

都市部におけるサブメータ級位置決定の研究

久保 信明*・張岩**

A Study on Sub-meter Level Navigation in Urban Areas

Nobuaki Kubo Yang Zhang

Abstract

This paper shows a method to achieve a sub-meter level navigation in urban areas. Before the proposed method, the present RTK-GPS performance in urban areas is introduced. It is known that the carrier phase is vulnerable to obstruction and low signal to noise ratio. In order to compensate of the weakness of the carrier phase, the proposed method uses the velocity vector deduced from the Doppler frequency. In this paper, by using both carrier phase and Doppler frequency with reliability check method of these observations, sub-meter level navigation was demonstrated even in the medium urban areas. Furthermore, this paper shows the limitations of GNSS side on other sensors.

Keywords : RTK-GPS, Doppler Frequency, Reliability Check

キーワード : RTK 測位, ドップラー周波数, 信頼度推定

1. はじめに

本研究では、都市部での移動体向けにサブメータ級の位置決定を行う手法について検討した。移動体でサブメータを達成するためには、衛星測位側では RTK-GPS (Real-Time Kinematic GPS) が唯一の候補であったが、よりロバストなドップラー周波数による速度推定がどこまで利用できるかを検討した。可視衛星が 4 機未満では他のセンサに頼る他ないが、本研究では衛星測位側の限界がどのあたりにあるかも含めて検討した。特に GPS 観測データの信頼度をチェックする手法について提案した。

RTK-GPS に必要な最低衛星数は 4 機であり、その 4 機の搬送波位相が追尾できていることが大前提である。しかしながら、都市部移動体では、搬送波位相の追尾ロックが頻繁にはずれ、利便性を大きく損なっていた。そこで搬送波位相が利用できない時間帯をドップラー周波数による速度情報でカバーした結果を報告する。

本論文の流れは以下の通りである。まず RTK-GPS 測位の概要と都市部での性能について述

べ、引き続きドップラー周波数による速度推定と測位アルゴリズムの概要を述べた。次に本論文の課題である RTK-GPS 測位とドップラー周波数による速度推定の信頼度の決定に関し、提案するアルゴリズムを紹介した。提案したアルゴリズムを用いた実験結果について、比較的環境の良い条件とやや悪い条件での結果に分けて紹介した。さらに、追加実験における検証結果もまとめたので報告する。

2. 高精度測位

2.1 都市部での GPS による RTK-GPS の性能

ここでは、都市部での GPS による実際の RTK-GPS の性能についてまとめた。2010 年度に、東京海洋大学のあると東京都江東区内から丸の内方面または東京都中央区の月島、勝どき方面で取得したデータをすべて利用した。実施回数は 10 回程度で、各々 1 時間程度のデータである。使用した受信機は、2 周波用の測量用途にも利用されるノバテル社製の高精度受信機である。型番は OEM-V である。RTK-GPS の性能をチェックする場合、現状 1 周波

* 正会員 東京海洋大学海洋工学部 (〒135-0044 東京都江東区越中島 2-1-6) nkubo@kaiyodai.ac.jp

** 非会員 東京海洋大学海洋工学部

では性能が低すぎるため、本解析では2周波のデータを利用した。データを取得した回数の多い道路は、東京海洋大学越中島校舎前を北東及び南西方向に走る清澄通りと営団地下鉄東西線の上を北西及び南東方向に走る永代通りである。走行場所は、全体として中高層ビルに囲まれているが、片側の車線数が2または3以上存在する比較的大きな道路である。清澄通りの歩道まで含めた片側の道路幅は約16m、永代通りの道路幅は約18mであった。よって、都内でも高速道路の高架下や高層ビル街付近の1または2車線の道路を走行した場合、今回の結果よりも多少悪くなると予想される。

図1に可視衛星数とRTK-GPSの性能の統計結果を示した。図1の可視衛星数のデータには、それぞれの可視衛星数のときの相対度数頻度も合わせて示した(黒のプロットがRTK-GPSの性能、灰色のプロットが相対度数頻度を表す)。4機未満が28.6%の意味は、全てのデータのエポックのうち、約3割が4機未満であったことを意味している。2周波の観測データを用いており、L2帯の衛星信号電力がL1帯と比較すると低いこともあり、都市部を走行する場合は、この程度の利用率になることがわかる。

