

搬送波位相型 GPS/GNSS 測位の波数不確定の短時間初期化決定性能における基線長依存性

The baseline-length dependence of the performance of short-term integer ambiguity resolution in GPS/GNSS carrier-phase positioning

近藤 賢太郎[1]

Kentaro Kondo[1]

[1] 富士通

[1] Fujitsu Limited

要約 本研究においては、搬送波位相型の GPS/GNSS 測位における波数不確定の初期化決定 (integer ambiguity resolution) の問題を取り上げ、特に短時間かつ高信頼な決定を得ようとする課題に対して、その理論的な決定性能を計算し、相対測位の基線長に対する依存性の評価を行った。その結果として、基線長が 0 とはみなせない測位条件に対応して GPS/GNSS 信号の電離圏遅延量の 1 重差 (基準局量と移動局量との間の差) の値が 0 ではない有限値をとる効果が、短時間決定性能の急激な低下を引き起こすことを定量的に示した。加えてその性能低下の感受性については、電離圏遅延量 1 重差の 1--2 mm 程度の増加に対しても大きく性能低下を被ることを示した。(なお電離圏遅延量は、GPS-L1 周波数における遅延量を長さの次元を用いて表現している。すなわち 1 mm ~ 0.006 TECU)

課題と背景 波数不確定の短時間初期化決定の課題とその背景を説明する。高精度な衛星測位を実時間的に実現する real-time-kinematic (RTK) GPS などの測位方式が、測量などの実用分野へも既に普及が始まっている。このような搬送波位相型測位は、波数不確定の初期化決定を必要とするが、現段階において実現されている決定性能は必ずしも十分な水準ではなく、現実の測位条件によっては、初期化決定に長時間を要したり、不正解決の発生率が高いなどの深刻な課題が存在し、この測位方式の広範な普及に対する大きな阻害要因となっている。また、この性能課題は実用上も極めて重要なが、これまで長年に渡って真剣に取り組まれてこなかった。そしてこの問題に正しく取り組んだ研究もほとんど皆無と言ってよく、不適切な研究を除いて考えれば、高い水準 (例えば不正解率が 10^{-6} 以下) を持つ性能の実現に関する正しい議論、もしくは定量的議論はこれまで行われてこなかった

また一方においては、波数不確定の短時間決定性能は、その相対測位の基線長にも強く依存し、数 km--10km 以上の長い基線長の条件においては短時間決定性能は大きく低下することが、少なくとも定量的には知られている。これに対して、実時間的な搬送波位相型の測位に対する期待は近年高まっており、例えば上記のような長い基線長によって引き起こされる性能低下を緩和する目的のために、稠密に配置された電子基準点網のリアルタイムデータの空間補間を行い相対測位用の基準データを生成する技術なども既に実用が始まっている。

計算結果 本研究における計算とその結果を説明する。用いた計算方法 (K. Kondo, 2003) は、固定標本型かつパラメトリック型の統計的最適決定の理論に従い、波数不確定の正解決定率の上限値を正確に計算するものである。また、GPS/GNSS 信号の電離圏遅延量の 1 重差に対して、その値が統計的に分布するとして扱うモデルを用いており、その分散の値を変えて計算することにより、相対測位の基線長 L に対する依存性を表現している。ここで、両者の間には粗い関係式 $\sigma = L \times 10^{-6}$ を仮定し、議論の単純化を行っている。また、観測量ノイズの時系列に対するモデル化として、市街地走行実験 (K. Kondo, 2001) において計測された強い時間相関性を持つ計測ノイズの性質を参考にして、1 次の AR 過程に従う変動項と時間定数項との和として表現する簡単なモデル化を行っている。例示目的のために、このモデルに従って計算的に発生させた搬送波位相とコード擬似距離の計測誤差の時系列を Figure 1 に示す。計算に用いた入力パラメータを Table 1 に示す。短時間決定性能を評価する目的のために、10 エポック (= 10 sec) を使用する条件である。また衛星軌道は放送暦のものを用いている。

