

目標の運動モデルを用いたスペースデブリレーダの検出感度向上法

A sensitive method of debris detection using motion models for space debris radars

磯田健太郎[†]

Kentaro Isoda

細川匡志[†]

Masashi Hosokawa

阪本卓也[‡]

Takuya Sakamoto

佐藤亨[‡]

Toru Sato

京都大学工学部電気電子工学科[†]

School of Electrical and Electronic Engineering, Kyoto University

京都大学大学院情報学研究所通信情報システム専攻[‡]

Graduate School of Informatics, Kyoto University

1 研究の背景

現在、地球周回衛星軌道上を回る不要物体であるスペースデブリが宇宙環境問題となっている。デブリを詳細に観測し正確な軌道情報を得ることが事故を回避する上で必要不可欠である。このため、日本初のスペースデブリレーダ施設である上斎原スペースガードセンター(KSGC)が建設され昨年より観測を開始している。本稿では同レーダの検出感度向上のための手法を提案し、数値シミュレーション及び実測データを用いて、その性能を明らかにする。

2 運動モデルによるコヒーレント積分

微小デブリを観測する場合、十分な信号対雑音比(SNR)が確保できず、一回のパルス送受信では検出不可可能な場合がある。そこで複数の受信パルスをコヒーレント積分してSNRを改善する必要がある。デブリのように高速で運動する物体では各パルス毎に遅延時間と周波数偏移が異なるため、これらを補正しなければならない。このため、デブリの運動モデルを用いた軌道推定が必要となる。デブリの運動は短期間中には等速直線運動とみなすことができる。デブリの軌道とレーダを含む平面内に座標を取ることで平面内の運動と考えることが可能である。この場合、軌道は3変数 $(r_1, v_d, \phi) = \mathbf{x}$ で表現可能である。但し、 r_1, v_d, ϕ はそれぞれ1パルス目のデブリのレンジ、視線方向速度、運動方向と視線方向のなす角である。この場合、 N パルスを用いて次式の通り軌道決定を最適化問題に帰着することができる。

$$\max_{\mathbf{x}} \sum_{i=1}^N |f_i(t_i) e^{-j\omega_i t_i}|^2 \quad (1)$$

但し、 t_i 及び $\omega_i (i=1, \dots, N)$ は \mathbf{x} により一意に決まる値である。この方法による軌道決定では3つの変数を広範囲に渡って探索せねばならず、現実的でない。

3 パラメータ間の相関を利用した次元縮退による高速軌道決定法

KSGCのレーダでは、送信パルスに線形チャープ変調を行っている。このため、ドップラーシフト推定とレンジ推定の誤差に相関が見られる。このことを利用して軌道決定のためのパラメータ数を減少させ、計算時間を大幅に短くする方法を検討する。ここでは $N=16$ 、 (r_1, v_d, ϕ) の真値はそれぞれ(1000km, 4km/sec, 60deg)とする。 ϕ を真値にした場合の (r_1, v_d) に対する評価関数を図1に示す。フィッティングにより傾きは0.89と求まり、理論

値と一致する。この直線に直交する方向に新たなパラメータ軸を取り、それを u [km/sec]と定義する。これにより u 及び ϕ の2変数最適化へと帰着できる。なぜならば u に直交する方向の真値を与えずとも評価関数の極大値を見つけることが容易だからである。図2に $u-\phi$ 空間での評価関数を示す。同図より、 ϕ 方向の感度が鈍いことがわかる。このため更にパラメータ数を減少させ、 u のみをパラメータとする最適化が可能である。この理由は $N=16$ が0.16secに相当し、デブリの運動に対して十分短いため、視線方向の等速直線運動でモデル化可能であるためである。このため、より高速な探索が可能となる。

4 まとめ

デブリの運動モデルを用いて、微小デブリの軌道を高速に決定する手法を提案した。コヒーレント積分時間が短い場合には、パラメータを1次元に縮退させることができ、高速な探索が可能となることを示した。

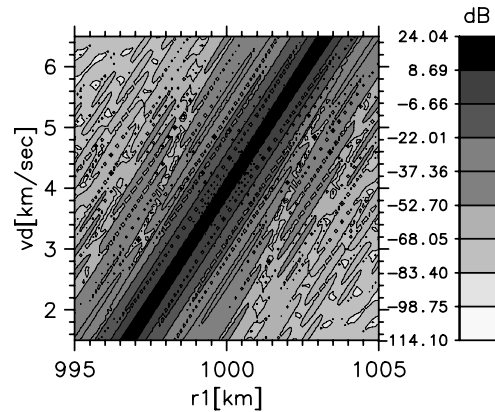


図1 $r_1 - v_d$ 空間での評価関数 (ϕ は真値)

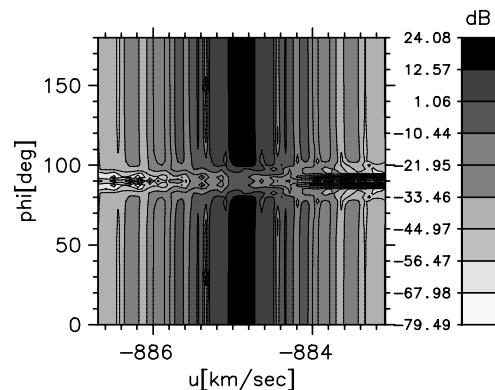


図2 $u - \phi$ 空間での評価関数