RTK-GPSのアンビギュイティ決定は、LAMBDA法⁽¹⁾を用いているが、信頼度の高い解を決定するためにRatioテスト⁽²⁾を利用した。Ratioテストは広く利用されている手法であり、本解析では3を超えるものを正解として決定した。これまでの経験では、周囲の開けた場所では、Ratioが3を超える場合、ミスFIXはなく、都市部を走行した場合でも、水平方向で20-30cm以上の大きな誤差となるミスFIXは5%以内程度であった。この都市部のRTK-GPSの精度検証には、通常のGPS受信機とは別の手段で求めた精密位置をベースにチェックを行った。具体的には非常に精度の高いINSと距離測定装置(ニコン・トリンプル社のPOSLV)を利用している。

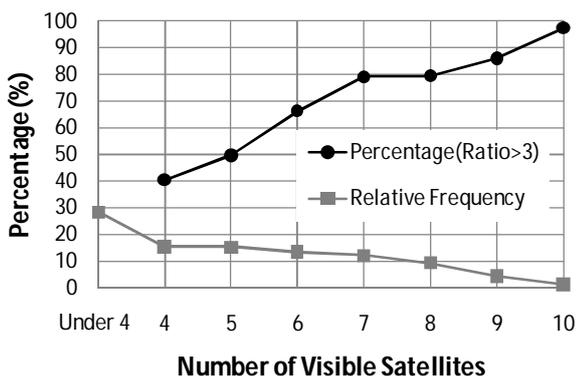


Fig. 1 RTK-GPS Performance with Number of Visible Satellites (NVS)

図1の結果を見ると、可視衛星数とRTK-GPSの性能が比例していることがわかる。可視衛星数が最低の4機の場合、Ratio 3以上になる割合が5割を切っており、可視衛星数が増加するにつれてRatio 3以上の割合も増加している。この結果より、高層ビル街においては、可視衛星数が5-6機以上になることは珍しく、よってRTK-GPSの性能も低下することが容易に想像できる。

2.2 ドップラー周波数による速度推定

衛星とユーザ間におけるドップラー周波数による速度推定は、従来から着目されていた手法であり、高感受受信機等では広く利用されている。本研究では、1m以内の高精度を目標としたものであるため、ドップラー周波数の精度について以下に検証した。ドップラー周波数は周波数ロックループ(Frequency Lock Loop: FLL)によって出力される観測値であり、FLLのパラメータによってその精度は大きく異なるものになる⁽³⁾。具体的には、FLLの追尾雑音帯域をどの程度に設定するかによってその性能が変動する。雑音帯域を狭くすると、精度が向上するが雑音に対する追尾能力がやや落ちる。一方、雑音帯域を広くすると精度はやや落ちるが、雑音に対する追尾能力が改善することになる。

以下に、2つの異なる性格の受信機を用いた、静止状態でのドップラー周波数による4Hzの10分間の水平速度推定値を示した。場所は東京海洋大学情報通信工学研究室の屋上であり周囲は開けている。図2は測量用の高精度受信機(High Accuracy: HA)による結果であり、図3はU-blox社製の高感受受信機(High Sensitivity: HS)による結果である。型番はAEK-4Tである。それぞれの水平1は約2.2cm/sと6.3cm/sでともに良好であった。

Table 1 Velocity Accumulated Horizontal Position Error

Integral Time (s)	HA Receiver	HS Receiver
30 s	16.2 cm	35.2 cm
60 s	25.1 cm	38.6 cm
90 s	27.2 cm	46.5 cm
120 s	44.0 cm	75.1 cm
150 s	49.5 cm	93.0 cm
180 s	57.1 cm	106.4 cm
240 s	63.4 cm	102.1 cm
300 s	83.0 cm	118.6 cm

本研究の提案では、RTK-GPS の解を出せない時間帯において、水平速度情報を積分したものを利用するため、実際に5分間積分したときの水平精度について検証し、その結果を表1に示した。5分経過後も高精度受信機による速度積分位置結果の誤差が1mを超えていないことがわかる。高感度受信機側で、3分経過後と4分経過後で逆転現象が起きているが、これは速度積分による位置結果が必ずしも誤差が大きくなる方向にならないことを意味している。

