

低軌道衛星から測位信号が放送された場合の RTK Fix 率向上のシミュレーション

Simulation of RTK Fix rate improvement based on a hypothesis that LEO satellite broadcast PNT signal

小林海斗 久保信明
Kaito Kobayashi Nobuaki Kubo

東京海洋大学
Tokyo University of Marine Science and Technology

1. 目的

RTK 測位(Real-time kinematic Positioning)は現在様々な分野で使用されているが、都市部では未だに衛星数の不足やマルチパスなどによって RTK の Fix 解が得られない場合が存在する。一方で近年の宇宙開発では低軌道衛星の打ち上げが流行しており、低軌道衛星を用いた測位や測位用低軌道衛星の研究などが行われている。低軌道衛星を用いた測位には従来の GNSS に比べて、同じ開発費で多くの衛星を打ち上げられる、信号強度が強いためジャミングなどの妨害に強いという利点が挙げられる。

そこで本研究では GNSS と同じような測位信号を放送する低軌道衛星群が構築された場合、RTK 測位の Fix 率にどのような影響があるかをシミュレーションを用いて考察した。

2. RTK 可用性の予測

まず通常の GNSS 衛星による RTK 測位の予測について説明する。先行研究で 3D マップと衛星軌道情報を使用して特定の場所・時間における衛星の可視環境をシミュレーションし、そのシミュレーション結果と実際の RTK 結果を紐づけたデータセットを使用して機械学習で RTK Fix 解が得られるかどうかの予測を行った。この研究では7つの都市部の走行データについて K-NN(K 近傍法)という機械学習アルゴリズムで RTK の Fix 解が得られる位置を予測したところ平均 72.2%の正答率で予測が可能であった。この予測では機械学習の説明変数として LOS(Line-Of-Sight)継続衛星数、マルチパス衛星数、LOS 継続衛星の DOP、天空率、各衛星コンステレーションごとの二重位相差の数を使用している。LOS 継続衛星数とは搬送波位相のハーフサイクルアンビグイティを解決するために必要な 6 秒以上継続して観測できている衛星数である。

3. 低軌道衛星の測位衛星への適用

GNSS 衛星と互換性のある低軌道衛星を追加した場合の衛星数シミュレーションを 3D マップを使用して行った。今回は Starlink の衛星を使用し TLE(2 行軌道要素)から衛星の位置を計算した。2023 年 3 月 6 日のデータを使用しこのとき Starlink 衛星は軌

道上に 3729 基存在し、東京上空では 60~90 基が観測可能であった。図 1 に都市部走行データを使用したときの低軌道衛星を測位衛星に含めたときの LOS 継続衛星数を示す。衛星数は多いときには 60 基ほど増加するが、ビルの谷間などでは LOS 継続衛星数の増加が少ないことがわかる。これは低軌道衛星は GNSS 衛星と比べて速度が速く、6 秒間の LOS 継続をする前にビルの影へ隠れてしまうことが多いためである。

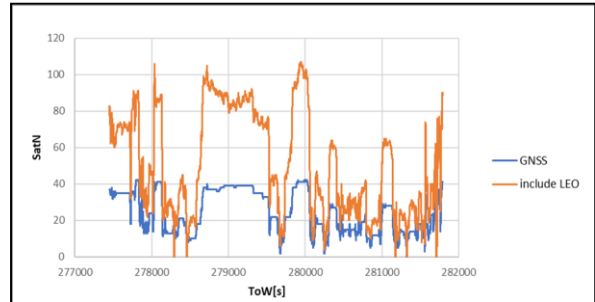


図 1. LOS 継続衛星数の比較

4. 結果

7 つの走行データを教師データとして、低軌道衛星を加えた場合の LOS 衛星数シミュレーション結果からそれぞれの走行における RTK Fix 率を計算した。図 2 に実際の GNSS を利用した RTK Fix 率と低軌道衛星を加えて予測を行った結果の RTK Fix 率を示す。衛星数の増加により Fix 率はすべてのデータで上昇した。一方で GNSS で RTK が厳しいところでは低軌道衛星があっても Fix しない場所があることがわかった。

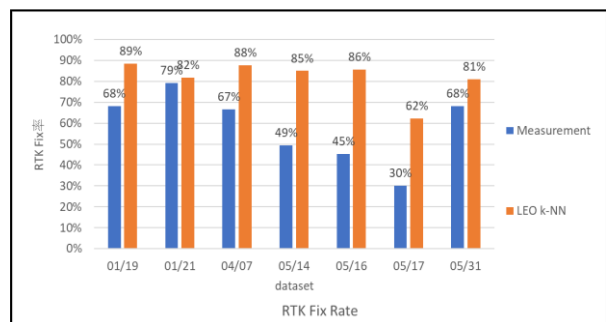


図 2. 各データにおける Fix 率の向上