チャネル間ハードウェアバイアス較正による RTK-GPS/GLONASS測位の性能評価

山田 英輝*・高須 知二**・久保 信明***・安田 明生****

Evaluation of Positioning Performance for RTK-GPS/GLONASS with Calibrated Inter-channel Hardware Biases

Hideki YAMADA, Tomoji TAKASU, Nobuaki KUBO and Akio YASUDA

Abstract

The purpose of this paper is to improve GLONASS positioning performance in RTK-GPS/GLONASS between different types of receivers. Tables of inter-channel code biases in various receivers were obtained with a zero baseline test in order to examine the magnitude of inter-channel code bias between the receivers. We showed the improvement of fix rate and positioning accuracy of RTK-GPS/GLONASS between different types of receivers by using table of the calibrated GLONASS biases and partial ambiguity fixing solution of GPS and GLONASS for the aid of GPS carrier-phase ambiguity resolution. Furthermore, we showed that the bias correction method suggested in this paper is applicable to RTK-GPS/GLONASS with multi-epoch measurements as well as with single-epoch measurements.

Keywords: RTK, GLONASS, FDMA, Inter-channel hardware bias キーワード: RTK, GLONASS, FDMA, チャネル間ハードウェアバイアス

1. はじめに

近年、ITS (Intelligence Transport Systems) と呼ば れる移動体の自動運転や衝突防止を目的とした研究 開発が行われている。実際に GPS はその位置推定手 段の一つとして検討されている⁽¹⁾。また、2 台の受 信機により搬送波位相(キャリア)のアンビギュイ ティ(受信機-衛星間距離内における不確定な波数) を整数解決(Fix)することで cm 級の測位精度が得 られる RTK 測位への期待もある⁽²⁾。例えば、シング ルエポック (一回の観測)の搬送波位相及びコード 観測値のみを使用するアンビギュイティ決定(瞬時 AR: Ambiguity Resolution)は、高層ビル群に囲まれ た都市部で発生する搬送波位相のサイクルスリップ の検出が不要な移動体 RTK 手法の一つである⁽³⁾。

また、ロシアの GLONASS などの GPS 以外の測位 衛星を複合することにより、都市部における RTK 測 位の利便性や測位精度の改善が報告されている⁽⁴⁾。 国内では、電子基準点で使用する GPS 受信機を GPS/GLONASS 対応の受信機 (Topcon 社製 NET-G3) へ入れ替える計画が進められている⁽⁵⁾。ここで、将 来的に GPS/GLONASS 電子基準点を利用した RTK-GPS/GLONASS 測位を行う場合に、利用者側の 受信機と基準局側受信機との間でメーカーや機種が 異なることもあり得る。しかし、異機種受信機間(以

* 学生会員 東京海洋大学 (〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6) d082018@kaiyodai.ac.jp
** 非会員 東京海洋大学海洋工学部 産学官連携研究員 *** 正会員 東京海洋大学海洋工学部 准教授
**** 正会員 東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科 特任教授

下、異機種間と呼ぶ)で RTK-GPS/GLONASS 測位を 行う場合に、GLONASS 信号の受信機回路側で発生 するハードウェアバイアスの影響により GLONASS のキャリアアンビギュイティを Fix できない問題が 指摘されている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。このような異機種間の GLONASS のキャリアアンビギュイティ決定の困難 さを避けるために、GLONASS のキャリアアンビギ ュイティを決定せずに、GPS のキャリアアンビギュ イティだけを決定する手法 (以下、Partial fixing と呼 ぶ)が提案されている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

先行文献⁽⁹⁾で採用されている Partial fixing では、 受信機内部の Narrow band loop filter により、マルチ エポックで GLONASS のコード観測値に対してス ムージング処理を行い、GLONASS のコードハード ウェアバイアスのみを較正しており、バイアス補正 前に比べて、フロート解の測位誤差の改善や cm 級 の測位解が得られるまでの到達時間の短縮が、性能 評価の結果から示されている。

