

GPS 無線センサネットワークを用いた変位モニタリングにおける解析手法の検討

東京理科大学 学生員 ○高橋 佑莉沙
 東京理科大学 学生員 西 宏治郎
 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、多点高密度に変位を計測することを目的として、安価な1周波GPS(Global Positioning System)と無線センサネットワークの技術を結合したGPS無線センサネットワークの開発を進めてきた¹⁾。これまで、実現場を想定した環境下において、準静的な変位を仮定すれば1cm程度の精度で変位を推定できることが確認されている²⁾。一方で、短時間で比較的大きな変位が生じる場合については想定していない。

そこで本研究では、大きな変位が生じる場合にも、本システムで変位を推定できる解析手法について検討する。

2. 本研究における変位解析手法

一般に1周波GPSの観測方程式は次式で表される³⁾。

$$\mathbf{U}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{x} + \lambda\mathbf{N} + \mathbf{e}(t) \quad (1)$$

ここに、 $\mathbf{U}(t)$ は修正された搬送波位相の二重差を成分にもつ観測ベクトル、 $\mathbf{A}(t)$ は受信機と衛星の位置から計算される係数行列、 \mathbf{x} は位置に関する3成分の未知ベクトル、 λ は搬送波の波長(約19cm)、 \mathbf{N} は整数値バイアスを成分とする未知ベクトル、 $\mathbf{e}(t)$ はノイズベクトルである。この連立方程式は、捕捉した衛星の数を N とすると、 $N-1$ の方程式と $N+2$ の未知数をもつ。

準静的な変位を解析する場合には、受信機の位置が数cmの精度で既知であることを仮定して式(1)から整数値バイアス \mathbf{N} を求めることができる。この場合、未知数は実質的に3つとなり、常に方程式の数の方が多いため、最小二乗法により未知ベクトル \mathbf{x} は推定可能となる。

一方、波長 λ 程度の大きさの変位が発生した場合には、未知ベクトル \mathbf{x} と整数値バイアス \mathbf{N} を推定することになる。この時、 \mathbf{N} はフロート解 $\hat{\mathbf{N}}$ として推定されるため、式(2)の目的関数 J が最小になるような整数ベクトル \mathbf{N} をFixする必要がある。

$$J = (\hat{\mathbf{N}} - \mathbf{N})^T \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{N}}}^{-1} (\hat{\mathbf{N}} - \mathbf{N}) \quad (2)$$

ここで、 $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{N}}}$ は $\hat{\mathbf{N}}$ の分散共分散行列である。式(2)より整数値バイアスのFix解 \mathbf{N} が決まれば、未知ベクトル \mathbf{x} を推定することができる。

また、本研究では修正された搬送波位相の二重差の近似直線を用いて変位を解析している¹⁾。

3. 大きな変位における解析手法の検討

3.1. 実験概要

著者等が行った実験の様子を図-1に示す。実験は、上空が開けた4階建てのビル(東京理科大学野田キャンパス5号館)の屋上と三方をビルで囲まれた空き地で行った。実現場を想定し、センサID1, 2は屋上に、ID3は空き地に固定し、約80mの基線長と約15mの高低差を設けた。また、1Hzサンプリングで24時間連続のGPSデータを受信した。この時、受信にはNovatel社製の1周波GPS受信機OEMstarと測量用アンテナを使用した。実験日時はそれぞれ、ID1→ID2が2013年5月8日、ID1→ID3が2014年12月12日である。

3.2. 従来手法によるFix率の検証

24時間連続データから4分間のデータを切り出し、先に述べた手法で解析した。そして、この操作を1秒ずつらして約86400(24×60×60)回行った。また、仰角マスクは15度に設定し、SN比が35dB以上のデータを解析に使用することとした。本研究では、Fixしたとみなせる閾値を、静的測位解析結果のratio値が5以上の場合(ratio>5)と3以上の場合(ratio>3)について考

