

2 周波 CW 方式の着陸レーダへの適用検討

Feasibility study on 2 Frequency CW modulation for Landing Radar

中島大輔 植松大貴 稲葉敬之
Daisuke Nakashima Hiroki Uematsu Takayuki Inaba

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

1. はじめに

レーダの変復調方式の一つに 2 周波 CW 方式があり位相情報から距離計測を行う。このため少ない受信機帯域幅・信号処理速度（すなわち省電力）にて高い距離精度が期待される。この方式を月惑星への着陸船や航空機の着陸最終フェーズに利用する場合、計測対象となる地面は等速複数目標で構成される面目標になり、高度計測に誤差が発生する可能性があると考えられる。本稿では 2 周波 CW 方式の地面に対する高度計測について計算機シミュレーションによりフィジビリティ検討を行う。その結果高度 9m において、サンプリング周波数が 20kHz と低速であるにもかかわらず、誤差標準偏差約 28cm (3.1%) が得られることを確認した。

2. 2 周波 CW 方式での高度推定評価シミュレータ

2 周波 CW 方式は少しだけ離れた二つの周波数を用い、二つの送信周波数に対する受信信号を持つドップラ周波数スペクトルの位相差から距離を求めるという原理に基づいており、極めて狭い周波数帯域で目標の距離・速度検出が可能である。しかしマイクロ波レーダはアンテナビーム幅が広く、レーダ直下以外の地面からの反射波も多数混信した多重環境となる。高度推定誤差シミュレーションにおいて、地面条件は以下のモデルを採用した。

- ・地面反射点の凹凸分布：2.8cm の一様分布
- ・地面反射強度分布：振幅レイリー分布
- ・反射電力の角度依存性： $\text{cosec}(\theta)$ 特性
- ・距離減衰： R^{-4}
- ・地面反射点のメッシュ：一辺 10cm
- ・地面反射点の計算範囲：一辺 10m

3. 高度推定シミュレーション結果

2 周波 CW 方式を用いた面目標に対する性能評価を行うために、以下に示すレーダパラメータ（ノミナル値）を用いて計算機シミュレーションを行った（各試行回数は各 1000 回）。

- ・送信周波数：24GHz
- ・周波数ステップ幅（距離視野）：10MHz（約 15m）
- ・サンプリング周波数：20kHz
- ・周波数切替間隔（最大速度視野）：50 μ s（約 31.2m/s）
- ・観測時間（速度分解能）：51.2ms（約 0.12m/s）
- ・アンテナビーム幅：15~30deg（ $\sin(x)/x$ パターン）

また、レーダの高度、降下速度は以下とした。

- ・レーダ高度：9m、および 3~10m
- ・降下速度：1m/s

なお高度が 9m と近距離であり十分高 S/N が期待されることより受信機雑音は付加していない。

(1) 高度推定結果のバイアス誤差、標準偏差誤差

高度推定結果のヒストグラムを図 1 に示す。図 1 より高度推定値は平均値 9.33m、標準偏差 0.28m である。この結果からビーム幅 30deg において、高度 9m に対し、約 3.7% のバイアス誤差、3.1% の標準偏差誤差が生じることを確認した。

(2) バイアス誤差、標準偏差誤差の高度依存性

レーダ高度を変化させた場合の結果を図 2 に示す。レーダ高度に対しほぼ線形なバイアス誤差・標準偏差誤差となることが分かる。

(3) アンテナビーム幅依存性

結果を図 3 に示す。アンテナビーム幅を狭くすることで、バイアス誤差・標準偏差誤差ともに軽減する。

(4) 周波数切り替え時間、サンプリング周波数依存性

観測時間一定の条件下で、周波数切替間隔が変化した場合の高度推定結果の評価結果を表 1 に示す。周波数切替間隔変化による高度推定結果への影響はほとんど無いこ

とが分かる。このことから 2 周波 CW 方式の特徴である低速な信号処理で、高度推定を行うことが可能であることが確認された。

(5) 同一地面条件において高度変化した場合の評価結果

地面条件（凹凸分布、強度分布）を図 1 において大きな誤差となった値に固定して、高度 10m からレーダが降下した場合の結果を図 4 に示す。その結果、特定の高度に於いて大きな誤差となる場合においても、高度が変化することで継続して大きな誤差となることはないことを確認した。このため、高度推定値に簡単な追尾フィルタを適用した結果を図 4 に示している。スパイク状の誤差が継続しないことより追尾フィルタの適用は有効であると考えられる。

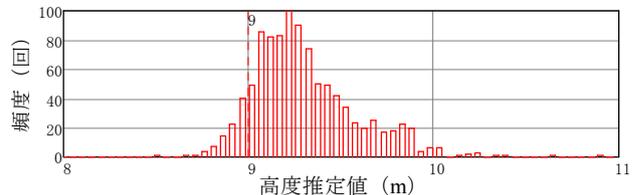


図 1 レーダ高度 9m における高度推定結果のヒストグラム

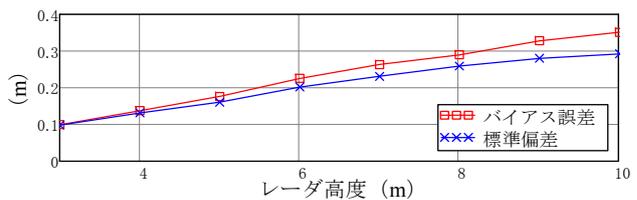


図 2 レーダ高度によるバイアス誤差と標準偏差

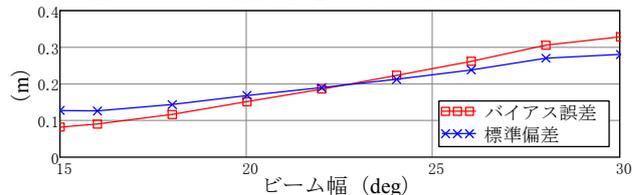


図 3 アンテナビーム幅によるバイアス誤差と標準偏差

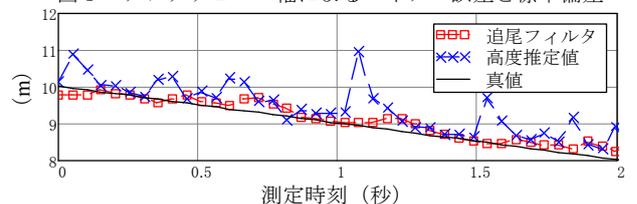


図 4 測定時刻における高度推定結果

表 1 周波数切替間隔変化による高度推定結果

周波数切替間隔 (μ s)	50	25	12.5	6.25
サンプリング周波数 (kHz)	20	40	80	160
平均値 (m)	9.33	9.33	9.33	9.33
標準偏差 (m)	0.28	0.28	0.281	0.281

4. むすび

2 周波 CW 方式の高度推定評価シミュレータを構築し、各種条件にて評価を実施した。その結果 20kHz という低速サンプリングであるにもかかわらず高度に対し 3~4% のバイアス誤差、標準偏差誤差となることを確認した。

参考文献

- [1] 植松大貴, 稲葉敬之: 位相情報を用いる測距法の着陸レーダへの適用, 第 54 回宇宙科学連合講演会, JSASS-2010-4224, Nov2010.