ただし、以上の手法ではオンライン・リアルタイ ムでコードハードウェアバイアスを推定するために、 一定期間の観測が必要で、測位開始後すぐに、特に シングルエポックで RTK 解を得ることができない という問題点があった。この問題点は、事前にオフ ラインでコードハードウェアバイアスを推定し、そ れをテーブルとして受信機に保持し、オンラインで はそのテーブルを使ってGLONASS コード二重差観 測値に含まれるコードハードウェアバイアスを補正 することにより改善することが可能である。

本研究では、まず幾つかの異機種間受信機の組み 合わせでコードハードウェアバイアスを推定し、そ の特性を明らかにする。また、推定したコードハー ドウェアバイアスによる較正を異機種間 RTK-GPS/GLONASS 測位に適用して、その測位性能 を評価することにより、提案手法の有効性を確認す る。

2. チャネル間ハードウェアバイアスの較 正

2.1 異機種間 RTK-GPS/GLONASS 測位

Fig.1 (up) に同機種間、Fig.1 (bottom) に異機種間 のRTK-GPS/GLONASS 測位のFix 解の測位結果を示 す。RTK-GPS/GLONASS 測位のFix 解とは、GPS 及 びGLONASS のキャリアアンビギュイティの整数解 を固定して再び最小自乗法で解き直した cm レベル の測位解を意味する。Fig.1 は、時系列における Fix 解の測位誤差 (単位は m) のプロットを表している。 Fig.1 の縦軸の E-W は東西方向、N-S は南北方向、 U-D は上下方向の Fix 解の測位誤差を意味する。横 軸は時間を表し、単位は秒である。また、Fig.1のキ ャプションの BL は Baseline の略で、基線長を表し、 RATIO は Fix 解の割合を表す。なお、測位誤差の真 値は、基線解析ソフト RTKLIB⁽¹⁰⁾により得られた Fix 解の測位解を真値としている。また、Fig.1 中の NovAtel 及び JAVAD はそれぞれ GNSS 受信機メーカ ーの受信機名の総称と定義するが、具体的な受信機 の機種については後述する Table 1 を参照されたい。 同機種間の RTK-GPS/GLONASS 測位解では、Fix 率 (Fix 解が得られたエポック数/全観測エポック数)が 99%であるのに対して、異機種間においては、 GLONASS を加えることによって、Fix 率が 22%程 度しか得られないことがわかる。前述の先行文献か らも指摘されているように、異機種間の RTK-GPS/GLONASS 測位においては、GLONASS の ハードウェアバイアス項の影響により、GLONASS のキャリアアンビギュイティ項が整数波数でなくな るため、Fix 率が低下すると考えられる。





Fig.1 Positioning errors of fix solutions with instantaneous RTK-GPS/GLONASS with dual frequency measurements between NovAtel-NovAtel (up) and between NovAtel-JAVAD (bottom). BL= 300 m.



Fig.2 Temporal variation of DD (double difference) with only raw zero baseline measurements (up) and with raw zero baseline measurements subtracted by computed geometric distances (bottom).

2.2 チャネル間ハードウェアバイアス

チャネル間ハードウェアバイアスとは、主に受信 機 RF 回路を各衛星の (コード及びキャリアの) 信 号が通過するときの信号間における回路遅延時間差 のことであり、バイアス値は周波数特性を持ってい る。GPS 信号はCDMA (Code Division Multiple Access) 方式であるため、各 GPS 衛星信号の回路遅延量は、 受信機の構造に関わらず、二重位相差(以下、二重 差と呼ぶ)によってほぼ相殺できる⁽⁶⁾。一方で、 GLONASS 信号は FDMA であるため、衛星ごとに中 心周波数が異なる。そのため、周波数特性を持って いる回路遅延量も GLONASS 衛星ごとに異なる。し たがって、GLONASS 信号が通過する受信回路では、 各 GLONASS 信号間で回路遅延時間に差が生じる ⁽⁹⁾⁽¹¹⁾。各 GLONASS 衛星の信号周波数に対応する回 路遅延時間はそれぞれ異なるが、受信機の構造が似 ている同機種間では時間遅延量の変動が似ているた め、この時間遅延量は二重差によってほぼ取り除く ことができる。しかし、受信機の構造が異なる異機 種間では相殺されずに二重差の時間遅延量 (ハード ウェアバイアス)として残る⁽⁶⁾。ただし、受信機の 電源を停止後に再び起動した後も、これらのハード ウェアバイアスの値は変化しない⁽⁹⁾。また、キャリ

