

RTK-GNSS への SN 比導入における各手法の性能評価

東京理科大学 学生会員 ○西 宏治郎

東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. はじめに

RTK-GNSS (Real Time Kinematic - Global Navigation Satellite System) は既知点である基準局からの補正観測情報を、無線を利用して未知点である移動局に送信し、移動局の位置を数 cm 程度の精度でリアルタイムに測定する精密測位技術である。その特性を活かし、既に精密測量や情報化施工など様々な分野で利用されている。

RTK-GNSS 測位解析では、まず Kalman Filter を用いて float 解が推定される。その際、観測誤差の分散共分散行列の逆行列が重みとして用いられるが、観測誤差は一般に衛星仰角の関数として表される。しかし周囲に障害物があるなど、マルチパス誤差により衛星仰角に関わらず大きな観測誤差が生じる場合がある。このような誤差を排除するため、衛星電波の SN 比が低い場合はフィルターを設定して排除する手法も提案されている。この場合、測定精度が悪い観測値を使わないことになるが、使用する衛星数が少ない場合には、逆に測位精度が低下する場合もある。本研究では、観測誤差の分散共分散行列に衛星仰角のみならず SN 比も導入して観測誤差の分散を推定し、測位性能の向上を試みている。本文では、この手法とフィルターを使用する手法の性能比較を行った。

2. RTK-GNSS 測位解析の概要

GNSS 解析における観測方程式は式(1)で表される¹⁾。

$$\mathbf{y}_t = A_t \mathbf{x}_t + \mathbf{e}_t \quad (1)$$

ここで \mathbf{y}_t は観測ベクトル、 A_t は係数行列、 \mathbf{e}_t は観測誤差ベクトルを示し、 \mathbf{x}_t は位置の補正量 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ と整数値バイアス $N_1, N_2 \dots N_n$ からなる未知ベクトルを示す。このとき整数値バイアスは一重差である。この観測方程式から Kalman Filter により各エポックの未知パラメータ \mathbf{x}_t を推定する。各エポック t の推定値 $\hat{\mathbf{x}}_t$ は

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_t &= \tilde{\mathbf{x}}_t + K_t (\mathbf{y}_t - A_t \tilde{\mathbf{x}}_t) \\ K_t &= \Sigma_{\tilde{\mathbf{x}}_t} A_t^T (A_t \Sigma_{\tilde{\mathbf{x}}_t} A_t^T + \Sigma_{\varepsilon_t})^{-1} \\ \Sigma_{\tilde{\mathbf{x}}_t}^{-1} &= (I - K_t A_t) \Sigma_{\tilde{\mathbf{x}}_t} \end{aligned} \quad (2)$$

と表される。システム誤差 $\Sigma_{\mathbf{u}_{t-1}}$ は

$$\begin{aligned} \Sigma_{\mathbf{u}_{t-1}} &= \text{diag}(\infty \quad \infty \quad \infty \quad 0 \quad 0 \quad \dots 0) \end{aligned} \quad (3)$$

で表される。ここで得られる整数値バイアスは実数推定値であり、この推定値 $\hat{\mathbf{x}}_t$ は float 解と呼ばれる。

前述の通り RTK-GNSS 測位解析では、Kalman Filter を用いて float 解を推定する手法が確立されている。この方法ではシステム誤差と観測誤差の統計的性質、つまり分散共分散行列 $\Sigma_{\mathbf{u}_{t-1}}$ と Σ_{ε_t} が既知である必要がある。観測誤差の分散は一般に衛星仰角の関数である次式でモデル化される²⁾。

$$\sigma_n^2 = \left(\frac{\sigma_{90^\circ}}{\sin \theta_n} \right)^2 \quad (4)$$

本研究では観測誤差の分散を衛星仰角のみならず SN 比も用いて推定する。

3. 解析で使用するデータの取得方法

本研究では一周波 GPS 受信機を使用した。受信機としては NovAtel 社製の OEMStar を搭載した FLEXPAC を、アンテナは NovAtel 社製の GPS-701-GG を使用した。

case 1 では移動局を基準局と共に周囲に障害物のないビルの屋上に設置し 24 時間データを取得した。case 2 では、基準局はそのままビルの屋上に、移動局を建物で囲まれた地点に移動させ 24 時間データを取得した(図 1)。

case1



case2



図 1 移動局の設置状況

4. SN 比の導入と性能評価

まず case1, case2 それぞれのデータについて仰角に対する観測誤差の統計的性質を調べた。case1 については、実際の観測誤差の分散と式(4)は決定係数 0.85 と高い値であった。しかし case2 では、決定係数が 0.299 と非常に低い値となり、モデル化できないことが分かった。そこで観測誤差が式(5)のモデルに従うとし、観測誤差の分散に

キーワード: RTK-GNSS, 一周波 GPS

連絡先: 〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学理工学部土木工学科 構造工学研究室 TEL:0471241501(ex4075)

SN 比を導入することを試みた. 各仰角・SN 比ごとの観測誤差の分散 σ_n^2 から SN 比との関係式 $F(SN)$ を求めた.

$$\sigma_n^2 = \left(\frac{\sigma_{90^\circ}}{\sin \theta_n} \right)^2 + F(SN_n) \tag{5}$$

$$F(SN_n) = 2 \times 10^9 SN_n^{-6.53}$$

式(5)の $F(SN)$ については, 多項式や指数関数で近似した中から最も決定比が高いものを選択した. case1, case2 のそれぞれのデータについて, 観測誤差の分散と式(5)の決定係数を求めたところ, case1 では 0.823, case2 では 0.495 となった. case1 では SN 比導入前より若干低下したが, おおよそ近い値でモデル化できているといえる. また case2 では決定係数の値としては, 依然低い値だが, SN 比導入前より改善されたといえる.

