

超広帯域ミリ波レーダを用いたテクスチャ法による 高速加速目標の高精度速度推定

Accurate speed estimation of fast accelerating target using ultra-wideband mm-wave radar with texture method

岸田俊文¹
Toshifumi Kishida

阪本卓也²
Takuya Sakamoto

兵庫県立大学工学部¹
School of Engineering, University of Hyogo

兵庫県立大学大学院工学研究科²
Graduate School of Engineering, University of Hyogo

1 導入

超広帯域レーダは高い距離分解能を持ち、視界不良でも使用することが可能であり、機械操縦における運動目標の検出への応用が期待されている。ミリ波レーダにより得られるドップラー周波数は高周波となり、ナイキスト条件を満たすためには高速なサンプリングが必要となり、システムが高コストとなる。本稿ではナイキスト条件が満たされない加速状態にある高速目標の速度推定を時間周波数解析と近年注目されているテクスチャ法 [1] を併用することで、高精度に実現する手法を提案する。

2 従来の手法による速度推定

中心周波数 79.0 GHz、帯域幅 640.0 MHz のモノスタティックレーダを仮定し、時間 t 、距離 r に対応する受信信号を $s(t, r)$ とし、時間、距離方向のサンプリング間隔を各々 $80.0 \mu\text{s}$ 及び 11.7 cm とする。ナイキスト速度は $v_N = 11.9 \text{ m/s}$ となる。単一の点目標が初速度 $v_0 = 30.7 \text{ m/s}$ 、加速度 300 m/s^2 と v_N を超える速度で運動する場合を想定する。受信信号に短時間フーリエ変換を適用し、スペクトログラム

$$v_{\text{TF}}(t, r) = \underset{v}{\operatorname{argmax}} \left| \int s(\tau, r) w(\tau - t) e^{-j2k v \tau} d\tau \right|^2 \quad (1)$$

が最大となる速度 $v_{\text{TF}}(t, r)$ を得る。ただし、 w は幅 2.4 ms の Hann ウィンドウ、 k は波数である。一方、テクスチャ法による推定速度 v_{tex} では次式に示すとおり信号の位相を用いずに包絡線 $|s(t, r)|$ のみを用いて速度推定するため比較的雑音耐性は低いものの、ナイキスト条件が満たされない場合でも動作する [1]。

$$v_{\text{tex}} = \frac{\partial |s(t, r)| / \partial t}{\partial |s(t, r)| / \partial r} \quad (2)$$

3 提案する速度推定法とその性能検証

ナイキスト条件が満たされない場合に時間周波数解析により推定速度 v_{TF} を求めた場合、真の速度 v_0 との間に $v_0 = v_{\text{TF}} + 2n v_N$ が成り立つ。 n は整数であり、テクスチャ法では $v_0 \simeq v_{\text{tex}}$ が成り立つため、 n の推定値 \hat{n} を

$$\hat{n} = \left\lfloor \frac{v_{\text{tex}} - v_{\text{TF}}}{2v_N} + \frac{1}{2} \right\rfloor \quad (3)$$

と求められる。ここで $\lfloor \cdot \rfloor$ はガウスの記号であり、 \hat{n} により高精度な速度 $v_{\text{prop}} = v_{\text{TF}} + 2\hat{n}v_N$ を得ることができる。

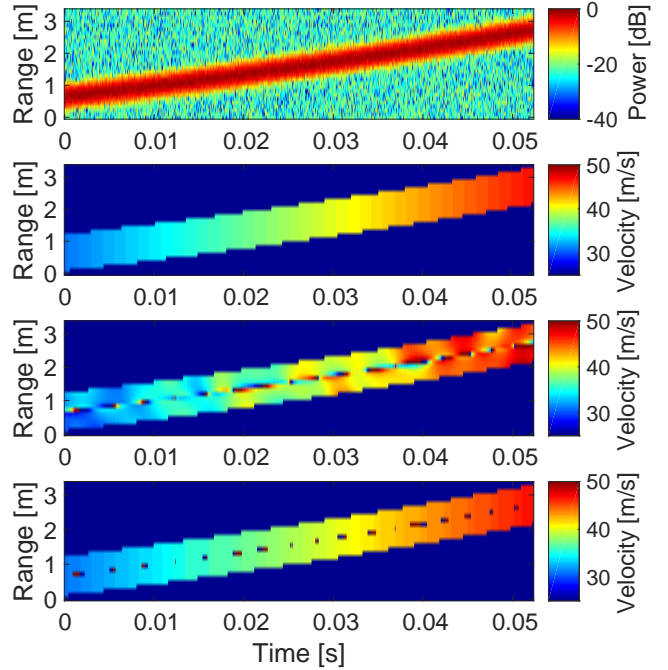


図 1 上から順に信号強度 $|s(t, r)|^2$ 、真の速度 v_0 、従来のテクスチャ法 $v_{\text{tex}}(t, r)$ および提案法 $v_{\text{prop}}(t, r)$ による推定速度

$S/N=20.0 \text{ dB}$ の場合に、テクスチャ法と提案法を適用した推定速度を図 1 に示す。RMS 誤差ではテクスチャ法が $8.2 \times 10^{-1} \text{ m/s}$ 、提案法が $4.4 \times 10^{-2} \text{ m/s}$ となり、提案法により 18 倍の精度で速度推定を行うことが確認された。

謝辞

本研究の一部は兵庫県立大学特別研究助成金、京都大学 SPIRITS プログラム、COI プログラム、科学研究費補助金 基盤研究 (A)25249057・若手研究 (B) 15K18077 及び総務省受託研究 電波資源拡大のための研究開発の助成により実施された。

参考文献

- [1] Sakamoto, et al., IEEE Trans. Geos. Remote Sens., vol. 53, no. 1, pp. 352–361, 2015.