アのハードウェアバイアスの温度変動は、7 度で 0.57 mm 程度であると報告されている⁽¹²⁾。

2.3 ゼロ基線解析

ゼロ基線解析とは、同一の GNSS アンテナを共有 して、そのアンテナケーブル端に取り付けられたア ンテナ分配器に受信機群を接続して、信号の位相差 を取ることにより受信機から出力される信号の雑音 レベル等を調べる試験を指す。GLONASS コード観 測値のゼロ基線二重差によって、理論的には、幾何 学的距離項、軌道誤差、クロック誤差、大気圏遅延、 マルチパス誤差を除去でき、二重差の受信機雑音お よびハードウェアバイアスが残る。時間平均によっ て雑音を低減することで、ハードウェアバイアスを 抽出することができる。しかし、実際は、Fig.2 (up) に示すように、コード観測値の二重差の値をプロッ トすると、受信機メーカーごとに観測値を出力する 時刻タイミングに違いがあるため、受信機間の時刻 タイミングの差が現れてしまう。ここで、コード観 測値の二重差観測値に対して衛星-受信機間の幾何 学的距離の二重差モデルを差し引く。この操作によ って、この時刻タイミング差を除去することができ て、コード観測値に含まれるハードウェアバイアス のみを抽出できる。なぜならば、計算モデルにも観 測値と同じ時刻タイミング差が含まれており、両者 の差分により、Fig.2 (bottom) に示すように、時刻タ イミング差がキャンセルされるからである。

2.4 GLONASS コードハードウェアバイアス

本論文では、ゼロ基線解析により 4 社 (JAVAD,NovAtel,Topcon,Trimble)の受信機間のハー ドウェアバイアスの大きさについて調べる。Table 1 にゼロ基線解析の実験条件を示す。Table 1 中の 2 行 目は受信機の機種を意味する。また、ゼロ基線解析 のため、4 台の受信機は Trimble の Zephyr 2 を共有 する。ゼロ基線データは、大学研究室屋上の 2009 年12月23日に取得した24時間データを使用する。 Fig.3 (up) に同機種間、Fig.3 (bottom) に異機種間の GLONASS の L1 コードハードウェアバイアスを示 す。横軸は GLONASS の L1 周波数帯域とする。縦 軸は二重差におけるバイアス値を表し、バイアス二 重差の基準衛星は slot 21 番号の GLONASS 衛星とす る。ゼロ基線解析の結果、同機種間のバイアス値は、 どの周波数についても 50 cm 以内である。一方、異 機種間のバイアス値の周波数変動は、受信機の組み 合わせによって異なり、1 m以上のバイアスが見ら れる。

次に Fig.4 (up) に同機種間、Fig.4 (bottom) に異機 種間の GLONASS の L2 コードハードウェアバイア スを示す。横軸は GLONASS の L2 周波数帯域とす る。L2 に関しては、同機種間、異機種間ともにバイ アスの周波数変動は 50 cm 以内である。異機種間で L2 ハードウェアバイアス値が小さい理由として、L2 コードの追尾ループにおける Early と Late 相関波形 の相関器幅が L1 コードに比べて小さいため、バイ アスの影響も小さくなることが報告されている⁽¹¹⁾。

Table 1 Experimental environment in the zero baseline test.

