

列車の一次元拘束条件付き測位に適した GDOP_{1D} 上限検定の効果

Rejection Effect of Solutions by GDOP_{1D} Maximum suitable for Train Positioning with One-Dimensional Constraint Condition

山本春生¹ 高須知二² 久保信明²
Haruo Yamamoto Tomoji Takasu Nobuaki Kubo

鉄道総合技術研究所¹ 東京海洋大学²
Railway Technical Research Institute Tokyo University of Marine Science and Technology

1. まえがき

開発中の三次元線路マップを利用する一次元拘束条件付き測位手法について、衛星幾何学配置の指標 (GDOP) 上限検定のほか各種マルチパス誤差低減検定を加え測位性能を評価した結果、最大誤差を 7.9m にまで低減でき、検定に伴う測位率の低下も僅かであった [1]。この度、GDOP 上限検定を改良するため、本測位方式に適した GDOP (以下 GDOP_{1D} と称す) を定義し、上限検定機能として実装した上でフィールドデータにより効果を確認したので報告する。

2. GDOP_{1D} の定義

$$H = \begin{bmatrix} e_{ENU1}^T e_{ENUR} & 1 \\ e_{ENU2}^T e_{ENUR} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ e_{ENUn}^T e_{ENUR} & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q = [H^T H]^{-1} = \begin{bmatrix} q_{RR} & q_{RT} \\ q_{TR} & q_{TT} \end{bmatrix}$$

$$GDOP_{1D} = \sqrt{q_{RR} + q_{TT}}$$

ここで、

e_{ENUi} : ローカル座標系における衛星 i の LOS (line of sight) ベクトル

e_{ENUR} : ローカル座標系における一次元拘束条件接線方向単位ベクトル

3. フィールドデータを用いた検証

評価システムに GDOP_{1D} の計算および閾値以上の測位解を棄却する上限検定機能を実装し、測位環境の異なる 4 営業路線計 138.5km を走行中の測位衛星観測データを用いて GDOP_{1D} の特性を調べた。

(1) 分布

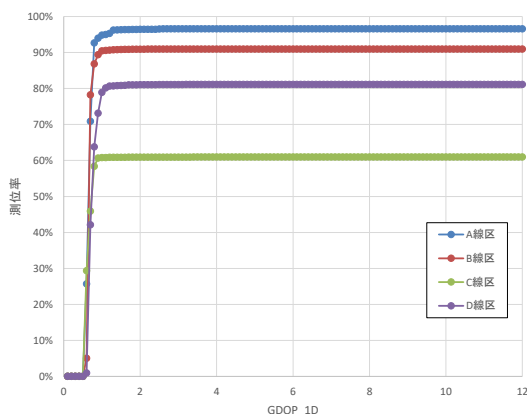


図1 GDOP_{1D} 検定閾値に対する測位率

GDOP_{1D} は 99% が 1.1 以下、99.9% が 2.0 以下、99.99% が 3.8 以下であった。最小値は 0.6 であった。同一条件の GDOP (99% が 4.6 以下) よりも小さい。

(2) 衛星数との関係

GDOP と同様に衛星数が増える程小さくなるが、衛星数が 3 でも GDOP_{1D} が 1 以下 (0.9) となることがあった。

(3) 線路方向、衛星配置との関係

GDOP_{1D} は衛星が線路の前後方向に位置するとき小さくなった。一次元拘束条件付き測位では線路の前後方向に衛星が配置されるとき測位精度が良いと考えられるため、特性は一致する。

(4) 測位誤差との関係

GDOP_{1D} が比較的大きな場合、希に大きな測位誤差が発生する。棄却には GDOP_{1D} 上限検定が有効である。

(5) GDOP_{1D} 検定閾値に対する測位率

GDOP_{1D} 検定閾値を 2 以下としても測位率への影響は軽微である (図 1)。

(6) GDOP_{1D} 検定閾値に対する大きな測位誤差の発生確率
大きな測位誤差を抑制するには閾値を 2 以下にすることが望ましい (図 2)。

4. GDOP_{1D} 上限検定の効果

GDOP_{1D} の検定閾値を 1.6 に定め、評価システムのデフォルト上限である 30 の場合と比較した。測位率は 0.164% 低下したが、棄却された 114 エポックのうち半数の 57 エポックで 10m 以上の測位誤差が、15 エポックで 5m 以上 10m 未満の測位誤差が発生しており、GDOP_{1D} 上限検定は大きな測位誤差の削減に効果があることが確認できた。

謝辞: 機材を提供頂いた JAXA, データ取得に協力頂いた JR 西日本, ジェイアール西日本コンサルタンツ, 国土地理院, ジェノバの関係各位に謝意を表す。

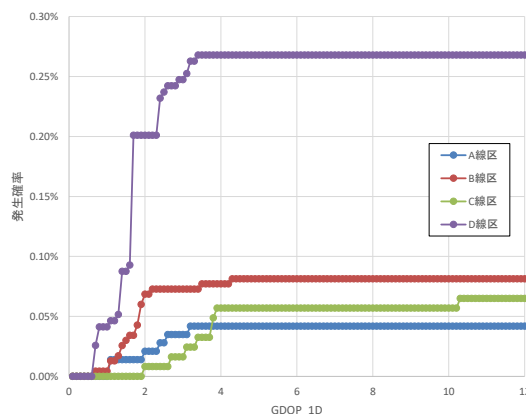


図2 GDOP_{1D} 検定閾値に対する 10m 以上の誤差の発生確率

参考文献: [1] 山本春生, 高須知二, 久保信明 “三次元線路マップを利用するマルチ GNSS 高信頼列車位置計測アルゴリズムの性能評価 (その 2)”, 測位航法学会 (全国大会) 2016 年 4 月。