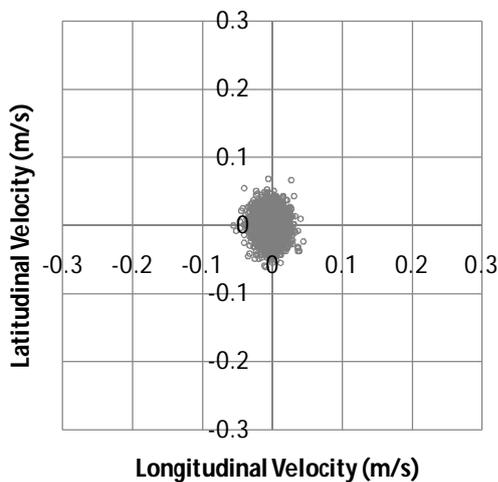


Fig. 2 Horizontal Velocity Estimation (HA)

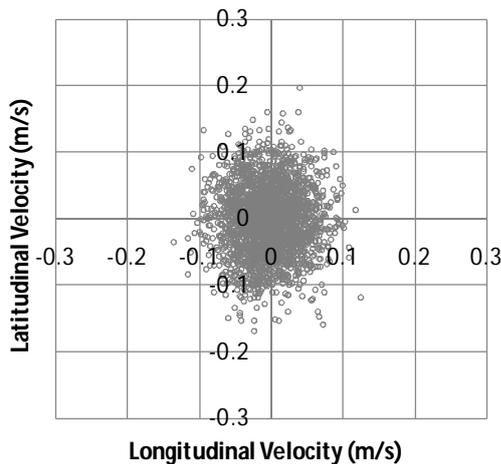


Fig. 3 Horizontal Velocity Estimation (HS)

上記は、周囲の開けた環境でのデータであるため、全ての衛星の信号強度の幅が両受信機ともに、約40 dB-Hz から 50 dB-Hz のデータであった。本提案では信号強度が低くなる場所もターゲットにしているため、アッテネータを接続し、信号強度をわざと10 dB下げた状態での実験も行った。そのときの水平1 はそれぞれ、高精度受信機が6.2 cm/s、高感度受信機が29.0 cm/sとなった。高感度受信機では、約

30 dB-Hz から 40 dB-Hz の信号状態では、瞬時の水平方向速度が1 m/s 近くに達してしまうことが多々あり、本研究で目標としている水平精度1m未滿を満足することは困難であると判断した。さらに、高精度受信機の速度積分による位置誤差を検証したところ、5分までの1分ごとの誤差は、14.6 cm/ 27.7 cm/ 74.8 cm/ 90.6 cm/ 98.6 cm となり、5分間、1mを超える誤差は見られなかった。この結果は特筆すべき結果であり、大きなマルチパス誤差と悪い衛星配置を避ける環境であれば、1m未滿の高精度測位が可能であることを示唆している。

2.3 測位アルゴリズム

本研究で提案する測位アルゴリズム全体のフローチャートを図4に示した。サブメータ級を念頭に置いているため、擬似距離はできるだけ利用していない。最初の観測データの品質をチェックする部分については、次節において述べる。図4に示した通り、信頼度の高いRTK-GPSによる測位結果を出力できない時間帯は、ドップラー周波数による速度推定による位置を利用する。さらにドップラー周波数による速度推定も出力できない時間帯は、本研究では述べないが外部センサに頼るものとした。RTK-GPSのFIX解の信頼度が高いものかどうかは、Ratioテストで閾値を超えたかどうかをチェックしている。また速度推定の信頼度が高いものであるかは、上記の観測データの品質チェックだけでなく、衛星配置による制限を厳しく設定した。これは、例えばHDOPが増加したときの水平方向の速度成分精度の劣化の程度が大きくなることを避けるためである。なお、RTK-GPSは1エポックでアンビギュイティをFIXさせる必要があるため、初期解を擬似距離によるDGPS解の精度に依存せざるおえない部分があった。本手法では、一度正しくFIXすると、それ以降はドップラー周波数による速度ベクトルによって求めた位置を初期解とし、擬似距離によるDGPS解を利用しないことでFIXの性能を向上させた。詳細は文献を参照されたい⁽⁴⁾。

一般的にGPSとINSのデータをカルマンフィルタ等でカップリングすることが主流であるが、本研究では、カップリングを行う前の観測データの信頼度を向上させることが重要であると考えた。また、目標精度に対して、衛星測位側のRTK-GPS及び速度推定の限界を定量的に示すことが、INS等の他のセンサへの性能要求を決定することになり、ひいてはカップリングの研究に有用であると考えた。

