

## FMSK 方式の 24GHz 車載レーダへの適用

### Experimental study on Multiple Frequency Shifted Keying for 24GHz Automotive Radar

廣川 裕祐 稲葉 敬之  
Yusuke Hirokawa Takayuki Inaba

電気通信大学 電子工学科  
Department of Electronic Engineering, The University of Electro-Communications.

#### 1. まえがき

現行の車載レーダセンサには FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave)方式が多く採用されている。しかし、FMCW 方式は複数目標環境下での距離・速度推定において、up 掃引と down 掃引時の検知ビート周波数のペアリング操作が課題とされている。この課題解決の一方法として、二つの Step-chirp を送信する FMSK (Frequency Modulated Shift Keying)方式が提案されている[1]。FMSK 方式は、検知ビート周波数とその検知ビート周波数の位相差から目標を導出するため、ペアリング操作を行うことなく目標距離と速度を導出可能である。本稿では FMSK 方式を採用し、遠距離車載レーダセンサ用途を想定したパラメータにて、複数目標環境下での距離・速度推定実験を行う。

#### 2. FMSK方式

FMSK 方式の送信シーケンスを図 1 に示す。FMCW 方式の up 掃引に対し、ステップ状に周波数が増加する CW 波を Step-Chirp と呼ぶ。FMSK 方式では、初期周波数が fstep だけ異なる 2 つの Step-Chirp の各 CW 波を交互に送信する(図 1)。目標からの反射波を各 CW 波でミキシングしビート信号が得られる。各 Step-Chirp 毎の周波数 Step 方向のビート信号をフーリエ変換することで式(2.1)のビート周波数 fbeat を得る。ここで同一目標から得られる fbeat は、二つの Step-Chirp で同じ周波数となる。一方、各 Step-Chirp で検出されたビート周波数信号の位相差  $\Delta\phi$  は式(2.2)で表わされる。

$$f_{beat} = -\frac{2B}{c \cdot T_c} \cdot R - \frac{2f_0}{c} \cdot v \quad (2.1)$$

$$\Delta\phi = -2\pi \left( \frac{2f_{step}}{c} \cdot R + \frac{2T_c \cdot f_0}{c \cdot (M-1)} \cdot v \right) \quad (2.2)$$

ここで、搬送波  $f_0$ 、光速  $c$ 、目標の相対速度  $v$ 、距離  $R$  である。

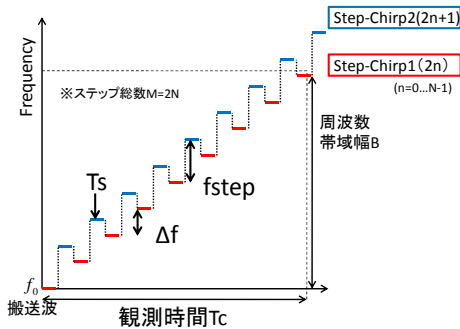


図 1 FMSK 方式の送信シーケンス

#### 3. FMSK方式の実験

24GHz 特定小電力無線局規格に準拠し、かつ遠距離車載レーダに求められる距離・速度範囲を想定して、表 1 に示すパラメータを採用した。Step-Chirp1 時のフーリエ変換の出力結果を図 2 に、距離・速度の推定結果を図 3 に示す。図 3 より、FMSK 方式は、FMCW 方式で課題となるペアリング誤作動なく移動目標(4km/h で往復運動)と静止目標の双方の速度推定が可能であることが確認できる。ここで、静止と移動目標双方の速度と距離推定結果に 50~90cm 程度のバイアス誤差が見られる。これは図 2 に示すように送信波の漏れ込みが大きく、このサイドローブ成分が静止および移動目標スペクトルへ干渉していることが主な原因であると考えられる。一方、オシロスコープの A/D サンプル周波数が 100kHz であるのに対し、オシロスコープの制約から A/D 前 LP(LowPass)フィルタ帯域は 20MHz で

ある。このため雑音レベルが 20dB 以上も増加しているが、ランダム誤差はバイアス誤差に比べ比較的小さいことが分かる。今回、遠距離車載レーダセンサ用途を想定したパラメータを採用し、距離アンビグイティ(位相差=2 $\pi$ )を 188m に設定しているため、90cm のバイアス誤差は位相誤差に換算すると約 1.7deg というわずかなものである。今後、送信漏れ込みの対処、ならびに信号処理による補正法を検討する必要がある。

表 1 レーダパラメータ

搬送波周波数 $f_0$	24GHz
周波数帯域幅 $B$	71MHz
周波数ステップ間隔 $\Delta f$	0.0695MHz
チャープ間隔 $f_{step}$ (距離アンビグイティ)	0.8MHz (188m)
周波数ステップ総数 $M$	2048
1ステップ長 $T_s$	20 $\mu$ s
観測時間 $T_c$ (速度分解能)	40.96ms(0.5km/h)
距離分解能	SN比に依存する
目標数	コーナリフレクタ 2 個
目標設定値 (距離, 速度)	(0.97~2.57m, 4km/h で往復 (4m, 静止))

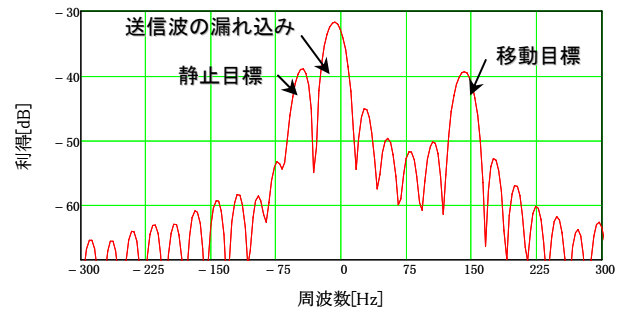


図 2 フーリエ変換の出力結果

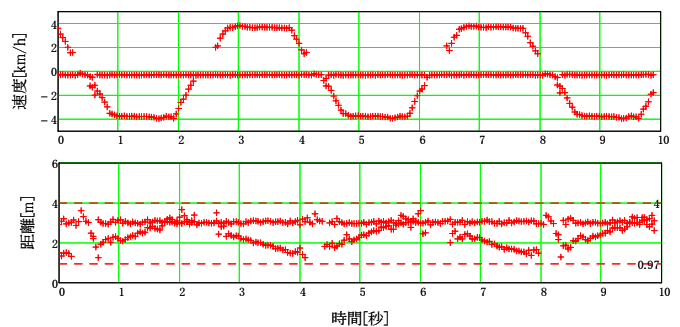


図 3 距離・速度推定結果

#### 4. おわりに

移動目標と静止目標が双方存在する複数目標環境下にて、車載レーダセンサ用途を想定した FMSK 方式における原理検証実験を行なった。FMSK 方式は、FMCW 方式で課題となるペアリング誤作動なく移動目標(4km/h で往復運動)と静止目標の双方の速度推定が可能であることが確認できた。

#### 参考文献

- [1] H. Rohling, F. Folster, M.-M. Meinecke, R. Mende, "A NEW GENERATION OF AUTOMOTIVE RADAR WAVEFORM DESIGN TECHNIQUES," International Conference on Waveform Diversity and Design, Edinburgh, UK, November 2004.