	JAVAD	NovAtel	Topcon	Trimble
Receiver	Legacy	OEMV	NET-G3	R7GNSS
type				
Antenna	Trimble (Zephyr 2)			
Site	Roof of our university (Open sky)			
Date	2009/12/23			
Total/	24 h/	20 h/	24 h/	24 h/
interval	30 s	30 s	30 s	30 s



Fig.3 DD of L1 inter-channel code biases with slot 21 toward GLONASS frequency number between the same types of receivers (up) and between different types of receivers (bottom).



Fig. 4 DD of L2 inter-channel code biases with slot 21 toward GLONASS frequency number between the same types of receivers (up) and between different types of receivers (bottom).

較正したハードウェアバイアスによる RTK-GPS/GLONASS 測位手法

3.1 異機種間 GLONASS キャリアアンビギュ イティの決定

この章では、瞬時 AR 決定における RTK-GPS/GLONASS 測位手法について説明する。 GLONASS 信号は FDMA 方式であるため、各 GLONASS 衛星は固有の周波数を割り当てられてい る。したがって、単純なキャリアの二重差では、 GLONASS 受信機間の受信機時計誤差を相殺するこ とができない。この問題を解決するために、この時 計誤差を推定する手法が提案されている⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾。本 論文では、式(1)のように、受信機時計誤差を推定 する代わりに、キャリア観測値の単位をサイクルか らメートルに変換し直すことで、受信機時計誤差を 除去している。ただし、単位変換する際には、 GLONASS キャリアの受信機間一重差が必要になる。 したがって、GLONASS キャリアの一重差アンビギ ュイティを推定した後、変換行列により二重差アン ビギュイティに変換して、整数最小自乗法の一つで ある LAMBDA 法⁽¹⁶⁾によって、確率的に正しいとさ れる二重差アンビギュイティ、すなわちキャリアの 波数整数部分を決定する。また、式(2)のように、 シングルエポック観測値による瞬時 AR 決定では、

観測値の数を増やすために、コード二重差の観測方 程式も必要となる。なお、本論文の RTK 測位性能の 解析では、一周波測定値を使用した場合と二周波測 定値を使用した場合の解析を行う。

本論文では、GLONASS コード二重差観測値に含 まれるハードウェアバイアスを補正するために、較 正したコードハードウェアバイアスのテーブルを使 用する。本論文のコードハードウェアバイアスのテ ーブルは、slot21 番号の GLONASS 衛星を基準衛星 とした場合の全 GLONASS 衛星 slot 番号に対する二 重差のバイアス値を意味する。また、任意の GLONASS 基準衛星の slot 番号におけるバイアス値 は式 (3) のように表すことができて、特定の GLONASS 基準衛星 slot 番号 (ここでは slot21) のコ ードハードウェアバイアスのテーブルがあれば、す べての GLONASS 衛星 slot 番号を基準衛星とした場 合のバイアス値を得ることができる。

$$\Phi_{rb}^{ij} \equiv \lambda_i \left(\phi_r^i - \phi_b^i \right) - \lambda_j \left(\phi_r^j - \phi_b^j \right)$$
$$= \rho_{rb}^{ij} + N_{rb}^{ij} + d \left(\Phi \right)_{rb}^{ij} + \varepsilon \left(\Phi \right)_{rb}^{ij}$$
(1)
$$P_{rb}^{ij} \equiv \left(n^i - n^i \right) - \left(n^j - n^j \right)$$

$$= \rho_{rb}^{ij} + d(P)_{rb}^{ij} + \varepsilon(P)_{rb}^{ij}$$
(2)
$$d_{rb}^{ij} = -d_{rb}^{si} + d_{rb}^{sj}$$
(3)