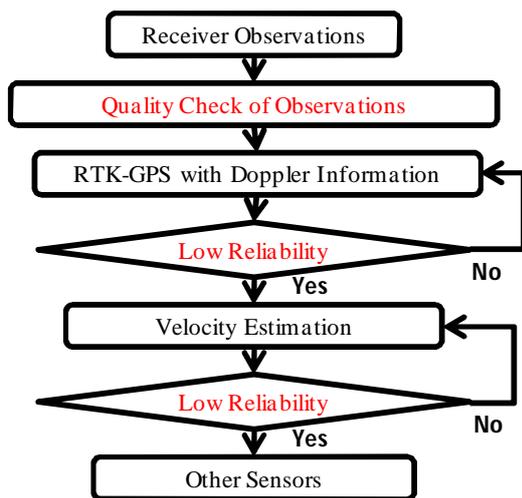


Fig. 4 Flowchart of Our Position Processing

3. 信頼度推定手法

3.1 GPSの観測データ

衛星測位側の観測データには大きく3種類存在し、ロバスト性の高いものから順番に、擬似距離、ドップラー周波数、搬送波位相となる。RTK-GPSで利用する観測データは搬送波位相であり、アンビギュイティ決定が成功すると、1-2 cm程度の精度で位置を算出できる。ただし、アンビギュイティ決定には、必ず統計的な処理を要するため、非常に高い信頼性を必要とする航空機の航法等にはまだ利用されていない。一方、ドップラー周波数は、搬送波位相のように360度のどこに位相があるかを正確に追尾する必要はないため、ロバスト性がやや高くなる。擬似距離にいたっては、さらにロバスト性が高く、多少電波の経路を遮られていても出力可能である。ただし精度を犠牲にしている。以下の表2に、受信機による観測データの特徴をまとめた。精度の欄は、マルチパス等の外乱は考慮せず、最低受信信号強度から通常の45 dB-Hzまでの雑音精度の幅を記載した。各観測データの精度を見るとわかるように、信号強度によって大きな差があり、擬似距離にいたっては、他のドップラーや搬送波の援助なしには、1 mの精度を達成するのが困難である。マルチパスの影響についても、ドップラー周波数と搬送波位相はその影響が小さいことが知られており、これら2つの観測データを信頼度とともに上手に利用できるかがキーポイントであることがわかる。

3.2 提案する信頼度決定方法

本研究で提案するRTK-GPSとドップラー周波数による速度推定は、観測データの信頼性を高く維持す

ることが非常に重要である。高く維持する限り、1 m以内のサービスを継続して提供することが可能である。以下は本研究でターゲットにした高精度受信機を利用した場合について述べたものである。

Table 2 Characteristics of Observation Data

	Pseudo Range	Doppler Frequency	Carrier Phase
Minimum C/N ₀	15 dB-Hz	25 dB-Hz	30 dB-Hz
Accuracy	0.2-10 m	2-10 cm/s	2-5 mm
Effect of Multipath	Very Large	Small	Small

従来の観測データ及びRTK-GPSの信頼度をチェックする方法を以下に箇条書きに列挙した。

最低信号強度を満足するか

マスク角（最低仰角）を満足するか

受信機の追尾ループのステータスチェック

衛星配置によるチェック

LAMBDA法におけるアンビギュイティ決定におけるRatioテスト

受信機側より観測データとともに出力される情報が信号強度等に限定されているため、信頼度をチェックする手法も限られていることがわかる。受信機メーカーは、他社との性能の差別化を図るため、受信機内部の設計において、長い間改良を試みてきたが、各社の受信機が出力する観測データを比較し、近年はほとんど差がないことを調査済みである⁽⁵⁾。これは、GPSが初号機打ち上げ以来30年以上経過しており、衛星側の信号体系を変更できない限り、受信機側の性能も飽和している状態にあることを意味している。

本研究では、筆者が2004年に提案した「あるべき信号強度によるチェック」⁽⁶⁾によって、高精度測位の信頼性を改善できないか検討した。当時この手法は、10 m以上に達する擬似距離のマルチパス誤差を低減させるために用いていた。一方、本研究では、観測データが搬送波位相とドップラー周波数に限定されるため、マルチパスの影響を受けにくくなっている。そのため、反射波のみを受信してしまうような出来る限り避けたいケースを判定できると、観測データの品質を高く維持することが可能ではないかと考えた。実際に、「あるべき信号強度によるチェック」は、反射波を強く受信するような環境において大きな効果を発揮していた。この手法の概要を以下