本研究の計算の結果を、Figure 2 に示す。GPS-L1, L2, L5 信号を用いる 3 種類の条件 (1 周波数、2 周波数、3 周波数の利用) に対して、電離圏遅延量の 1 重差の分散値 σ に対する正解決定率の依存性を計算している。この計算結果に示されているように、どの条件においても、電離圏遅延量の 1 重差の値が 0 ではなく有限値をとる効果は、波数不確定の短時間決定性能の急激な低下を引き起こしている。なお、本研究の計算条件の下において、もしも電離圏遅延量 1 重差が正確に 0 であれば、2 周波数と 3 周波数の条件における決定性能の上限値は高い信頼値 (不正解率が 10^{-6} 以下) を持つことも示されている。

また、決定性能低下の感受性については、電離圏遅延量 1 重差の 1--2 mm 程度の増加に対して大きく性能低下

を被ることが示されている。従って例えば不正解率が 10^{-6} レベルの高信頼性を確保するためには、2周波数と3周波数の条件においては、電離圏遅延量1重差がおよそ5 mm以下であることが必要であり、これを粗く見積もると5 kmの基線長に相当すると考えられる。また(2地点間)電離圏遅延量1重差量の高精度推定が極めて重要である。

Table 1: Common parameters of the calculations.

number of satellites	7
variance of error in single-differentiated carrier phase measurements	
• time-varying component	0.02 cycle
• time-constant component	0.02 cycle
variance of error in single-differentiated code pseudorange measurements	
• time-varying component	0.5 m
• time-constant component	0.5 m
AR(1) coefficient in time-varying component	
• carrier phase measurements	0.95
• code pseudorange measurements	0.5
measurement rate	1 epoch/sec
measurement time	10 sec

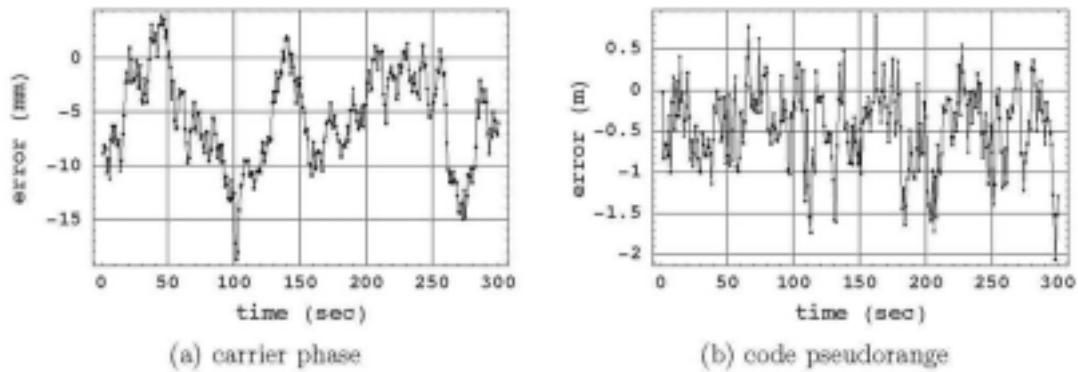


Figure 1: Simulated errors in observations.

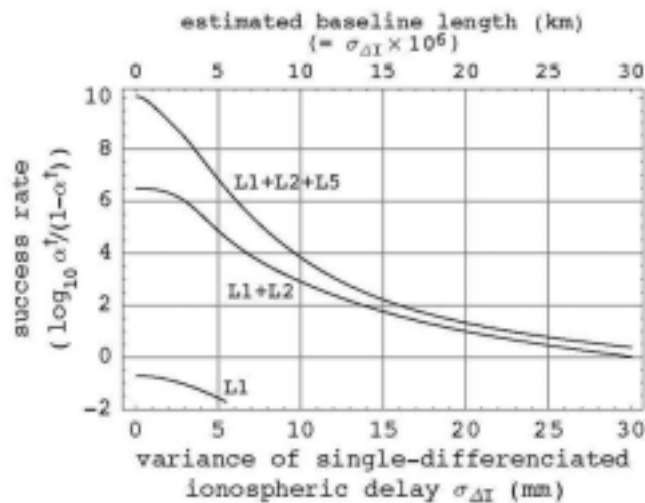


Figure 2: The performances of integer ambiguity resolution.