- $= -d_{rb}^{si} + d_{rb}^{sj}$ d_{rh}^{ij}
- :移動局,基準局 r, b
- : 衛星番号 i, j
- : バイアス二重差における基準衛星 S
- : キャリア波長 [m/cycle] λ
- : キャリア観測値 [cycle] ф
- : コード観測値 [m] р
- : キャリア二重差観測値 [m] Φ^{ij}_{μ}
- : コード二重差観測値 [m] P_{rh}^{ij}
- :幾何学的距離二重差 [m] ρ_{rb}^{ij}
- : キャリア及びコード二重差観測値より N_{rh}^{ij}
- 推定した二重差整数アンビギュイティ [m]
- :キャリアハードウェアバイアス二重差 [m] $d(\Phi)_{rh}^{ij}$
- : コードハードウェアバイアス二重差 [m] $d(P)_{rh}^{ij}$
- : キャリアマルチパス及び雑音の二重差 [m] $\mathcal{E}(\Phi)_{rh}^{ij}$
- : コードマルチパス及び雑音の二重差 [m] $\mathcal{E}(P)_{rh}^{ij}$

3.2 RTK-GPS/GLONASS 測位におけるキャ リアアンビギュイティの Partial fixing

GLONASS のキャリアアンビギュイティを Fix せ ずに、GPS のキャリアアンビギュイティのみを Fix するアンビギュイティ決定方法を Partial fixing と呼 ぶ。ここで、GLONASS のキャリアアンビギュイテ ィはフロート推定のままであるものの、GLONASS

観測値を使用することによって、GPS 単体に比べて 測位率やフロート解の測位精度が向上し、最終的に GPS のキャリアアンビギュイティ決定性能の向上に 寄与すると考えられる。また、異機種間では、較正 された GLONASS のコードハードウェアバイアスを 使用して GLONASS コード観測値を補正することで、 Partial fixing のフロート解の測位精度がより向上す ると考えられる。実際に、GLONASS のコードハー ドウェアバイアスを補正することで、補正前に比べ て、RTK-GPS/GLONASS 測位 (NovAtel-Trimble 基線) の一日のフロート解の測位結果の RMS 誤差が水平 方向で 10~20 cm、 垂直方向で 30 cm 程度改善するこ とが確認できている。次に、Fig.5 (up) に GPS のみ のフロート解、Fig.5 (bottom) に GPS+GLONASS の コードハードウェアバイアス補正済みのフロート解 の1日分の時系列の測位誤差(単位はm)を示す。 Fig.5 のキャプション中の E/N/U は順に、東西方向、 南北方向、上下方向のフロート解の1日分の RMS 誤差(単位は m)を表す。1 日分の RMS 誤差を比較す ると、GLONASS を追加することによって、GPS の みに比べてフロート解の測位精度が向上しているこ とがわかる。なお、どちらの測位結果も一周波測定 値のみを使用している。



Fig. 5 Positioning errors of float solution with only GPS, E/N/U (m): 0.27/0.42/1.02 (up) and with GPS + GLONASS, E/N/U (m): 0.25/0.29/0.65 (bottom). BL= 300 m (NovAtel-Trimble).

4. バ イ ア ス 補 正 に よ る RTK-GPS/GLONASS 測位性能の改善 評価

本章では、ハードウェアバイアス補正による異機種 間 RTK-GPS/GLONASS 測位性能の改善評価を行う。

4.1 評価手法

Table 2 に測位条件を示す。RTK-GPS/GLONASS 測位におけるアンビギュイティ決定は瞬時 AR をべ ースとした Partial fixing で、GLONASS のキャリア アンビギュイティはフロート推定のままとする。コ ードハードウェアバイアスの補正は本論文の較正手 法により得られたコードハードウェアバイアスのテ ーブルを使用する。本論文では、シングルエポック でのコードハードウェアバイアスのテーブルによる 補正効果を明らかにするために、瞬時 AR における 性能評価を行う。解析ソフトウェアは MATLAB で 作成したものを使用する。較正されたコードハード ウェアバイアスを使用して、GLONASS コード二重 差観測値を外部から補正する機能を有した RTK-GPS/GLONASS 測位計算ソフトウェアは現時 点で存在しない。そのため、本論文では MATLAB で開発した異機種間 RTK-GPS/GLONASS 測位プロ グラムを解析で使用する。なお、本節で使用する測 位プログラムは、これより前の節での解析で使用し た測位プログラムと相違は無い。測位性能の評価項 目は Fix 率と RMS 誤差とする。Fix 解の判定は ratio test で行い、ratio test の閾値は3とする。

