

一周波 GPS 転圧管理システムを想定した初期化時間短縮手法

東京理科大学 学生会員 ○大澤 英里
東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1. はじめに

近年、大規模な造成工事現場では情報化施工が行われており、重機の移動管理の一つに GPS が使用されている¹⁾。GPS 受信機には一周波と二周波のものがあり、移動体の運動を動的かつ高精度に推定するには、二周波 GPS 受信機を使用するのが一般である。これは、二周波 GPS 受信機を用いた場合、整数値バイアスを決定するのが一周波 GPS 受信機を用いた場合と比較して容易になるからである。しかし、現状では二周波 GPS 受信機は高価であるため、小規模な現場への導入が困難な実状にある。そこで、本研究では、より安価な一周波 GPS 受信機の使用可能性を検討する。

一周波 GPS 受信機を用いた場合の課題として、整数値バイアスの決定に時間を要することが挙げられる。整数値バイアスを決定する初期化技術には、静的干渉測位、アンテナスワップ法、On The Fly などがある²⁾。特に、現在は On The Fly が主流となっているが、一周波 GPS 受信機を用いた場合 On The Fly の適用は一般的に難しいとされている。そこで、本研究では静的干渉測位による整数値バイアスの決定時間を短縮し、初期化時間の短縮を試みる。

2. 実験で使用する装置の概要

実験では、1 種類の一周波 GPS 受信機と 3 種類のアンテナを使用する。受信機としては、サンプリングレートが最大 10Hz に設定でき、消費電力が小さく安価な NovAtel 社製の OEMStar を使用する。アンテナとしては、NovAtel 社製の GPS-701-GG、より安価な小型アンテナ ANT-26C1GA-TBW-N に加え、小型パッチアンテナを使用する。図 1 に使用するアンテナを示す。



図 1. 使用するアンテナ, 左から GPS-701-GG, ANT-26C1GA-TBW-N, パッチアンテナ

3. 初期化時間短縮手法

転圧現場では、転圧ローラーを決まった地点に停車させて初期化を行うことが可能である。この場合、水平方向の停車誤差は大きい、鉛直方向には殆ど誤差が発生しない。この様な拘束条件を与えることで、初期化時間の短縮を図ることが出来ると考えられる。

GPS 測位解析にける観測方程式は

$$\mathbf{U}_t = \mathbf{A}_t \mathbf{y}_t + \mathbf{e}_t \quad (1)$$

で表わされる。ここで $\mathbf{U}_t$ は観測ベクトル、 $\mathbf{A}_t$ は係数行列、 $\mathbf{e}_t$ は観測誤差ベクトルを示し、 $\mathbf{y}_t$ は補正量 $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ 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。静的測位解析では式(1)に最小二乗法を適用し、目的関数 J

$$J = \sum_t (\mathbf{U}_t - \mathbf{A}_t \mathbf{y}_t)^T \mathbf{R}_{U,t}^{-1} (\mathbf{U}_t - \mathbf{A}_t \mathbf{y}_t) \quad (2)$$

を最小にする問題を解く。ここで、 $\mathbf{R}_{U,t}$ は観測誤差の分散共分散行列を示す。これに対し、位置について拘束条件を加える場合は

$$J = \sum_t (\mathbf{U}_t - \mathbf{A}_t \mathbf{y}_t)^T \mathbf{R}_{U,t}^{-1} (\mathbf{U}_t - \mathbf{A}_t \mathbf{y}_t) \quad (3)$$

$$+ (\mathbf{x}_t - \mathbf{x}_0)^T \mathbf{R}_{x,t}^{-1} (\mathbf{x}_t - \mathbf{x}_0)$$

とし、この目的関数 J を最小にする問題を解く。ここで、 $\mathbf{x}_t, \mathbf{x}_0$ は、初期位置の推定値と真値を示し、 $\mathbf{R}_{x,t}$ は推定誤差の分散共分散行列を示す。ここで $\mathbf{R}_{x,t}$ は

$$\mathbf{R}_{x,t} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

と表わされる。本研究では、拘束条件として $\sigma_x^2, \sigma_y^2, \sigma_z^2$ に転圧ローラーの停車誤差の分散を与える。

一般に、GPS 測位解析では、ECEF 座標系に統一して計算が行われる。しかし、本研究では測位解析に前述の拘束条件を導入することを考慮し、計算する座標系を ENU 座標系に統一する。これにより、特に鉛直方向の分散の値

