

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における高精度化

東京理科大学 学生員 ○高橋佑莉沙
東京理科大学 正会員 佐伯昌之

1. 研究の背景と目的

著者等は、安価な 1 周波 GPS (Global Positioning System) 受信機と無線センサネットワークの技術を結合した GWSN (GPS Wireless Sensor Network) の開発を進めてきた¹⁾。本システムは、小型のバッテリーで駆動させるため、システムを低消費電力にする必要がある。そのため、GPS の生データは 1 時間に 1 回 5 分のみ計測する間欠動作をしたり、無線通信時間を短縮するためにデータを圧縮したりしている。

本研究では、受信した圧縮データを使用して高精度の変位計測精度を得ることを目的としている。一般に、静的測位解析結果はノイズを多く含むため、Kalman Filter を適用して精度を向上させる²⁾。著者等の既往の研究においても、GPS データを静的測位解析した結果に Kalman Filter を適用している。しかし、実現場を想定した準静的変位モニタリング実験の結果を見ると、局所的に精度が悪化している時間帯が存在することがわかっている。本研究では、その原因を解明し、精度向上を図った。

2. 長期間における準静的変位モニタリングの再解析

著者等が行った実験の様子を図 1 に示す³⁾。東京理科大学野田キャンパス 5 号館屋上とその付近で、図 1 のように 3 カ所にセンサを配置し、GPS データを受信した。実験日時は 2013 年 11 月 20 日～2014 年 2 月 7 日である。また、この実験では ID3 のみに、最初の 8 日間静止、次の 24 日間で東に 90mm、次の 25 日間で北に 90mm、次の 24 日間で鉛直上向きに 90mm の変位を与えている。また、データは 1 時間に 1 回、1Hz サンプリングで 5 分間計測された。

受信したデータを静的測位解析した結果を図 2 に示す。ここで、横軸を経過日数、縦軸をそれぞれ EW(東西)、NS(南北)、UD(鉛直)軸方向の変位とし、赤線は ID2 を基準局とした ID3 の変位、緑線は正しい変位を表している。さらに、この結果に変位がランダムに発生するモデルを用い、Kalman Filter を適用した結果を図 3 に示す。ただし、システムノイズの分散は $3.0 \times 10^{-8} [m^2]$

にした。ここで図 2 の解析結果を見ると、突然精度が悪化する時間帯が存在していることがわかる。このデータに注目して、Kalman Filter を適用した結果を図 3 で確認すると、補正後も精度は悪化している。Kalman Filter では、推定値の分散共分散行列の逆行列を重みとして使用している。そのため、静的測位解析の結果が悪化しても、分散共分散行列が等しく悪化すれば、Kalman Filter 適用後の精度は悪化しないはずである。図 3 で精度が悪化している箇所の分散共分散行列の値を確認したところ、特別な悪化は見られなかった。

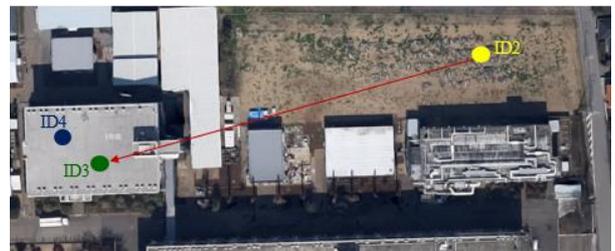


図 1. 実験場所

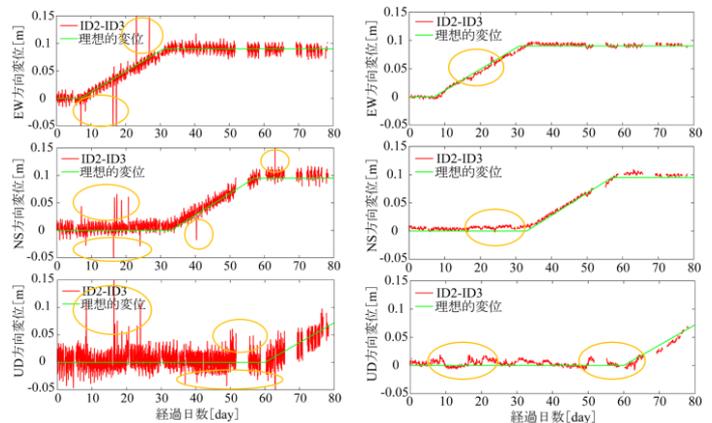


図 2. 変位解析結果

図 3. Kalman Filter 適用

3. ノイズを多く含むデータの排除

2 章より、精度悪化の原因を調べたところ、観測データの中にノイズを多く含むものが存在していたことがわかった。そこで、これらのデータを排除することによる精度向上を目指した。

キーワード：無線センサネットワーク、GPS、変位モニタリング

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(代)

GPS 静的測位解析では、使用衛星ごとに搬送波位相の二重差を算出している。5 分間の観測における搬送波位相の二重差の時系列データの一例を図 4 に示す。横軸は時間、縦軸は二重差を表し、赤のプロットは 1 秒間隔の二重差、緑線は近似直線、青の三角は切片、青の矢印は傾きである。一般に二重差は、近似位置と真の位置が近い場合に傾きと切片が小さな直線になる。そのため、1 つ前の推定値を近似位置として代入する場合、変位が小さければ二重差の傾きと切片も小さくなる。よって、傾きと切片が 0 から大きく離れているデータを排除することで、異常データを削除できる可能性がある。ただし、実際には図 4(c)のようにノイズを少しだけ含んでいるものも存在する。