Table 2 KIN broce	essing o	ptions

AR mode	Instantaneous AR	
AR method	LAMADA	
	Ratio test threshold:3	
Base length	300 m	
Rover receivers	NovAtel, JAVAD	
Base receivers	NovAtel, JAVAD, Topcon, Trimble	
Rover antenna	NovAtel (GPS702-GG)	
Base antenna	Trimble (Zephyr 2)	
Date	2009/12/23, 24h	
	(epoch intervals:30 s)	
Elevation mask	15 deg	
angle		

4.2 評価結果

Fig.6 (up) にバイアス補正前、Fig.6 (bottom) にバ イアス補正後の NovAtel-Trimble 基線の一周波 RTK-GPS/GLONASS 測位の1日分の時系列のFix 解 の測位誤差 (単位は m) を示す。バイアス補正前の Fix 率が32%に対して、補正後では、Fix 率は20% 程度改善していることがわかる。

Table 3 に基線ごとの一周波 RTK 測位の Fix 率及び

RMS 誤差の測位結果を示す。測位結果は、オープン スカイにおける1日分のFix 率およびRMS 誤差を表 す。



Fig. 6 Positioning plots of fix solution of single frequency RTK-GPS/GLONASS between NovAtel and Trimble on GLONASS ambiguity float solution without bias correction, E/N/U (m): 0.12/0.19/0.32 (up) and with bias corrections, E/N/U (m): 0.05/0.07/0.11 (bottom). BL= 300 m.

Table 3 Positioning acc	uracy and fix rate	s of RTK	with
single frequency	y measurements.		

Baseline		GPS +	GPS +
	Only GPS	GLONASS	GLONASS
		(Partial)	(Partial + bias)
500 III	Fix rate	Fix rate	Fix rate
	E/N/U (m)	E/N/U (m)	E/N/U (m)
NovAtel	49.5 %	31.9 %	52.1 %
-Trimble	0.07/0.09/0.25	0.11/ 0.17/ 0.31	0.05/ 0.07/ 0.11
NovAtel	45.5 %	41.5 %	47.0 %
-Topcon	0.09/ 0.17/ 0.39	0.10/ 0.16/ 0.27	0.07/ 0.09/ 0.15
NovAtel	29.9 %	31.9 %	33.8 %
-JAVAD	0.13/ 0.21/ 0.54	0.12/ 0.17/ 0.40	0.11/ 0.18/ 0.35
JAVAD	35.8 %	21.9 %	36.5 %
-Trimble	0.12/ 0.14/ 0.32	0.17/ 0.23/ 0.53	0.10/ 0.11/ 0.30
JAVAD	41.0 %	68.7 %	68.8 %
-Topcon	0.09/0.11/0.32	0.04/0.06/0.14	0.04/ 0.06/ 0.14

	1 1		
Baseline 300 m		GPS +	GPS +
	Only GPS	GLONASS	GLONASS
		(Partial)	(Partial + bias)
	Fix rate	Fix rate	Fix rate
	E/N/U (m)	E/N/U (m)	E/N/U (m)
NovAtel	98.9%	96.7%	99.0%
-Trimble	0.01/0.01/0.02	0.01/0.01/0.02	0.01/0.01/0.02
NovAtel	98.9%	96.4%	98.9%
-Topcon	0.01/ 0.01/ 0.02	0.01/0.01/0.02	0.01/ 0.01/ 0.02
NovAtel	98.2%	98.0%	98.5%
-JAVAD	0.01/0.01/0.02	0.01/0.01/0.02	0.01/0.01/0.02
JAVAD	98.1%	95.3%	97.0%
-Trimble	0.01/ 0.01/ 0.02	0.01/0.01/0.02	0.01/ 0.01/ 0.02
JAVAD	98.2%	98.0%	98.0%
-Topcon	0.01/0.01/0.02	0.01/0.01/0.02	0.01/0.01/0.02

Table 4 Positioning accuracy and fix rates of RTK with dual frequency measurements.