に述べる。詳細は参考文献に譲る⁽⁶⁾。

アンテナとケーブルを決め、マルチパスの少ない屋上の開けた場所では、GPS 衛星の信号強度は仰角に応じた安定した値をとる。本研究で利用した高精度受信機の信号強度と仰角の生データによる関係を図5に示した。この生データによる結果は、図の上側の黒いラインによって示されている。一方、都市部等のマルチパス環境では、反射波や回折波を受信することにより、この関係が乱され信号強度が上下に変動し、大きく低下する現象が多発する。直接波が大きく減衰され、反射波を強く受信する状況においては、ビル街の壁面等での反射により、最低でも 6 dB-Hz 以上減衰されることが予想される。この特徴を利用して反射波を強く受信しているケースを排除するのが、本手法の特徴である。図5で示された上側の黒のラインより、設定した閾値以上の信号強度の減衰が見られた場合、その衛星の信頼度が低いものと判定した。実際の閾値のライン(10 dB 低い灰色のライン)も合わせて図5に示した。実際の信頼度による判定は、これまで利用していた からと今回提案した手法を合わせて利用することにした。

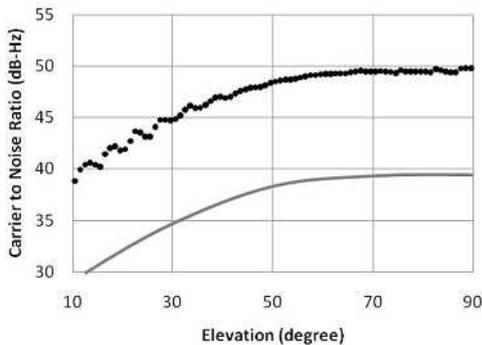


Fig. 5 Relation between C/N_0 and Elevation

4. 実験結果

4.1 比較的環境の良い条件での実験

2010年8月2日に月島から勝どきにかけての清澄通り往復を車で走行し、5 Hz の GPS データを取得した。受信機は基準局と車側ともに2周波の高精度受信機であり、基線長は約 2 km であった。周囲は中高層ビルに囲まれる場所もあるが、車線数が片側 2 車線あり歩道も広い環境であった。データを取得した時間の衛星配置が、道路の方向に対して良かったため、比較的環境の良い条件と判断した。本研究では、水平誤差が 1 m 以内であったかがポイントとなるため、取得したデータより後処理キネマティック測位解を求め、全時間帯において数 cm の精度の参照解を準備した。その参照解との差より誤差分析を行った。信頼度チェックは以下の通りである。

- * 最低信号強度が 30 dB-Hz 以上
- * マスク角(最低仰角)が 10 度以上
- * 受信機の追尾ループのステータスフラグ
- * HDOP が 10 未満
- * あるべき信号強度の閾値を 7 dB-Hz と設定
- * LAMBDA 法における Ratio テストで 3 以上

最低信号強度の 30 dB-Hz という値は、高精度受信機における観測値の精度と追尾性能の両方の側面から決定した。図6にこのときの可視衛星数の変化を示した。平均可視衛星数は 6.3 であり、基準局は常に 10 機受信していた。比較的条件が良かったとはいえ、RTK-GPS にとっては厳しい 4 機または 5 機になる時間帯も存在した。

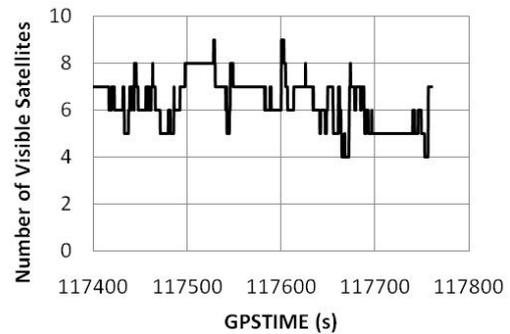


Fig. 6 Temporal Number of Visible Satellites

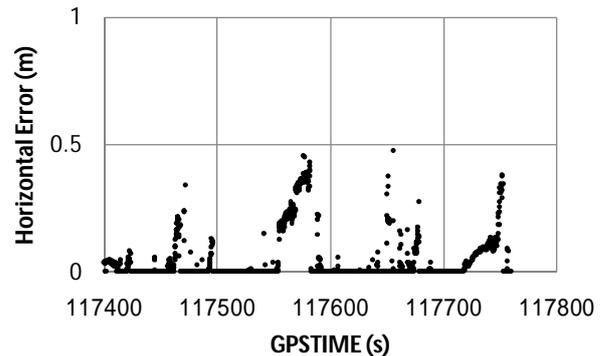


Fig. 7 Temporal Horizontal Errors (Proposed)

