

宇宙電波監視における3衛星間のTDOAによる未知干渉局の測位 Geolocation of unknown interference stations using TDOA of three geostationary satellites

網嶋 武†¹
Takeshi Amishima

高橋 龍平†¹
Ryuhei Takahashi

†¹三菱電機株式会社
Mitsubishi Electric Corporation

1. まえがき

衛星通信に生じるアップリンク干渉の電波源を測位する方法として、3衛星間の到来時間差 (TDOA: Time Difference of Arrival) が知られている[1]. しかしながら、測位精度に係る諸性質は明らかでない. 本稿では、3衛星間のTDOAによる測位方式の概要及びシミュレーション例を示す.

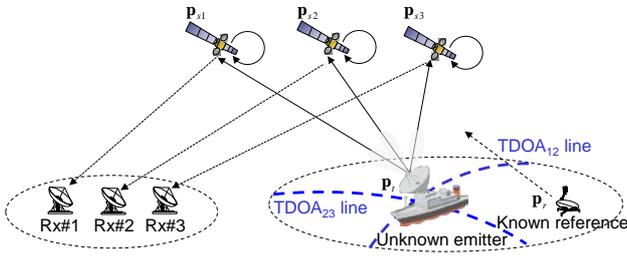


図1 3衛星間のTDOAを用いた干渉局の測位.

2. 測位方式

以下、測位方式を説明する. 3つの衛星の内、それぞれ、衛星1と2、及び、衛星2と3の間でTDOAを計測する. 計測モデルは次式となる.

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}(\mathbf{p}_t, \mathbf{p}_{sat}) + \mathbf{n} \quad (1)$$

$$\mathbf{h}(\mathbf{p}_t, \mathbf{p}_{sat}) = \begin{pmatrix} \frac{1}{c} (\|\mathbf{p}_t - \mathbf{p}_{s1}\| - \|\mathbf{p}_t - \mathbf{p}_{s2}\|) \\ \frac{1}{c} (\|\mathbf{p}_t - \mathbf{p}_{s2}\| - \|\mathbf{p}_t - \mathbf{p}_{s3}\|) \end{pmatrix} \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{z} は、計測値を格納したベクトル、 \mathbf{p}_t は干渉局位置、 $\mathbf{p}_{s_i} (i=1,2,3)$ は第*i*衛星の3次元位置ベクトル、 c は光速である. \mathbf{n} はランダム性計測誤差であり、 $E\{\mathbf{v}\mathbf{v}^H\} = \mathbf{R} = \text{diag}\{\sigma_{TDOA}^2, \sigma_{TDOA}^2\}$ である. 更に、干渉局は地表面に存在するため、拘束条件として次式を用いる.

$$\|\mathbf{p}_t\| = R_E \quad (3)$$

ここで、 R_E は地球半径である. 式(1)~(3)の3本の方程式を、干渉局の3次元位置ベクトル (3つの未知数) について解くことにより、干渉局位置を求める. 本稿では、地球を球と仮定し、以下の干渉局の緯度経度値を持つ2次元の未知位置ベクトルを定義する.

$$\boldsymbol{\chi}_t = (\text{Lon}_t, \text{Lat}_t)^T \quad (4)$$

$\boldsymbol{\chi}_t$ を求めるため、以下の最小二乗法[2]を解く.

$$\min_{\boldsymbol{\chi}_t} J(\boldsymbol{\chi}_t, \mathbf{p}_{sat}) \quad (5)$$

$$J(\boldsymbol{\chi}_t, \mathbf{p}_{sat}) = (\mathbf{z} - \mathbf{h}(\boldsymbol{\chi}_t, \mathbf{p}_{sat}))^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{z} - \mathbf{h}(\boldsymbol{\chi}_t, \mathbf{p}_{sat})) \quad (6)$$

3. 計算機シミュレーション

表1にシミュレーション諸元を示す. 本設定では、経度150度付近に3衛星を配置する. 衛星間隔は6度とする.

図2にモンテカルロ試行1000回分の測位点を示す. 図2では、測位結果に加え、誤差共分散行列から計算した 3σ 相当の理論誤差楕円を示している. 図2より、測位誤差RMSEは共に約36kmである. なおより、測位結果が南北に広がっていることが確認できる. この理由は、2本のTDOA曲線が南北に伸び、それらの交差角度が浅いためである.

表1 シミュレーション諸元

諸元	値
TDOA計測精度	1μsec
リファレンス局位置	仙台 (140.8 E, 38.2°N)
衛星位置	衛星1: 144°E 衛星2: 150°E 衛星3: 156°E

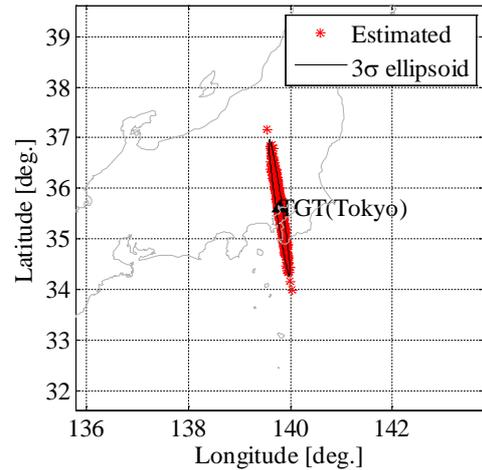


図2 モンテカルロ試行1000回分の測位点

4. むすび

本稿では、3衛星間のTDOAを用いた測位方式の定式化及びモンテカルロシミュレーションによる精度評価を行った. その結果、約36kmの精度で測位可能であることが明らかになった.

今後、測位精度に係る詳細解析を行う. 更に、実証実験により本測位方式の検証を進める.

参考文献

- [1] K. C. Ho, and Y. T. Chan, "Geolocation of a Known Altitude Object From TDOA and FDOA Measurements," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol.33, Issue 3, pp.770-783, 1997.
- [2] A. Gelb, ed., Applied Optimal Estimation, the M.I.T. Press, Cambridge, 1974.