キーワード：情報化施工、転圧管理システム、一周波 GPS、Static GPS、初期化

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)

を小さくすることが出来る。

4. 初期化時間短縮手法の性能評価

前述の手法を用いて解析を行った場合、どの程度初期化時間が短縮されるのか確認を行った。

観測場所は、GPS にとって理想的環境下である周囲に高い建物のないビルの屋上とし、アンテナの種類を変えて3回観測を行った。1回目はGPS-701-GG アンテナ、2回目はANT-26C1GA-TBW-N アンテナ、3回目はパッチアンテナとし、三脚の上にアンテナを固定してデータ取得を行った。なお、2回目と3回目においては、アンテナの下にグランドプレーンを設置した。各実験では24時間連続観測を行い、サンプリングレートは1Hzとした。実験の様子を図2に示す。



図2. GPS データ取得環境

解析では、まず、24時間連続データの最初のデータからレシオテストの値が3に達するまで測位解析を行う。そして、測位解析により得られた受信機間の相対位置の推定結果が、真値から ± 5 cm以内の場合を正解とした。この解析を1秒ずつ後ろにずらして86400回行い、正解と判断した回数を試行回数86400で除して正解決定率とした。ただし、真値はわからないため、ここでは86400回の解析結果の平均を真値とした。また、レシオテストの値が3に達するまでの時間長を初期化時間とした。

表1に、拘束条件の有無による正解決定率の比較結果を示す。ここで拘束条件としては、推定誤差の標準偏差を水平方向に25cm、鉛直方向に2.5cmと設定した。また、正解決定率は初期化時間が5分、15分以内のものを算出した。

表1より、拘束条件を与えた場合、各実験において初期化時間が短縮され、かつ正解決定率が向上していることがわかる。そこで、次に拘束条件の適用範囲の確認を行った。

表2に、初期位置の誤差が水平方向に5cm、15cm、25cm 生じている場合の正解決定率の比較結果を示す。

なお、拘束条件は前述と同様の値としている。また、紙面の都合上、実験2、実験3で取得したデータの解析結果のみ示す。

表2より、生じている誤差の大きさが、拘束条件として設定した値よりも小さい場合、誤差の大きさに関係なく拘束条件が効いていることがわかる。しかし、誤差の大きさが拘束条件として与えた値以上の場合、初期化が不可能となっている。

表1. 正解決定率の比較

アンテナ	正解決定率[%]			
	拘束条件なし		拘束条件あり	
	5[min]	15[min]	5[min]	15[min]
1	99.8	99.8	100.0	100.0
2	82.5	97.6	96.5	99.9
3	61.7	88.6	87.5	96.4

2. 初期位置の誤差による正解決定率の比較

誤差 [cm]	正解決定率[%]			
	実験2		実験3	
	5[min]	15[min]	5[min]	15[min]
5	96.5	99.9	87.5	96.4
15	96.5	99.9	87.5	96.4
25	-----	-----	-----	-----

5. まとめ

従来の初期化手法に拘束条件を加えることにより、初期化時間の短縮を図ることが出来た。しかし、より安価なGPSアンテナを用いた場合、更なる初期化時間の短縮、及び正解決定率の向上を図る必要がある。

今後の課題としては、安価なGPSアンテナを用いた場合でも、初期化時間5分以内に正解決定率100%を達成する解析手法の検討が挙げられる。また、初期位置の誤差が設定した拘束条件以上の値をとる場合、初期化自体が不可能となっていることから、定量的に拘束条件を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 金澤文彦, 有村信二, 湯浅直美: 中低速移動大へのRTK-GPS 適法化技術の開発に関する技術資料, 国総研資料 第513号, 2009
- 2) 土屋淳, 辻宏道: 新・GPS 測量の基礎, 社団法人 日本測量協会