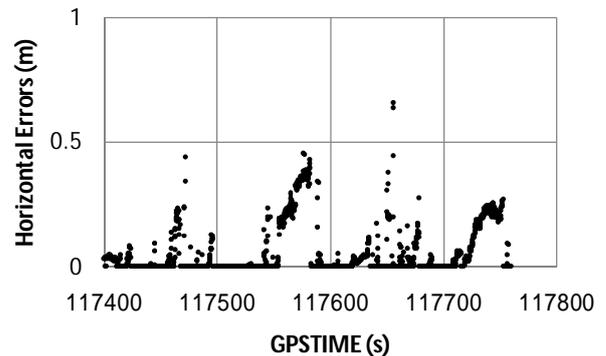


Fig. 8 Temporal Horizontal Errors (Conventional)

次に提案する手法による時系列の水平方向の絶対誤差を図7に示した。また、あるべき信号強度でチェックしなかった場合の水平方向の絶対誤差を図8に示した。図7及び図8を見るとわかるように、提案する手法の最大誤差が50 cmに達しておらず、従来の手法では約70 cmに達している。両図において、誤差がほぼ0付近にあるものは、RTK-GPSが正しくFIXしていることを意味しており、徐々に誤差が増大している時間帯は速度を積分していることを意味している。本研究では、速度成分の精度が非常に重要であるため、HDOPが10を超えるデータは利用していない。速度情報の精度は、ドップラー周波数の観測精度と衛星配置に依存するが、車両の進行方向の速度成分の絶対値が横方向よりも常に大きいため、一般的に進行方向の誤差が横方向よりも大きいことが知られている。一方、衛星配置については、道路進行方向が通常開けているため、進行方向に対して安定しているといえる。表3に本実験結果の統計データをまとめた。各項目はそれぞれが、トータルの時間の何%を占めているかを表しており、速度積分の括弧内は、左が最大何秒積分したか、右が積分時間の平均秒数を表している。提案する手法では、信号チェックを厳しくしているにもかかわらずRTK-GPSのFIX解が増加しており、信号品質を上げることが高精度測位の要であるといえる。

Table 3 Comparisons of Test Result 1

	RTK-GPS	Velocity Integration (Max Integral Time (s) / Ave Integral Time (s))	Other
Proposed	72.7 %	27.3 % (35.0/ 2.5)	0.0 %
Conventional	64.3 %	35.6 % (35.0/ 3.1)	0.0 %

4.2 やや環境の悪い条件での実験

2010年10月6日に月島→勝どき→晴海→月島の周回道路を車で走行し、4 HzのGPSデータを取得した。受信機等の条件は前節と同じである。車線数が片側2-3車線あったが、周囲は中層ビルや複数の高層ビルに囲まれる場所があり2か所の高架橋を通るため、やや環境の悪い条件と判断した。4.1節と同様に後処理キネマティック測位解を求め、全時間帯において数cmの精度の参照解を準備した。その参照解との差より誤差分析を行った。信頼度チェック

は4.1節と同じである。

図9にこのときの可視衛星数の変化を示した。平均可視衛星数は4.9であり、基準局は常に8機受信していた。前節と比較すると環境は悪く、可視衛星数が4機を切る時間帯も多々見られた。このような時間帯はGPS以外のセンサにたよらなければならないことは自明である。

次に提案する手法による時系列の水平方向の絶対誤差を図10に示した。また、あるべき信号強度でチェックしなかった場合の水平方向の絶対誤差を図11に示した。両図の縦方向の誤差の大きさに注意されたい。