準静的変位モニタリングにおいて、観測と観測の間に変位が生じる可能性がある。そこで著者等は、観測と観測の間の変位量が 1cm 以下ならば、正しい変位モニタリングができるよう閾値を設定することとした。そこで、相対位置の近似値にそれぞれ $\pm 1\text{cm}$ の変位量を与え、静的測位解析を行った。この時の二重差の時系列データの近似直線の傾きと切片の分布を図 5 に示す。ここで、横軸はサンプル番号、縦軸はそれぞれ傾きと切片を表す。さらに、図 5 の傾きと切片の頻度分布を図 6 に示す。この時、横軸をそれぞれ傾きと切片、縦軸を頻度とする。この頻度分布の 95% 信頼区間である、標準偏差の 2 倍値を算出したところ、傾きは 0.03、切片は 0.2 となった。本研究では、これらの傾きと切片の値を閾値として設定した。

以上より、観測と観測の間に 1cm 以下の変位が生じるものとして、傾きの絶対値が 0.03 より小さく、切片の絶対値が 0.2 より小さいという条件が当てはまるデータのみを使用し、静的測位解析を行った結果を図 7 に、さらに Kalman Filter を適用したものを図 8 に示す。図 7 より、図 2 で見られた局所的な精度悪化が減っていることは明らかである。また図 8 においても、図 3 における精度悪化が減っていることがわかる。

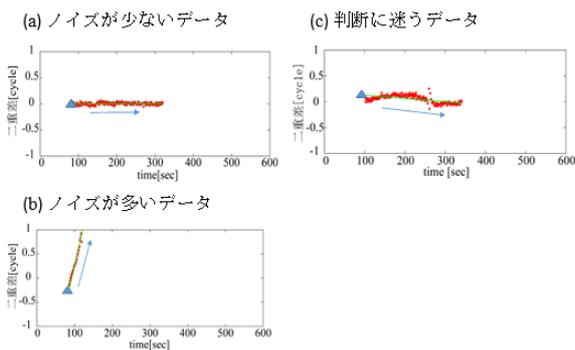


図 4. 二重差の時系列データ

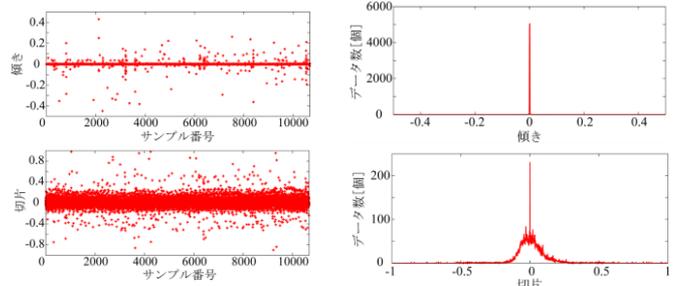


図 5. 傾きと切片の分布

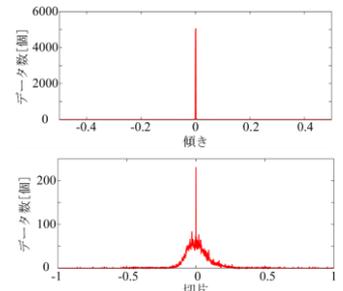


図 6. 頻度分布

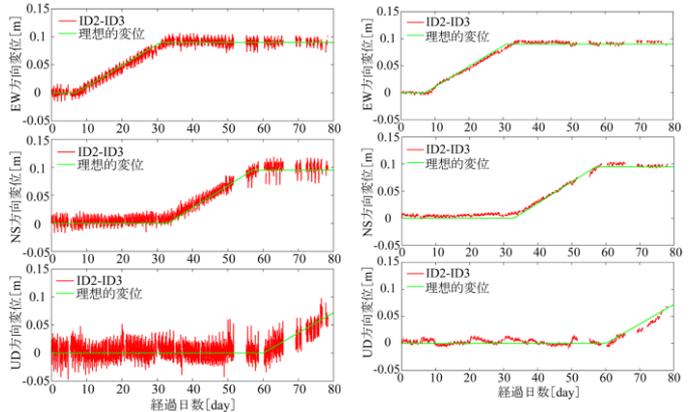


図 7. データ排除後

図 8. Kalman Filter 適用

4. まとめ

本研究では、GWSN を用いた準静的変位の計測精度を向上させることを目的とし、実現場を想定した実験データの静的測位解析を行った。ここで、GWSN は低消費電力化のために間欠動作していることから、観測の度に衛星を捕捉する必要がある。そのため、衛星の初期不良による異常データが見られていた。また、受信データは圧縮をしているため、SN 比等のデータを受信していない。よって、SN 比でフィルタをかけることもできない。そこで本研究では、搬送波位相の二重差の時系列データの傾きと切片にフィルタをかけることにより、異常データを排除するというアルゴリズムを組み込んだ。それにより、精度が向上するという結果が得られた。

参考文献

- 1) 佐伯昌之, 澤田茉伊, 志波由紀夫, 小國健二: 準静的変位モニタリングのための GPS 無線センサネットワーク, 土木学論文集 A2(応用力学), Vol.67, No.1, p25-38, 2011.
- 2) 清水則一, 安立寛, 小山修治: GPS 変位モニタリングシステムによる斜面変位計測結果の平滑化に関する研究, 資源・素材学会誌, Vol.114, pp.397-402, 1998.
- 3) 中村美貴, 佐伯昌之: GPS 無線センサネットワークを用いた変位計測精度, 土木学会講演会論文集.