

スペースデブリレーダのための 目標のSNR変動を考慮した推定速度精度の評価

Accuracy Evaluation of the Estimated Velocity
Considering the Change of the SNR for Space Debris Radar

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

1 はじめに

近年、スペースデブリが宇宙環境問題となっており、衝突回避のため、デブリの観測は必要不可欠である。我が国では2004年に日本宇宙フォーラムによりKSGCレーダが設立されデブリの観測を開始している。我々はKSGCレーダシステムのための検出感度改善法と軌道推定のための手法を提案し[1]、要求精度も検討してきた[2]。本稿では所望の推定精度を得るために必要なデータ長を導出し、軌道推定に必要な最小デブリを見積もる。

2 単一 CPI での推定精度

CPIとはコヒーレント積分長のことである。KSGCレーダで1回の観測で24時間後にデブリを再捕捉するために許容される速度推定誤差 ε は約50 m/sである[2]。図1に提案法[1]のピークSNRに対する推定速度誤差を示す。パルス送出間隔を7.5 ms、積分回数16(積分時間120 ms)とする。同図より許容誤差50 m/sを満たすSNRは13.6 dB以上となり、それ以下のSNRでは単一のCPIでは精度が不十分であるため複数CPIでの推定速度を平均し誤差を低減する。

3 SNR変動を考慮した複数CPIを用いた推定

ランダムな推定誤差 σ は平均回数を M とすると、 $1/\sqrt{M}$ のオーダーで減少する。よって速度平均が $1-\alpha$ の確率で ε 内に収まるために必要な平均回数 M は、

$$\sigma^2/M \leq \varepsilon^2/Z_{\alpha/2}^2 \quad (1)$$

で求まる。但し $Z_{\alpha/2} = \text{erf}^{-1}(1-\alpha/2)$ 。しかしこの場合、データ長間で等SNRであることを仮定しているため現実的でない。そのため実際のSNRの変化を考慮した平均を考える。距離 r_1 でのSNRを S_1 、デブリの距離変化を $r_d(t)$ と定義する。SNRの時間変化 $S_n(t)$ は、

$$S_n(t) = \left\{ \frac{r_1}{r_d(t)} \right\}^4 S_1 \quad (2)$$

で表現され、軌道推定誤差の分散 σ^2 は次式で表される。

$$\sigma^2(t) = 10^{2b} \cdot S_n(t)^{20a} \quad (3)$$

但し a, b は図1を直線でフィッティングして得られる係数で $a = -0.055, b = -0.545$ である。ここで $a = -1/20$

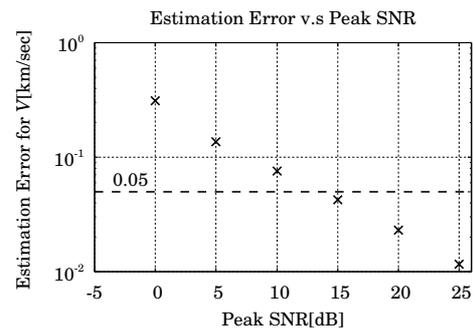


図1 提案軌道推定法の速度推定精度

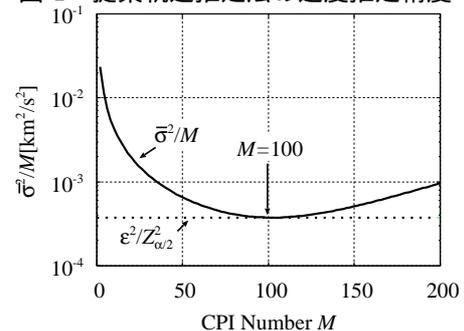


図2 平均CPI数Mに対する速度誤差分散

と近似し、全観測時間を T_{obs} とすると σ^2 の平均は解析的に求めることができ、

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{10^{2b}}{T_{\text{obs}}} \int_0^{T_{\text{obs}}} S_n^{-1}(t) dt \quad (4)$$

となる。式(1)の σ に $\bar{\sigma}$ を代入することにより、式(1)を満たす M, S_1 及び軌道を求めることが可能となり、提案法で所望の推定精度を得ることができる限界がわかる。一例として $\alpha = 10^{-2}$ 、最接近距離693 km、速度8 km/sの軌道を考える。図2に縦軸 $\bar{\sigma}/M$ 、横軸に平均回数 M をとった図を示す。破線は $\varepsilon^2/Z_{\alpha/2}^2$ である。このとき、式(1)を満たす限界は $M = 100, S_1 = 0.9$ dB (0.36 m²)であり、この程度の大きさのデブリに対して所望の推定精度が得られることがわかった。

参考文献

- [1] K. Isoda *et al.*, Proc. EuCAP 2006, ESA SP-626, no. 345431, Nov. 2006.
- [2] 磯田 他, 信ソ大会 2006, no. B-2-8, Sep. 2006.