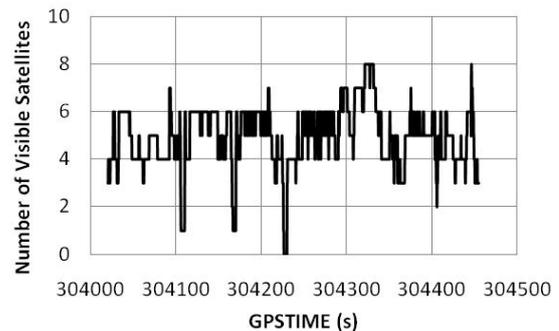


Fig. 9 Temporal Number of Visible Satellites

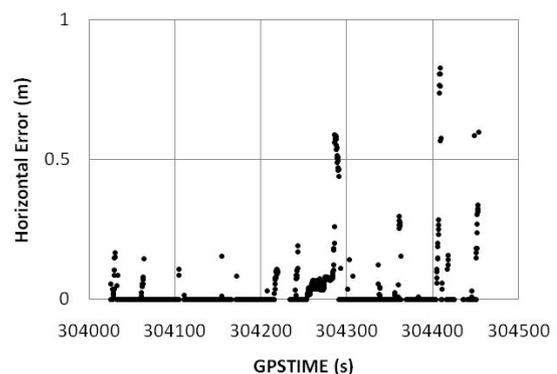


Fig. 10 Temporal Horizontal Errors (Proposed)

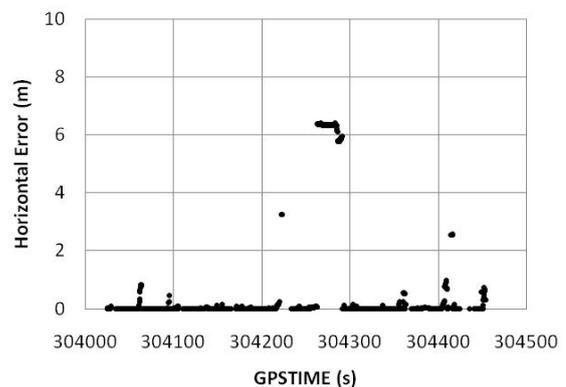


Fig. 11 Temporal Horizontal Errors (Conventional)

図 10 及び図 11 を見るとわかるように、提案する手法の最大誤差が 1 m に達しておらず、従来の手法では約 6 m にも達している。従来の手法では、速度積分の誤差の蓄積以上に、RTK-GPS におけるミス FIX がいくつか見られる結果となった。途中 6 m 以上の誤差がやや継続している理由は、ミス FIX した位置をベースに速度情報を積分しているためである。このような誤差は最も避けたいパターンであり、信号品質を厳しくチェックすることにより、信頼性を向上させることが重要であることがわかった。表 4 にそれらの統計データをまとめた。表記方法は、表 3 と同じである。前回のテストと同様に、提案する手法では、信号チェックを厳しくしているにもかかわらず RTK-GPS の FIX 解が増加しており、かつ結果としてミス FIX がない結果となった。両者ともに他のセンサに頼るべき時間帯が約 10% 存在しているが、最も重要なことは、GPS 側の精度を高い信頼性のもと担保することによって、利用率をやみくもに向上させることでないことは本稿の目的で述べた通りである。また、他のセンサに頼るべき時間帯で最も長かった時間が、両者ともに約 10 秒であった。

Table 4 Comparisons of Test Result 2

	RTK -GPS	Velocity Integration (Max Integral Time (s) / Ave Integral Time (s))	Other
Proposed	72.4 %	15.9 % (37.0/ 2.3)	11.7 %
Conventional	70.0 %	19.1 % (28.0/ 2.2)	10.9 %

5. 追加の実験結果

5.1 実験概要

本論文で提案した手法が、他のデータでどの程度利用できるかをチェックした。データ取得場所は、中層ビル街の月島周辺と高層ビル街の丸の内周辺である。それぞれ約 20 分のデータを車で取得した。レファレンスデータは、ニコン・トリンプル社の POSLV というシステムを用い後処理で決定した。これは、GPS と INS 及び高精度距離計が搭載されており、GPS を 1 分程度受信できない場合でも 10cm 未満の精度で位置を決定できるシステムである。

5.2 実験結果

以下の表 5、6 に追加実験結果をまとめた。表 4

と同様に、それぞれのコースにおける RTK-GPS、Velocity 及び Other の割合を表 5 に示した。RTK-GPS の総エポックに対する正しい FIX 率の割合と、RTK-GPS+Velocity の総エポックに対して 1m 以内の精度を達成できた割合を表 6 に示した。

Table 5 Additional Test Results 1

	RTK -GPS	Velocity Integration	Other
Tsukishima	58.2 %	25.8 %	16.0 %
Marunouchi	27.6 %	5.4 %	67.0 %

