

# 多周波 CW 方式着陸レーダにおける二次元超分解能法による高度推定

## Altitude Estimation of Short Range Landing Radar using Multiple Frequency CW Based on Two Dimensional Super-Resolution method

中島 大輔 稲葉 敬之  
Daisuke Nakashima Takayuki Inaba  
電気通信大学大学院情報理工学研究所

Graduate school of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

### 1. まえがき

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所 (JAXA/ISAS) において、月惑星探査機の着陸誘導時に用いられるマイクロ波パルスドップラ方式着陸レーダの開発が進められている[1]。筆者らは、着陸の最終フェーズである最低高度域でのパルスドップラ方式の課題 (送信パルス立下り漏れ込みと受信波の干渉) を回避可能な一方式として、位相情報を用いる測距法である多周波 CW 方式のフージビリティ検討を実施してきた[2]。

当方式の信号処理は、フーリエ変換処理による速度検知とその出力を用いた一次元超分解能法 (直下とそれ以外の分離) による直下高度推定処理から構成されている。しかし、当方式においても直下以外に強い反射点が存在する場合、フーリエ変換処理においてその反射点からの速度が検知され、結果的に超分解能法での直下高度推定にも誤差が発生する。

本稿は多周波 CW 方式を用いた着陸レーダの誤差低減を図るために、距離・速度二次元超分解能法による高度推定法を提案する。また、計算機シミュレーションにより、フーリエ変換処理と一次元超分解能法を用いた従来法と提案法の高高度推定誤差を比較評価する。

### 2. 距離・速度二次元超分解能を用いた高度推定

反射波に対し距離・速度二次元超分解能法を用い、速度と距離を同時推定することで、従来のフーリエ変換による速度分解能の制約に起因する誤差が軽減されることが期待される。提案する高度推定法の処理ブロック図を図 1 に示す。受信信号に対し多重波環境での超分解能法を用いる前処理として周波数平均処理し相関行列を作成する。距離・速度二次元超分解能法に 2 次元 MUSIC (Multiple Signal Classification) を使用する。まず反射範囲の推定用に 2 次元 MUSIC を行う。得られた MUSIC スペクトルで検出したピークに対して高速度に現れるピークを基準に反射範囲を推定する。次に直下反射波検出用にステアリングベクトルの刻み幅をより細かくし推定した反射範囲に対して 2 次元 MUSIC を行う。得られた MUSIC スペクトルから検出したピークに対して一番近距離に現れるピークを直下反射波として検出する。このピーク値から目標相対速度を導出する。直下高度はピーク値の距離方向推定値に各周波数ステップの時間差と目標相対速度に依存した位相差を補正することで導出する。



図 1 信号処理ブロック図

### 3. 高度推定シミュレーション

提案法による高度推定誤差低減の評価を行うために、計算機シミュレーションを実施した。試行回数は 1000 回とし、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
- ・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

また、レーダの高度、降下速度は以下とした。

- ・レーダ高度: 9m
- ・降下速度: 1m/s

多周波 CW 方式のレーダパラメータと 2 次元 MUSIC のパラメータを以下に示す。なお、送信電力は 10mW に設定し、雑音はレーダ高度に対して S/N=30dB を付加した。

- ・送信周波数: 24.1125GHz
- ・周波数ステップ数: 8
- ・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

- ・周波数切換間隔 (最大速度視野): 50 $\mu$ s (約 7.78m/s)
- ・観測時間 (速度分解能): 102.4ms (約 0.06m/s)
- ・アンテナビーム幅: 30deg (チェビシェフパターン)
- ・速度方法サブアレー数: 8
- ・距離方向サブアレー数: 6

乱数を用いて作成した地面条件の一例における直下高度推定結果を図 1 に示す。図より今回の地面条件では目標からの反射波には 2 つのピークが観測され、直下反射波以外に直下周辺反射波に対応すると考えられる強い反射点が存在したことが分かる。以上から提案法による直下反射波と直下周辺反射波の分離・検出は有効であると考えられる。

統計的評価結果である高度推定ヒストグラムを図 2 (a) に示す。高度推定ヒストグラムから高度推定値は平均値 9.03m、標準偏差 0.07m が得られ、高度 9m に対し約 0.4% のバイアス誤差及び約 0.7% の標準偏差誤差が発生していることが分かる。従来法による高度推定ヒストグラムを図 2 (b) に示す。図より平均値 9.05m、標準偏差 0.12m である。従来法に対して提案法による高度推定値の標準偏差誤差の低減を確認した。

ヒストグラムの分布からレーダ高度に対して大きな推定誤差が出る可能性が予想されるが、レーダ高度が微小にでも変化することにより大きな誤差が継続しないと期待される。

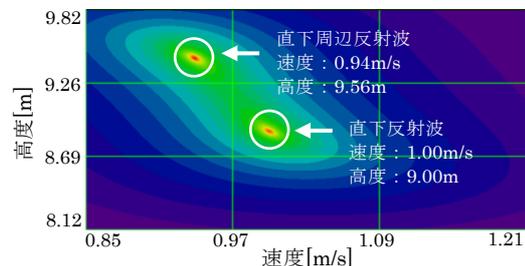


図 2 距離・速度二次元超分解能法による高度推定結果

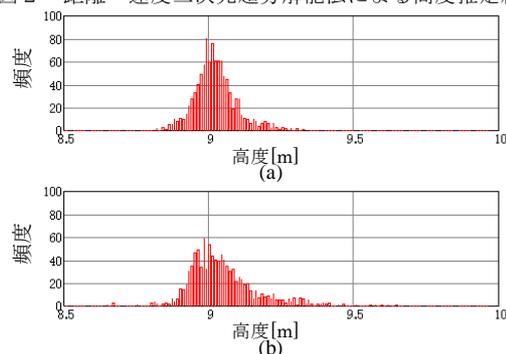


図 3 レーダ高度 9m における高度推定ヒストグラム (a): 距離・速度二次元超分解能法 (b): 一次元超分解能法

### 4. むすび

多周波 CW 方式を用いた着陸レーダの誤差低減を図るために、距離・速度二次元超分解能法による高度推定法を提案し、計算機シミュレーションによる評価を実施した。その結果から従来法に対し高度推定誤差の低減を確認した。

#### 参考文献

- [1] 福田盛介, 水野貴秀, 坂井智彦, 富田秀徳, 石丸元: 月惑星着陸誘導に用いる C バンドパルスレーダの開発, 信学技報, SANE2004-58, Nov.2004.
- [2] 中島大輔, 稲葉敬之, 水野貴秀, 福田盛介: 多周波 CW 方式を用いた近距離着陸レーダのフージビリティ検討, 信学技報, SANE2012-137, Jan.2012.