Table 3の1列目は、各受信機機種間における基線 (基線長: 300 m) を表し、2 列目は、GPS のみの RTK 測位、3列目は、バイアス補正をしていない RTK-GPS/GLONASS 測位 (Partial fixing)、4 列目は バイアス補正を行った RTK-GPS/GLONASS 測位 (Partial fixing)の測位結果を表す。Table 3 中の E/N/U は順に、東西方向、南北方向、上下方向の1日分の RMS 誤差 (単位は m) を意味する。バイアス補正後 のFix率及びRMS誤差は、バイアス補正前に比べて、 すべての基線で改善していることがわかる。また、 RTK-GPS 測位と比較しても、バイアス補正後の RTK-GPS/GLONASS 測位では、大部分の基線におい て高さ方向の RMS 誤差で 10~20 cm 改善している。 次に、Table 4 に基線ごとの二周波 RTK 測位の Fix 率及び RMS 誤差の測位結果を示す。二周波測位の 場合は、測位環境の良いオープンスカイにおける測 位結果であるため、どの基線及びどの測位モードに おいても、Fix 率は 95 % 以上で RMS 誤差も 1~2 cm である。

また、今回の結果は瞬時 AR における異機種間 RTK-GPS/GLONASS 測位の性能改善結果を示して いる。そこで、マルチエポック観測による測位手法 においても同様の性能改善結果を確認するために、 オープンスカイで取得した 1 時間 (1Hz)の NovAtel-Trimble 基線データを使用して、本手法 (Partial fixing + バイアス補正)を一周波観測値によ るマルチエポック測位への適用を行った。その結果、 RTK-GPS 測位の Fix 率が 99.8 % (ratio test が示すア ンビギュイティの分散比の平均:116.2) に対して、 RTK-GPS/GLONASS 測位の Fix 率は、バイアス補正 前及びバイアス補正後ともに 99.8 % (ratio test が示 すアンビギュイティの分散比の平均:バイアス補正 前 134.3、バイアス補正後 140.5) であった。したが って、この初期 評価 結 果より、本手法を適用 した RTK-GPS/GLONASS 測位では、バイアス補正前の RTK-GPS/GLONASS 測位や RTK-GPS 測位と比較し て、Fix 率は変わらないものの、Fix 解の信頼性は向 上することがわかった。

5. 結論

本論文では、異機種間の RTK-GPS/GLONASS 測位 の瞬時 AR 決定における性能評価を行った。まず、 ゼロ基線解析によって、異機種間の GLONASS コー ドハードウェアバイアスのテーブルを取得できた。 次に、異機種間 RTK-GPS/GLONASS 測位では、較正 したバイアスによる補正及び Partial fixing により、 RTK-GPS に比べて Fix 率及び測位精度が改善するこ とを定量的に示した。キャリアアンビギュイティの 決定性能は、フロート解の測位誤差が関係している ので、ゼロ基線解析によるコードハードウェアバイ アスの較正手法は、異機種受信機間 RTK-GPS/GLONASS 測位の Partial fixing の性能改善 評価の方法として妥当であるといえる。また、今回 の瞬時 AR に対する性能改善結果は、マルチエポッ ク観測による測位手法においても同様に当てはまる と考えられる。