Table 6 Additional Test Results 2

	Correct Fix Rate	Horizontal Errors < 1.0m
Tsukihima	100.0 %	95.6 %
Marunouchi	98.6 %	97.5 %

表 5 より、月島の環境では、4 節の結果と比較して他のセンサに頼るべき割合が増加していることがわかる。また、丸の内の環境では、67% が他のセンサに頼るべき割合となった。次に表 6 より、月島の環境ではミス FIX が見られなかった。しかしながら、1m 未満を達成できないデータが少なからず見受けられた。丸の内の環境では、ミス FIX と 1m 未満を達成できない時間帯が少し見受けられた。本結果より、高層ビル街では可視衛星数が絶対的に足りないという課題は残るものの、信頼性については、高層ビル街においても高い数値を維持することが可能であることがわかった。

6. 結論

本稿では、提案する信頼度チェックを行った場合のサブメータ級位置決定について述べた。観測データより、ドップラー周波数の速度情報を利用できることを示した。さらに RTK-GPS と速度情報を併用して利用することにより、1m 未満の位置決定を高層ビル街でも高い信頼性で行うことができることがわかった。しかしながら高層ビル街では、他のセンサに頼るべき時間帯が依然として多く、可視衛星数の不足という課題が残っている。

今後、準天頂衛星やガリレオの出現により、可視衛星数が増加することが見込まれるため、より信頼度の高い観測データチェック手法を確立することが求められると考えている。特にミス FIX を限りなく少なくする手法について、他のセンサとの併用も視

野にいれながら今後も検討していきたい。

謝辞

本研究の高層ビル街でのレファレンス決定に際して、ニコン・トリンプル社のエンジニアの方には大変お世話になりました。レファレンスデータは位置誤差を評価する上で貴重なデータでした。ここに深く感謝いたします。また、本研究の講演会での発表時に、大きな貢献をしてくれた大学院生の白井友子氏に深く感謝します。

参考文献

- (1) P. J. G. Teunissen : The Least-Square Ambiguity Decorrelation Adjustment: A Method for Fast GPS Integer Ambiguity Estimation, *J. Geodesy*, Vol. 70, Nos. 1-2, pp. 65-82, 1995.
- (2) P. J. G. Teunissen, S. Verhagen : On GNSS Ambiguity Acceptance Tests, Proceedings of IGSS Symposium 2007, Dec. 4-6, 2007, Sydney.
- (3) Elliott D. Kaplan, Christopher J. Hegarty : Understanding GPS Principle and Applications Second Edition, pp.279-295, Artech House, 2006
- (4) N. Kubo, S. Pullen : Instantaneous RTK Positioning Based on User Velocity Measurements, Proceedings of ION GNSS 2008, Sept. 16-19, 2008, Savannah, Georgia, pp. 1406-1417.
- (5) 杉本末雄・柴崎亮介編集 : GPS ハンドブック 第 8 章 マルチパス誤差および低減方法, pp.208-221, 朝倉書店, 2010
- (6) N. Kubo, A. Yasuda, R. Shibasaki : An Effective Multipath Mitigation Technique under Strong Multipath Environments, The 2005 International Symposium on GPS/GNSS 8-10 December 2005, Hong Kong

質疑応答

河合雅司 : (富山高等専門学校) :

GPS 信号の S/N 比等はどのようにして測定されたのか教えて頂きたい。

久保信明 :

S/N 比または C/N_0 は、各受信機メーカーの出力フォーマットの中に必ず記載があり、そのデータを取得することが可能です。一般的に利用されている RINEX フォーマットにおいても、信号強度の

欄があります。

山田多津人 : (海上保安大学校) :

GPS 信号の信頼度を評価する手法として「あるべき信号強度」に対する閾値を判定の基準とされているとのことですが、その数値の決定はどのような考え方に依っているのでしょうか。

久保信明 :

強いマルチパスを検知するための閾値の設定は、以下に基づいて決定しています。通常、直接波と反射波を両方受信する場合は、直接波の信号が視線方向に受信している限り 6dB 以上減衰することはまれです。直接波が回折等で大きく減衰されたときに 6dB 以上の減衰が多く観測されます。この状態では、反射波を強く受信すると、追尾ループが反射波を追尾してしまい、非常に大きなマルチパス誤差を発生することになります。このようなケースを避けるために、今回の閾値を 7 から 10dB で設定しました。