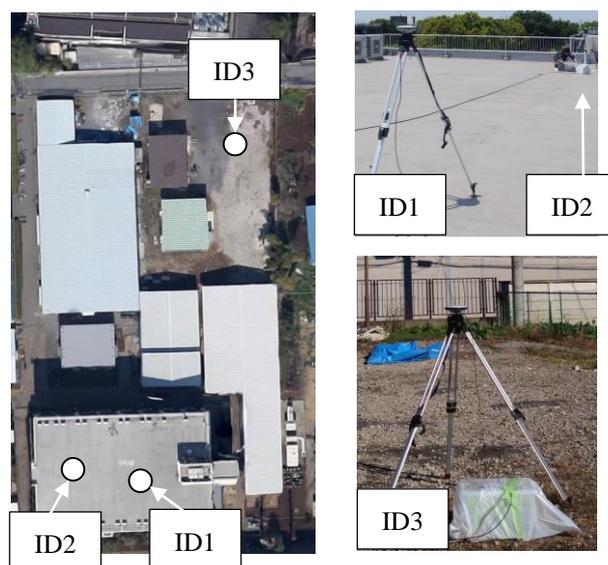


図-1 変位モニタリング実験の様子

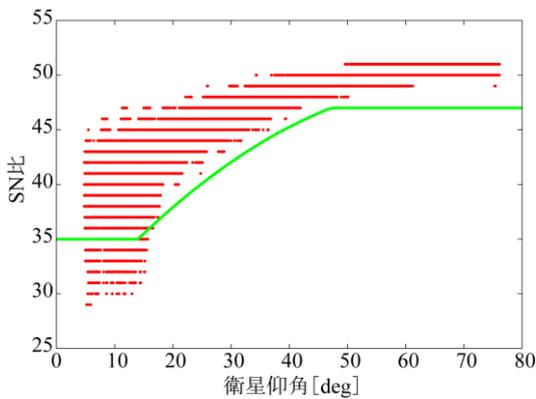
キーワード：無線センサネットワーク、GPS、変位モニタリング

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)

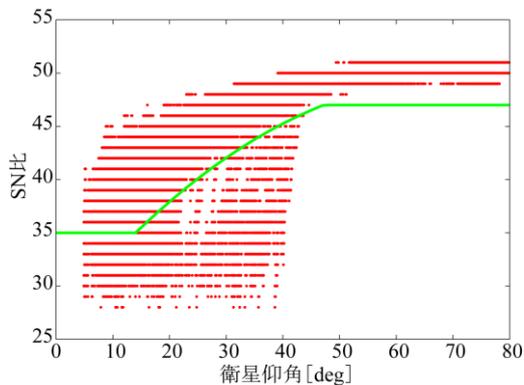
えた。また、その中で間違えた整数値バイアスを決定した割合をミス Fix 率とした。その結果、ID1→2 では平均衛星数が 7.57 個、Fix 率が ratio>5 で 97.27%、ratio>3 で 98.85%、ミス Fix 率は共に 0%となった。ID1→3 では平均衛星数が 7.06 個、ratio>5 で Fix 率が 70.48%、ミス Fix 率が 0.64%、ratio>3 で Fix 率が 79.45%、ミス Fix 率が 1.29%となった。これより、大きな変位を推定するには、性能が不十分であることがわかった。そこで、Fix 率を向上させるための解析手法について検討を行った。

3.3. 仰角マスクの変更

情報量を増やすため、仰角マスクを 15 度から 5 度に変更した。これにより、ID1→2 では平均衛星数が 8.88 個、Fix 率が ratio>5 で 98.17%、ratio>3 で 99.27%、ミス Fix 率は共に 0%となった。ID1→3 では平均衛星数が 7.46 個、ratio>5 で Fix 率が 70.98%、ミス Fix 率が 0.30%、ratio>3 で Fix 率が 81.21%、ミス Fix 率が 1.08%となった。これより、使用衛星数は増加したが Fix 率に大きな改善が見られなかった。これは、増えた衛星の中にノイズを多く含むものがあつたからである。よって、ノイズを多く含むデータを排除する方法について検討することとした。



a) ID1→2 (理想的な環境)



b) ID1→3 (実現場を想定した環境)

図-2 衛星仰角と SN 比の関係

3.3. SN 比フィルターの導入

図-2 は ID1→2 と ID1→3 で得られた衛星仰角と SN 比の関係である。異常なデータは SN 比が低下する傾向がある。そこで、仰角から想定される SN 比よりも著しく低い SN 比をもつデータを排除することで、Fix 率の改善を図った。その結果、ID1→3 では ratio>5 で Fix 率が 74.03%、ratio>3 で 83.32%に改善された。ただし、ミス Fix 率も ratio>5 で 0.52%に、ratio>3 で 1.29%に増加してしまった。一方、ID1→2 では元々理想的なデータであったため、Fix 率の変化は見られなかった。以上の Fix 率の改善結果について表-1 にまとめた。

表-1 Fix 率の比較

a) ratio>5 で Fix するとした場合

ratio>5	ID1→2		ID1→3	
	Fix率	ミスFix率	Fix率	ミスFix率
従来	97.27	0.00	70.48	0.64
仰角5度	98.17	0.00	70.98	0.30
SN比フィルター	98.17	0.00	74.03	0.52

b) ratio>3 で Fix するとした場合

ratio>3	ID1→2		ID1→3	
	Fix率	ミスFix率	Fix率	ミスFix率
従来	98.85	0.00	79.45	1.29
仰角5度	99.27	0.00	81.21	1.08
SN比フィルター	99.27	0.00	83.32	1.29

4. まとめ

本研究では、GPS 無線センサネットワークを用いて大きな変位を推定する場合を想定し、Fix 率を改善させる手法を検討した。使用衛星数を増やすため、仰角マスクを低仰角に変更したところ、Fix 率に改善は見られなかった。そこで、著しく低い SN 比をもつデータを排除して解析したところ、Fix 率に改善が見られた。

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) 高橋佑莉沙, 佐伯昌之: 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, 土木学会講演会論文集, 2015.
- 3) Hofmann-Wallenhof, B., Lichtenegger, H. and Collins, J.: GPS, Theory and Practice, SpringerWienNewYork, 2001.