観測誤差の分散共分散行列に式(4), (5)のモデルを適用したものと, SN 比のフィルターを適用したものとでの測位性能の比較を行った. ここでフィルターを用いる手法とは, 一般的な仰角と SN 比の関係から著しく外れたデータを排除する手法である. 表 1 に推定値の標準偏差の 2 倍値(信頼区間 95%)と Fix 率を示す. ここでは, レシオテストが 5 以上の時に Fix したとし, 全データのうち Fix した割合を Fix 率とする.

表 1 各手法の性能比較

Case1	x[m]	y[m]	z[m]	fix 率[%]
式(4)	0.0037	0.0050	0.0110	99.2
フィルタ	0.0037	0.0050	0.0110	99.2
式(5)	0.0037	0.0050	0.0111	99.3

Case2	x[m]	y[m]	z[m]	fix 率[%]
式(4)	0.045	0.039	0.180	95.0
フィルタ	0.041	0.025	0.149	98.0
式(5)	0.039	0.026	0.153	97.0

表 1 より, フィルターを適用して SN 比が小さいデータを排除した場合, case1 では全く変化はなく, case2 では精度, Fix 率ともに改善が見られた. また式(5)を観測誤差の分散に適用した場合も, case1 の結果はおおよそ変化がなく, case2 ではフィルターを適用の場合と同様に測位結果が向上した. ここでフィルターを使用する場合と式(5)を適用した場合の, 解析に使用した衛星数の推移を図 3 に示す. 赤線がフィルターを適用した測位解析の結果, 黒線が観測誤差の分散に式(5)を適用した測位解析の結果である.

図 3 から, case1 では使用した衛星数に差はないが, case2 ではフィルターを適用したほうが, 実際に使用する衛星数が低下していることがわかる. これは case2 では観測誤差が大きいデータが含まれており, そのデータがフィルターにより排除されたからだといえる. また, 観測誤差の分散に式(5)を適用した場合は, データを排除せず結果が改善している. つまり, 観測誤差の分散に SN 比を導入することで, 観測誤差の大きなデータが含まれていても, 測位結果は大きく悪化しなくなったといえる.

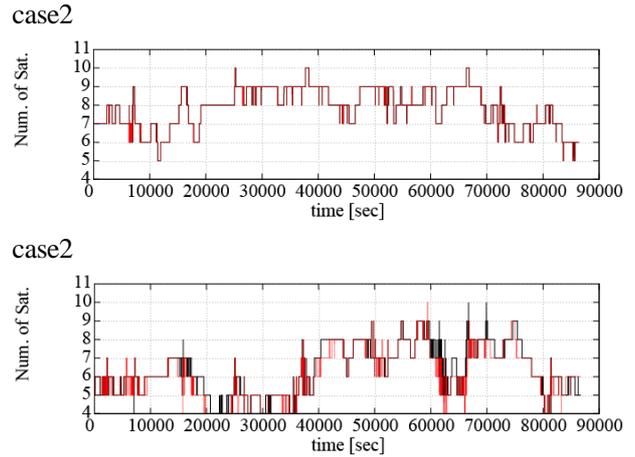


図 3 解析に使用した衛星数の推移

5. まとめ

本研究では, RTK-GNSS 測位解析における, 観測誤差の分散共分散行列に, 衛星仰角に加え衛星電波の SN 比を導入した. そしてこの手法と, フィルターを用いて SN 比の低いデータを排除する手法を比較し性能評価を行った. その結果, 観測誤差を多く含むと考えられる, 建物に囲まれたデータにおいて改善が見られた. この結果から観測誤差の分散に SN 比を導入することで, 観測誤差の大きなデータが含まれていても, 測位結果の悪化が低減できることが確認できた. しかし今回検討した式(5)では, case2 での決定係数は低く完全にはモデル化できていない. そこで今後, 決定係数が高くなるように SN 比を用いてモデル化できれば, フィルターを適用した手法よりも測位性能が向上する可能性があり, 検討を進める.

参考文献

- 1) 高須知二:RTK-GPS 及びネットワーク型 RTK-GPS 測位技術, GPS/GNSS シンポジウム, 2007
- 2) B.ホフマン-ウェレンホフ/H.リヒテナガー, J.コリンズ, 訳 西修二郎:「GPS 理論と応用」, 2005