

# GNSS 測位に基づいた低速移動ロボットにおける 移動ベクトル推定手法の精度評価

## The Accuracy Evaluation of Successive Moving Baseline Estimation Method for a Slow Speed Robot Based on GNSS Positioning

林宏樹<sup>1</sup>, 梅村郁仁<sup>1</sup>, 小矢美晴<sup>2</sup>, 久保幸弘<sup>1</sup>

Hiroki Hayashi<sup>1</sup>, Fumihito Umemura<sup>1</sup>, Yoshiharu Koya<sup>2</sup>, and Yukihiko Kubo<sup>1</sup>

立命館大学<sup>1</sup>, 神戸市立工業高等専門学校<sup>2</sup>

Ritsumeikan University<sup>1</sup>, Kobe City College of Technology<sup>2</sup>

### 1 はじめに

GNSS(Global Navigation Satellite System) はさまざまな場面で使用されており, その測位精度に対する要求はますます厳しくなっている. 本研究では低速で移動と停止を繰り返すイチゴ自動受粉ロボットに焦点を当て, その移動ベクトル推定法の開発を行っている. ロボットには単眼のカメラが搭載され, ステレオ法に基づいてロボットから受粉箇所までの距離を推定し, アームを伸ばし受粉させる. このとき, ロボットの移動ベクトルを高精度に推定することが重要である.

### 2 提案手法

ロボットは座標  $u_0$  から  $u_N$  まで  $N$  エポックかけて移動する. 本研究におけるロボットは 50 [cm] の距離を 1 分程度で移動し, データ更新間隔 (エポック) は 1 秒である. あるエポック  $k$  におけるロボットの位置座標を  $u_k$  とする. 衛星  $p$  から得られるコード擬似距離, 搬送波位相観測量をそれぞれ  $\rho_i^p(k)$ ,  $\Phi_j^p(k)$  とする. 下添え字  $i, j$  は, それぞれ  $i = 1$  が C/A,  $i = 2$  が P(Y) コード擬似距離,  $j = 1$  が L1,  $j = 2$  が L2 周波数帯を意味する [1]. 以下, 式表示簡略化のため観測量を \* で表記する. 衛星  $q$  についても同様の観測量が得られているため,  $p, q$  間で各観測量の差  $*^{pq}(k) \equiv *^p(k) - *^q(k)$  を計算する. さらに, エポック  $k-1$  についても同様の観測量が得られているため, 連続するエポック間でこれらの差  $*^{pq}(k, k-1) \equiv *^{pq}(k) - *^{pq}(k-1)$  を計算する. これにより, 観測量に含まれる誤差要素を消去できる.

ここで, ロボットは低速で移動するため, 速度を微小な平均 0 のガウス性白色雑音として表現できると仮定すると, 状態方程式は (1) 式のように表現できる.

$$x(k+1) = x(k) + w(k) \quad (1)$$

得られた観測量に含まれる非線形な要素を線形化し, 複数の衛星 ( $p = 1, q = 2, \dots, n_s$ ) についてコード擬似距離, 搬送波位相観測量をそれぞれ  $y_i, y_j$  とベクトル表記し次の観測方程式を得る.

$$y(k) = H(k)x(k) + v(k) \quad (2)$$

式 (2) の要素は以下のように定義される.

$$y(k) \equiv \begin{bmatrix} y_i \\ y_j \end{bmatrix}, H(k) \equiv \begin{bmatrix} G^{pq} \\ G^{pq} \end{bmatrix}, v(k) \equiv \begin{bmatrix} \varepsilon_i^{pq} \\ \varepsilon_j^{pq} \end{bmatrix}$$
$$G^{pq} \equiv \begin{bmatrix} g_{\hat{u}_{k-1}}^{12 \text{ T}}, & g_{\hat{u}_{k-1}}^{13 \text{ T}}, & \dots, & g_{\hat{u}_{k-1}}^{1n_s \text{ T}} \end{bmatrix}^{\text{T}}$$
$$x(k) \equiv u_k - \hat{u}_{k-1}$$

$g_{\hat{u}_{k-1}}^{pq}$  は既知の  $1 \times 3$  ベクトルであり,  $\varepsilon_i^{pq}, \varepsilon_j^{pq}$  は観測雑音である. また, 仰角の一番高い衛星を  $p = 1$ , その他使用した衛星を  $q = 2, \dots, n_s$  としている. カルマンフィルタを (1), (2) 式に適用し,  $k = 1, \dots, N$  の場合について移動ベクトル  $u_k - \hat{u}_{k-1}$  を推定する. したがって, 推定値の総和が最終的なロボットの移動ベクトル  $u_N - u_0$  となる.

推定された移動ベクトルには主に建物などの周辺環境や衛星配置に依存する数ミリレベルの微小な誤差が含まれている. この誤差は数分間, 衛星配置が変わらず一定の環境下であればゆっくり変化するため, 一定のバイアス誤差とみなすことができる. そこで, バイアス誤差をロボット停止時の測位結果を利用して推定し, 移動時に推定した移動ベクトルを補正する.

### 3 実験結果

以上の理論を実際の受信機データに適用し, 実験を複数回行った. RTK 法による結果を基準とし, 提案手法の精度を評価した.

表 1 実験結果

The error with point $u_N$ [cm]			
Data 1	E	1.675	1.677
	N	0.0686	
Data 2	E	-0.773	0.988
	N	0.614	
Data 3	E	0.150	0.432
	N	0.405	

RTK 法による到達座標  $u_N$  に注目するとそれぞれ約 1[cm] の誤差となり, 簡便な理論で誤差補正の手法が機能し移動ベクトルが推定できていることがわかった.

### 4 まとめ

本研究では低速で移動するロボットの移動ベクトルを 1 台の GNSS 受信機を用いて高精度に推定する手法を提案した. 実験結果から提案手法は RTK 法に追従する精度で実装できていることが確認できた. 今後の課題として, ロボットの色や衛星配置に関係なく, RTK 法と同等の精度を実現できるように提案手法をさらに改善することが挙げられる.

### 参考文献

- [1] 杉本 末雄, 柴崎 亮介 (編): GPS ハンドブック, 朝倉書店, 2010.