

評価関数の周期性を用いたスペースデブリレーダの効率的検出感度向上法

An effective debris detection method by utilizing the periodicity of the evaluation function for space debris radars

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[‡]
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。本稿では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)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 デブリ軌道決定の評価関数

複数パルスをコヒーレント積分することで検出感度を向上させる。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。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。文献 [1] では、レーダの搬送波周波数を考慮に入れずに数値計算例を示したが、そのままでは実データには適用できない。搬送波周波数を考慮に入れた評価関数は式 (1) で表される。

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

但し、 $t_i, \omega_i, \theta_i (i = 1, \dots, N)$ は x により一意に決まる値である。このうち θ_i が、距離に応じて搬送波信号の位相が変化する現象に対応する。 ϕ が真値での (r_1, v_d) 空間の評価関数を図 1 に示す。 r_1, v_d 間の相関関係の中に極大値が v_d に対し周期的に複数存在していることがわかる。これは隣接する送信パルス間隔に位相が波数の整数倍変化した場合でもコヒーレント積分が可能であるためであり、その周期 v_{d0} は波長、パルス送出間隔をそれぞれ λ, T_p とすると、 $v_{d0} = \lambda/2T_p$ で表される。KSGC レーダの場合、波長は約 9.18cm、 T_p は 5 msec から 10 msec であるため v_d を m/sec オーダーで探索しなければならず、最適化が困難である。そのため次節で探索時間を短縮する方法を提案する。

3 大域的・局所的ドップラー速度

評価関数の極大値の周期が前節の通り既知であるため、 v_d を $v_d = nv_{d0} + \delta v_{d0}$ (但し、 n は整数、 $0 \leq \delta v_{d0} < v_{d0}$)

と分割する。ここで nv_{d0} は大域的ドップラー速度で、デブリの軌道を決定する。 δv_{d0} は局所的ドップラー速度で、信号の隣接パルス間の位相差を決定する。 δv_{d0} を評価関数が極大値となるように調整することにより (r_1, nv_{d0}) 空間の評価関数は、滑らかにつながり、文献 [1] と同様の手法が使用できる。また、 v_{d0} が既知であるため、信号を検出した点から軌道決定に要する時間は v_d を v_{d0} よりも十分細かくで探索するのに比べ、大幅に短縮される。2005年3月に観測した衛星 METEOR の実データに対して提案法を適用した結果を図 2 に示す。単一パルスでは検出が困難な信号強度でも提案法により SNR が改善し、正しく検出できていることがわかる。

参考文献

[1] 磯田 他, 信学・総会 B-2-6, 2005.

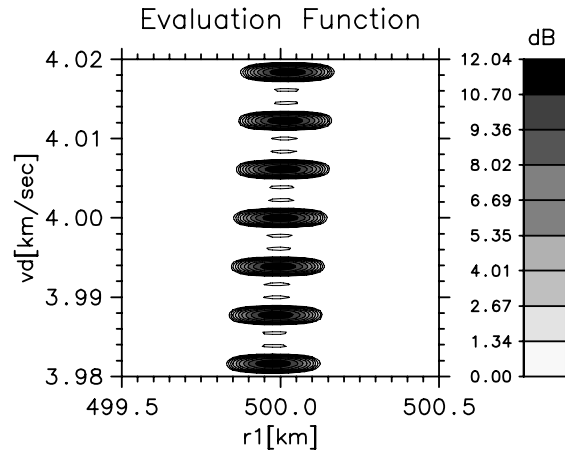


図 1 搬送波の位相回転を考慮した場合の評価関数

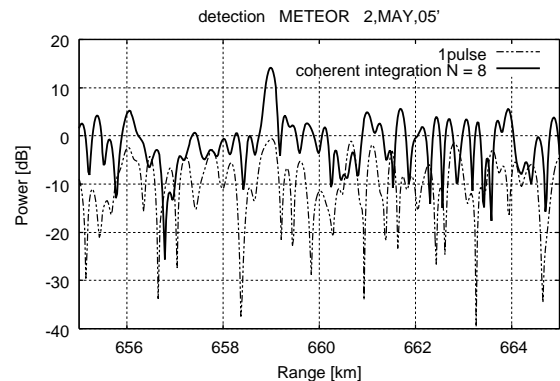


図 2 提案法適用例 (METEOR)