

GPS 静的測位解析におけるアンテナノイズの時間安定性に関する基礎的検討

東京理科大学 学生員 ○大澤 慎太郎

東京理科大学 正会員 佐伯 昌之

1 はじめに

著者等はこれまで GPS と無線センサネットワークの技術を結合した多点変位計測システムの開発を進めてきた¹⁾。このシステムは、無線センサネットワークのセンサー部分に変位センサーとして GPS 受信機を搭載したものであり、サーバの指示に従い各センサノードは L1 搬送波位相を観測する。そして、得られた観測データは無線でサーバに回収され、サーバにて静的測位解析を行うことで対象物の準静的な変位を推定する。既にシステム全体の試作を行い、工事現場における実証試験などを行っている²⁾。

本システムの改善項目の 1 つとして変位計測精度の向上がある。本システムでは変位推定結果の分散を抑制するためにアンテナノイズ除去手法を適用している。これは、アンテナノイズは 23 時間 56 分で同じ値をとるとした周期性の仮定を利用したもので、初日のアンテナノイズを推定し、以降のデータからアンテナノイズを引くことで精度を改善する方法である。この仮定は、受信機と衛星の幾何学的関係が同じであり、かつ受信機周辺の電波環境が変化しなければ成立することが知られている。しかしながら、実証試験の結果によると、必ずしも変位の推定結果が改善するとは限らないことが分かっている。

そこで本研究では、実現場で得られたデータを用いてアンテナノイズを解析し、その時間安定性を調べることにする。これにより、将来的にはアンテナノイズの推定精度を改善し、アンテナノイズの削減効率を高める手法を考案することを狙っている。

2 静的測位解析におけるノイズ除去手法の概要

短基線長における 2 点間の相対位置解析の場合、対流圏遅延などの誤差は二重差の計算で削除される。これを考慮すると、搬送波の位相の二重差 $\phi_{ij}^{kl}(t)$ に関する観測方程式は次式のようにモデル化することができる。

$$\phi_{ij}^{kl}(t) = \rho_{ij}^{kl}(\mathbf{x}, t) + \lambda N_{ij}^{kl} + \Delta_{ij}^{kl}(t) + \varepsilon_{ij}^{kl}(t) \quad (1)$$

ここに $\rho_{ij}^{kl}(\mathbf{x}, t)$ は衛星と受信機の真の距離の二重差、 $\mathbf{x}$ は受信機の位置、 λ は搬送波の波長、 N_{ij}^{kl} は整数値バイアスの二重差、 $\Delta_{ij}^{kl}(t)$ はアンテナノイズ、 $\varepsilon_{ij}^{kl}(t)$ はホワイトノイズである。ここで、受信機の位置を近似位置 $\mathbf{x}_0$ と補正項 $\Delta \mathbf{x}$ の和で表し、これを式(1)へ代入して Taylor 展開すると

$$\phi_{ij}^{kl}(t) - \rho_{ij}^{kl}(\mathbf{x}_0, t) = \nabla \rho_{ij}^{kl}(\mathbf{x}_0, t) \cdot \Delta \mathbf{x} + \lambda N_{ij}^{kl} + \Delta_{ij}^{kl}(t) + \varepsilon_{ij}^{kl}(t) \quad (2)$$

を得る。式(2)の左辺は計算できる値であり、観測データとして扱われる。右辺は補正項 $\Delta \mathbf{x}$ と整数値バイアスが未知であり、式(2)の方程式を複数の衛星・複数のエポックについて計算し、連立させて解くことで相対位置を推定することができる。変位を求める場合には、近似位置を初期位置とし、補正項を変位と読み替えればよい。

さて、変位が発生していない場合には右辺第一項はゼロとなる。すなわち、式(2)に初期位置を代入すると、右辺の第一項目はゼロとなり、式(2)の左辺の小数部分はアンテナノイズとホワイトノイズの和で表されることが分かる。2 日目以降の変位を解析する際には、初日のデータで解析したアンテナノイズ（式(2)の左辺部分の小数点以下）を用い、これを 2 日目以降のデータで計算される式(2)の左辺から引けばよいことが分かる。

3 解析に使用する計測データ

本研究では、アンテナノイズの時間安定性を検証するために、採石の工事現場にて連続的に観測されたデータを用いる²⁾。このサイトでは、基準点を含めて 9 点にセンサノードを設置しており、サンプリング間隔 1 秒で 240 秒間のデータを 1 日 4 回取得した。また、センサノードの設置場所は岩盤の露出部分であること、また他の変位モニタリングシステムにおいても変位が検出されていないことから、観測データに変位の影響は含まれていないものと思われる。すなわち、式(2)の

キーワード：L1GPS, アンテナノイズ, 時間安定性, 現場実証試験

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 TEL：04-7124-1501

左辺の計算結果は、アンテナノイズの時間変化に相当するものと考えられる。図-1 は、ある 2 点間の相対位置を 45 日間に渡り解析した結果の一例を示している。解析では、1 日分のデータを連立して変位を計算している。図は上から東西、南北、上下方向を表している。縦軸は $\pm 3[\text{cm}]$ の幅にそろえており、横軸は経過日数である。赤がアンテナノイズを削除した場合、緑がアンテナノイズを削除しなかった場合である。

