

評価関数の準周期性を利用したスペースデブリレーダのための高速軌道推定法

A fast orbit estimation algorithm for a space debris radar using the quasi-periodicity of the evaluation function

磯田健太郎[†]
Kentaro Isoda

阪本卓也[‡]
Takuya Sakamoto

佐藤亨[†]
Toru Sato

京都大学大学院情報学研究科通信情報システム専攻[†]
Graduate School of Informatics, Kyoto University

京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻[‡]

1 はじめに

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により宇宙開発における衝突事故が懸念されている。デブリ観測のための上斎原スペースガードセンター(KSGC)のスペースデブリレーダが注目されており、微弱エコーからのデブリ検出法が開発されている [1]。本稿では検出されたデブリの軌道推定法を提案する。

2 評価関数の準周期性

デブリの軌道を等速直線運動と近似し、デブリの軌道とアンテナを含む平面内で座標系を考える。このときデブリの軌道は3変数 $(r_1, v_d, \phi) = x$ 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。複数パルスに対してコヒーレント積分を行い、その電力が最大となる軌道パラメータ x を探索することで、デブリの軌道決定を最適化問題に帰着できる。式 (1) に評価式を示す。

$$\max_x \left| \sum_{i=1}^N \{r_i(t_i) * h'_i(t_i)\} e^{-j(\omega_i t_i - \theta_i)} \right|^2 \quad (1)$$

但し $r_i(t), h'_i(t)$ はそれぞれ i パルス目の受信信号、ドップラー偏移を考慮した統合フィルタであり、 $t_i, \omega_i, \theta_i (i = 1, \dots, N)$ は x により一意に決まる値である。本稿では送信波は線形チャープ変調、IPP=7,500 μ sec, $N = 4$ とする。評価関数は図1に示すとおり r_1, v_d 方向にチャープ変調による相関関係が、 v_d 方向に搬送波周波数による $v_{d0} \approx \lambda/2T_{IPP}$ の周期性が確認できる。文献 [1] の手法によりデブリを検出したときのパラメータを x_{det} とする。デブリの軌道を推定するため、 x_{det} を初期値として大域的最適解を探索する。 r_1, v_d の相関方向、 v_d 方向の周期 v_{d0} に従い、評価値が大きくなる方向へ局所最適解を順次移動する手法が考えられる。しかし周期 v_{d0} はデブリの運動の非線形性のため、正確には $\lambda/2T_{IPP}$ ではなく、1周期毎に mm/sec オーダーで変化する。そのため上記の探索手法ではピーク間を移動する度に各局所最適解から僅かにずれていき、最終的に得られる推定軌道パラメータの精度は十分でない。

3 準周期性を利用した高速軌道推定法

前節の問題を解決する手法として、局所最適解を各々の局所解近傍で探索する手法が考えられる。しかし、パラメータを更新する度にフィルタリング処理を繰り返し

行うため、多くの計算時間を要し、現実的ではない。そこで高速な軌道推定法を提案する。軌道パラメータの真値から x がずれることによる評価値の低下に関しては、位相回転 θ_i の影響が支配的であることが経験的に明らかになっている。そのため、局所解近傍では統合フィルタのドップラー誤差による電力の変動、運動モデルの変化を無視し、式 (1) の θ_i のみを補正して局所最適化を行う。このとき、パラメータの推定誤差は $r_1: 10^{-7}$ km, $v_d: 10^{-8}$ km/sec と十分小さい。更に計算時間はフィルタリング処理を繰り返し行う場合に比べ、1/10以下に短縮され、高速な推定が実現できる。提案法を適用した数値シミュレーションの結果を図2に示す。検出点からピーク電力が上昇し、パラメータが正しく推定できていることがわかる。

参考文献

[1] 磯田 他, 信学・ソサイエティ大会 B-2-12, 2005.

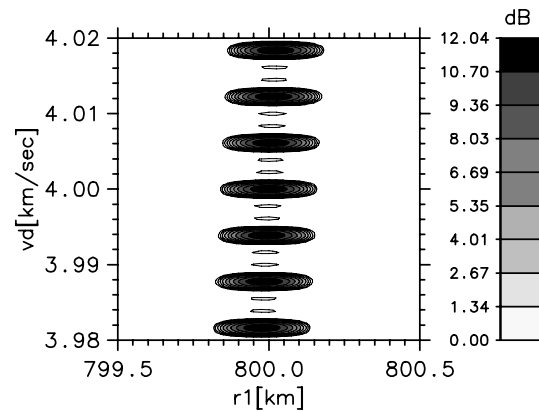


図1 評価関数 真値 $x=(800 \text{ km}, 4 \text{ km/s}, 60^\circ)$, 4hit

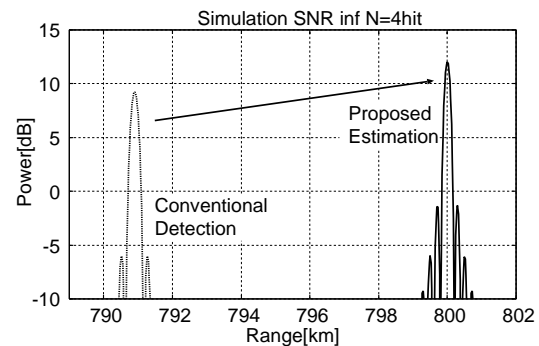


図2 提案法適用例 (条件は図1と同じ)