

2周波 CW レーダを用いた列車速度計の開発

Development of Velocity Meter for Rail Cars using 2 Frequency CW Radar

田村 俊徳[†] 山下 遼[†] 秋田 学[†] 稲葉 敬之[†] 坪田 光^{††} 浅野 晃^{††}
 Toshinori Tamura Ryo Yamashita Manabu Akita Takayuki Inaba Hikaru Tsubota Akira Asano

[†]電気通信大学

The University of Electro-Communications

^{††}株式会社京三製作所

Kyosan Electric Manufacturing Co.,Ltd.

1. まえがき

現在、列車速度計は車輪の回転より速度を導出する方法が広く用いられているが、車輪の空転や滑走により誤差が生じ、また低速域に課題があることが報告されている[1]。車輪の空転や滑走に影響されない方法として GPS を用いた速度計測や、CW(Continuous Wave)レーダを用いた速度計測が報告されている[1][2]。GPS を用いた速度計は GPS アンテナ上方に遮蔽物がある環境における速度計測に課題がある [1]。CW レーダを用いた速度計測では、照射した電波がアンテナビーム幅に従い放射状に広がるため、複数位置からの反射が計測される。自車移動時における地面反射によるドップラ周波数は、反射点の位置に依存するため、ビームの広がりが増えるほど誤差要因となりうると思われる。これらの課題に対応するために、測距・測速が可能な2周波 CW レーダを用いて自車速度推定を行う。本稿では2周波 CW レーダを列車に搭載した鉄道環境下における実験結果について報告する。

2. 原理

2周波 CW レーダでは少し離れた2つの周波数を一定の切り替え時間で送信する。受信系では2つの周波数がそれぞれのローカル信号でミキシングされる。2つの周波数の各区間でのサンプリングデータを、それぞれフーリエ変換することでドップラ周波数が求まり、相対速度 V_m が導出される。また距離 R_m はその周波数成分の位相差を用いて求められる。自車移動時に地面反射により計測されるドップラ周波数は、レーダと反射点の位置関係および照射角度に依存する。そこで2周波 CW レーダで得られる距離情報を利用し、反射点の位置により変化するドップラ周波数を補正し、進行方向速度 V_G を得る。レーダと反射点の位置関係を図 1 に示し、速度補正式を式(1)および式(2)に示す。

$$\left(\frac{h}{R_m}\right)^2 + \left(\frac{V_m}{V_G}\right)^2 - 1 \approx \sin^2(\theta_m) + \cos^2(\theta_m) - 1 = 0 \quad (1)$$

$$V_G = \underset{V_G}{\operatorname{argmin}} \left[\sum_m \left\{ \left(\frac{h}{R_m}\right)^2 + \left(\frac{V_m}{V_G}\right)^2 - 1 \right\}^2 \right] \quad (2)$$

3. 実験的検証

GPS 速度計にて計測された速度を参照とし、鉄道環境下にて実験的検証を行った。停止状態から加速する区間の計測結果を図 2、列車が高架下を通る区間を図 3 にそれぞれ示す。

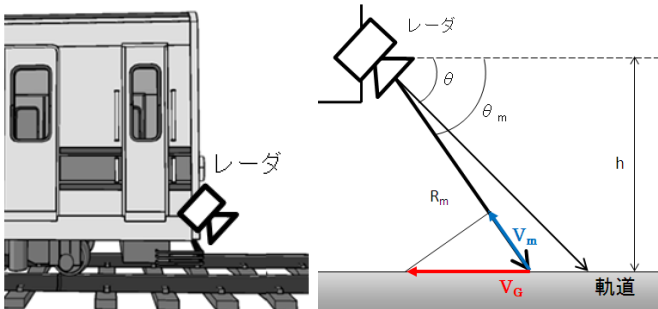


図 1 レーダ設置条件

表 1 レーダパラメータ

項目	仕様/期待性能
搬送周波数 f_0	24.06 GHz
f_1, f_2 の周波数差 Δf	12.75 MHz
周波数切り替え間隔 T_{pri}	50 μ sec
アンテナビーム幅 (エレベーション)	± 7.5 deg
アンテナビーム幅 (アジマス)	± 3.0 deg
観測時間 T_{epi}	307 msec
速度分解能 ΔV	0.073 km/h
速度視野 V_{max}	112.14 km/h
距離視野 R_{max}	11.76 m

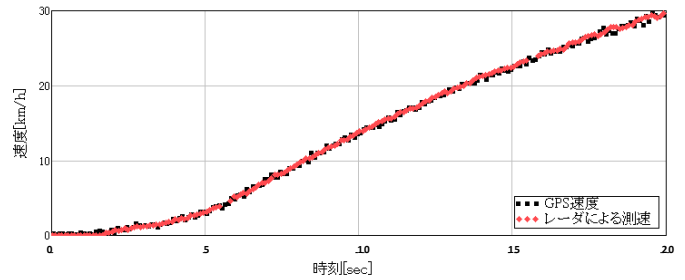


図 2 停止状態から加速する区間

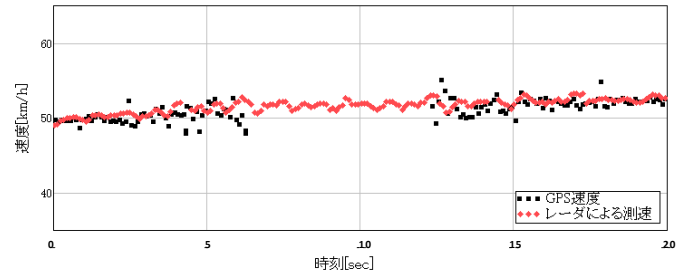


図 3 高架下を通る区間

図 2 より低速域でも速度検知が可能であり、GPS 速度計とレーダによる測速の結果がほぼ一致していることが確認できる。また図 3 に示す列車上方に障害物がある区間においても、2周波 CW レーダによる測速がなされていることが確認される。

4. むすび

2周波 CW レーダを用いた自車速度推定実験を鉄道環境下にて実施した。実験結果より、列車速度計で課題である低速区間および GPS 速度計において課題である上方に障害物がある区間で計測可能であることを確認した。

参考文献

[1]水間毅, 吉永純, 工藤希, 衛星を用いた列車制御・保安システムの開発, 交通安全環境研究所報告, 第 11 号, pp.13-22, 2008.

[2] J. Mladek and J. Townsend, A Doppler Radar Velocity Meter for Agricultural Tractors, IEEE Trans. on Vehicular Technology, vol.VT-27, no.1, pp.24-30, 1978.