参考文献

- (1) M. Omae, N. Hashimoto, T. Fujioka and H. Shimizu: The Application of RTK-GPS Steer-by-wire Technology to the Automatic Driving of Vehicle and Evaluation of Driver Behavior, IATSS RESEARCH, vol. 30, no.2, pp.29-38, 2006.
- (2) Uradzinski, M and Kim, D and Langley, Richard B: The Usefulness of Internet –based (NTrip) RTK for Navigation and Intelligent Transportation Systems, Proceedings of ION GNSS 2008, pp.1437-1445, 2008.9.6-19.
- (3) Pratt, M and Burke, B and Misra, P: Single Epoch Integer Ambiguity Resolution with GPS L1-L2 Carrier Phase Measurements, Proceedings of ION GPS 97, pp.1737-1746, 1997.9.16-19.
- (4) Ong, R.B and Petovello, M.G and Lachapelle, G: Assessment of GPS/GLONASS RTK Under Various Operational Conditions, Proceedings of ION GNSS 2009, pp.3297-3308, 2009.9.

- (5) GPS World: Topcon to Provide GPS Reference Stations for Japanese CORS GEONET, 2009.8.11.
- (6) Wanninger, L and Wallstab-Freitag, S: Combined Processing of GPS, GLONASS, and SBAS Code Phase and Carrier Phase Measurements, Proceedings of ION GNSS 2007, pp.866-875, 2007.9.25-28.
- (7) Boriskin, A and Zyryanov, G: Algorithms to Calibrate and Compensate for GLONASS Biases in GNSS RTK Receivers Working with 3rd Party Networks, Proceedings of ION GNSS 2008, pp.376-384, 2008.9.6-19.
- (8) Petovello, M and Takac, F: GLONASS inter-frequency biases and ambiguity resolution, Inside GNSS, pp.24-28, 2009.3.
- (9) Kozlov, D and Tkachenko, M and Tochilin, A : Statistical Characterization of Hardware Biases in GPS + GLONASS receivers, Proceedings of ION GPS 2000, pp.817-826, 2000.9.19-22.
- (10) RTKLIB: An open source program package for GNSS positioning, http://www.rtklib.com
- (11) Felhauer, T: On the Impact of RF Front-end Group Delay Variations on GLONASS Pseudorange Accuracy, Proceedings of ION GPS 97, pp.1527-1532, 1997.9.
- (12) Raby, P and Daly, P: Using the GLONASS System for Geodetic Survey, Proceedings of ION GPS 93, pp.1129-1138, 1993.9.
- (13) Dai, L: Dual-Frequency GPS/GLONASS Real Time Ambiguity Resolution for Medium-Range Kinematic Positioning, Proceedings of ION GPS 2000, pp. 1071-1080, 2000.9.19-22.
- (14) Wang, J: Modeling and quality control for precise GPS and GLONASS satellite positioning, PhD thesis, School of Spatial Sciences, Curtin University of Technology.
- (15) Kozlov, D: Instant RTK cm with low cost GPS+GLONASS C/A receivers, Proceedings of ION GPS 97, pp.1559-1569, 1997.9.16- 19.
- (16) Teunissen, P: The least-square ambiguity decorrelation adjustment: a method for fast GPS ambiguity estimation, Journal of Geodesy, Volume 70, pp. 65-82, 1995.

質疑応答

鈴木 治(鳥羽商船高等専門学校)

今回の手法は、GLONASS の世代が変わっても、適 用できるものでしょうか。

山田 英輝

今年の12月に4機新しいGLONASS衛星が打ちあが ります。そのうちの1機はCDMA方式の信号を搭載し ます。来年もそのタイプの衛星が打ちあがる予定で す。ただし、従来の市販されている FDMA 対応の GLONASS 受信機との互換性を保つために、最後の FDMA 対応の受信機が運用停止されるまでは、FDMA 信号は送信し続けるとのことです。したがって、本 研究の手法は今後も適用できます。

若林 伸和(神戸大学)

バイアス較正とバイアス補正の意味の違いについ て教えてください。

山田 英輝

較正はキャリブレーションのことで、つまりバイ アスを手に入れる意味合いで使っています。補正は 較正したバイアスを使って GLONASS の観測値に含ま れるバイアスを取り除く意味で使っています。