干渉の測定例を示す。ここではサンプリング周期  $T_S$  で正規化した時間で, サンプリング周波数  $f_s=26.66\text{MHz}$  であるので  $T_S=37.5\text{ns}$  となる。図より, わかるように干渉レーダの掃引周波数幅 $\Delta f'$ が小さくなると, 干渉継続時間  $T_I$  が小さくなるのがわかる。

図 5 の実験結果に基づく干渉継続時間  $T_I$  の測定値と計算値の比較を表 1 に示す。表には測定レーダと干渉レーダの掃引周期と掃引周波数幅も併せて示した。干渉継続時間  $T_I$  の測定値と計算値はよく一致している。

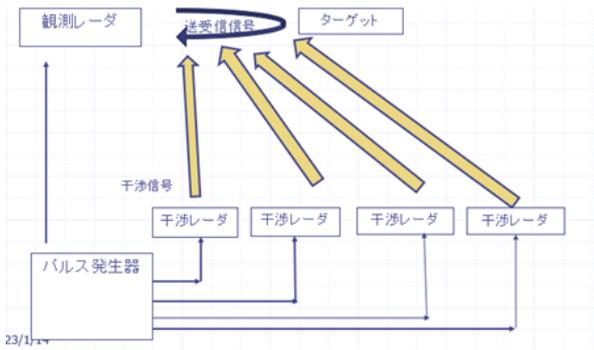


図 4 干渉評価実験の構成

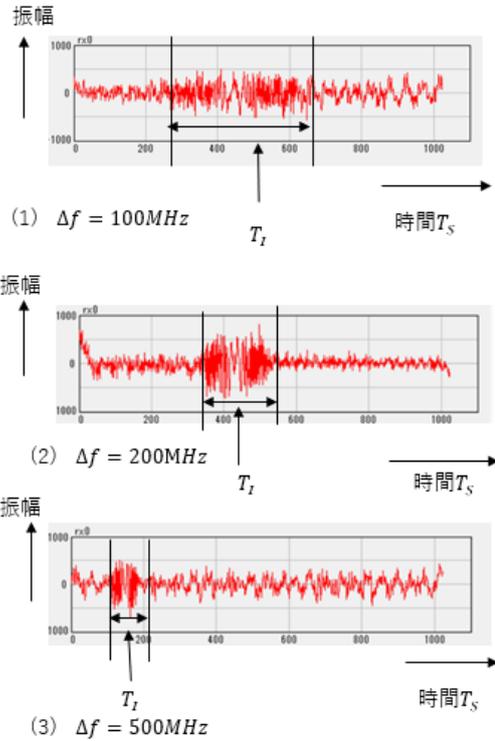


図 5 実験による広帯域干渉の測定例

表 1 干渉継続時間 $T_I$ の測定値と計算値の比較

	(1)	(2)	(3)
掃引周期 $\Delta T$	50 $\mu\text{s}$	50 $\mu\text{s}$	50 $\mu\text{s}$
測定レーダの掃引周波数幅 $\Delta f$	1000MHz	2000MHz	1000MHz
干渉レーダの掃引周波数幅 $\Delta f'$	900MHz	1800MHz	500MHz
$T_I$ の計算値	13.33 $\mu\text{s}$	6.665 $\mu\text{s}$	2.666 $\mu\text{s}$
$T_I$ の測定値	13.329 $\mu\text{s}$	6.664 $\mu\text{s}$	2.665 $\mu\text{s}$

#### 5. まとめ

本研究では, チャープシーケンスレーダにおける広帯域干渉の干渉継続時間を実験により評価し, 干渉継続時間の測定値は計算結果と一致することを示した。これにより, 広帯域干渉継続時間は干渉レーダの掃引周波数幅と掃引時間が与えられると計算でき, 複数レーダの場合の干渉継続時間も計算可能となる。

#### 参考文献

- [1] 志村 拓人, 梅比良 正弘, 渡邊 祐, 王 瀟岩, 武田 茂樹, “包絡線検出とソーティングによる干渉検出閾値制御を用いた FMCW レーダ用広帯域干渉抑圧法,” 信学技報, 2021 年 12 月, pp188~194.
- [2] 牧野 祐也, “自動車用 FMCW レーダにおけるレーダ間干渉の解析と評価,” 茨城大学大学院 理工学研究科 修士論文, 2019 年 2 月.