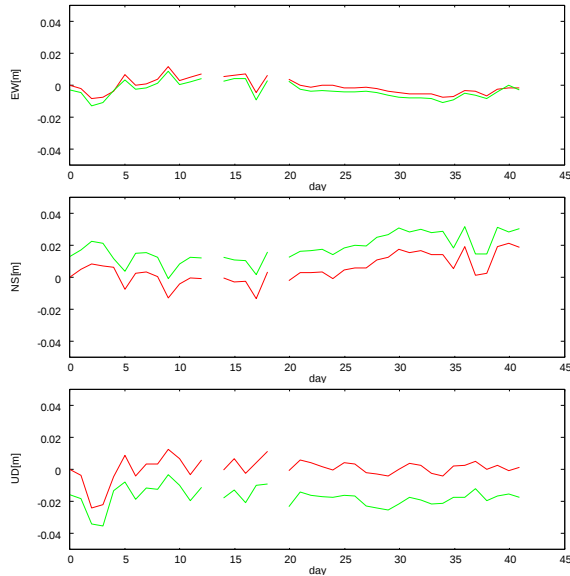


図-1 変位の推定結果の例

図-1 から、変位の推定結果には数 cm のばらつきがあることが分かる。また、アンテナノイズの除去の有無に関わらず、平行移動しているように見える。通常、アンテナノイズを引くことにより、推定誤差を軽減することができるが今回の例ではその手法がうまく機能していない。

4 アンテナノイズの時間安定性の検討

図-1 に示される変位のばらつきの原因及びアンテナノイズ除去手法がうまく機能しなかった原因を検証するために、ノイズの時間変化を調べた。

図-2 に初日と 18 日の搬送波位相の二重差に含まれるアンテナノイズの時間推移を示す。これを見ると、初日のデータ（赤）にはアンテナノイズと思われる変化が見られるが、18 日目（緑）はランダムノイズのように見える。このようにアンテナノイズの様子が変化していることが分かる。また、18 日目は搬送波位相の二重差の値が 0 近辺にあることからノイズの少ないデータであったと言える。

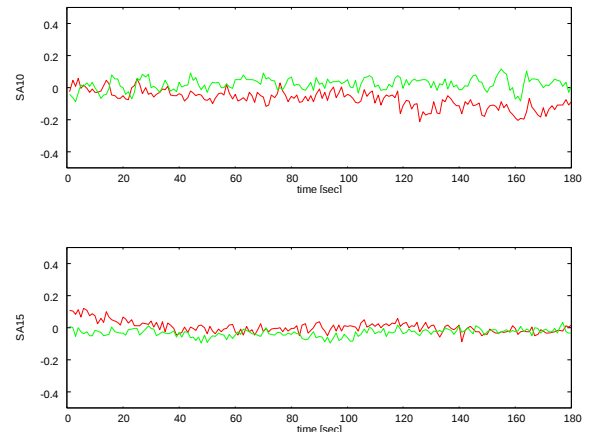


図-2 ノイズの時間変化の一例(衛星 10, 15)

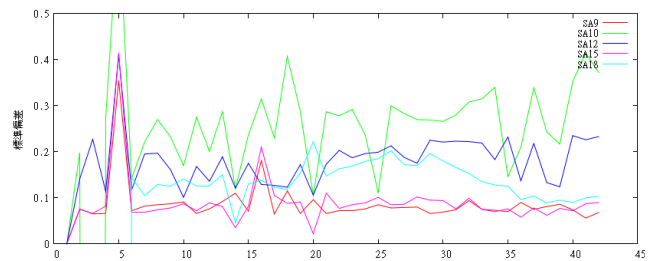


図-3 衛星毎のノイズの標準偏差の時間変化の一例

次にノイズの標準偏差の時間変化を図-3 に示す。図は搬送波位相の二重差からアンテナノイズを引いた後に標準偏差を計算し、その時系列をプロットしたものである。アンテナノイズをうまく除去できた場合、標準偏差はほぼ一定の値をとる。図-3 を見るとノイズの標準偏差が大きくばらつく衛星もあり、アンテナノイズが日々変化していることが分かる。

5 まとめ

本研究では、実現場で得られた L1 搬送波位相のデータを解析し、アンテナノイズの時間安定性について解析した。その結果、アンテナノイズは衛星によっては日々変動していることが分かった。

参考文献

- 1) 佐伯昌之, 井上忠治, 澤田茉伊, 志波由紀夫: GPS 無線センサネットワークを用いた準静的変位モニタリングの精度に関する基礎的検討, 土木学会応用力学論文集, Vol. 12, p. 975-982, 2009.
- 2) 澤田茉伊, 志波由紀夫, 佐伯昌之: 地盤変位モニタリングを目的とした GPS 無線センサシステムの現場実証試験, 土木学会第 65 回年次学術講演会, VI-495, 2010.