

反射波におけるドップラ周波数の検証および 機械学習を利用した GNSS 信号反射波検知モデルへの適用

Verification of Doppler frequency of reflected signals
and application to the satellite signals classification model using machine learning

Yumeko Kawabata (Osaka Prefecture University)

川端夢子 (大阪府立大学)

Abstract

The accuracy of Global Navigation Satellite System (GNSS) positioning is easily degraded under severe environments such as urban streets due to the blockage of satellite signals by tall buildings. One of the causes of GNSS positioning accuracy degradation is the so-called non-line-of-sight (NLOS) signal reflected from buildings. In this study, we verified Doppler frequency of reflected signals and developed a model to detect reflected signals using machine learning to improve the kinematic positioning accuracy under such environments.

1. はじめに

衛星測位では反射波を受信した際に、大きく測位精度が低下してしまうことが課題として挙げられる。衛星信号特性は大きく分けて3種類存在し、直接波のみを受信している LOS(line-of-sight)、直接波と反射波を受信しているマルチパス、反射波のみを受信している NLOS(none-line-of-sight)である。本研究では移動体測位における観測データのうち、特にドップラ周波数に注目し、反射波による影響を調査した。さらに機械学習を用いて、ドップラ周波数や仰角といった特徴量から反射波を検知するモデルを作成し、検証を行った。

2. ドップラ周波数

2-1. ドップラ周波数の定義

反射波検知に用いる観測量として、ドップラ周波数 $f_{Doppler}$ を用いる。 $f_{Doppler}$ は衛星と受信機の相対速度に依存し、式で表すと

$$f_{Doppler} = -f_{L1} \frac{v}{c} = -f_{L1} \frac{v_s - v_u}{c} \quad (1)$$

となる⁽¹⁾。 c は光速、 f_{L1} は衛星におけるL1帯の周波数、 v_s 、 v_u はそれぞれ衛星・受信機の視線方向速度である。また、実際の観測値には時計誤差やノイズの含まれているため、ドップラ周波数の観測値 f_m は、

$$f_m = f_{Doppler} + f_{clk} + f_{noise} \quad (2)$$

と表される⁽²⁾。

2-2. ドップラ周波数から求める速度

次に、観測ドップラ f_m から算出した受信機視線方向速度を v_m と定義する。 v_m は、式(1)、(2)より

$$v_m = \frac{c}{f_{L1}} \left(f_m + \frac{f_{L1}}{c} v_s \right) \quad (3)$$

となる。ただし、式(1)より f_m には時計誤差やノ

イズの影響が含まれているため、 v_m についてもこれらの影響を考慮する必要があるが、本研究では時計誤差が非常に小さな受信機を用いたため、 f_{clk} による影響は非常に小さいものであるとする。また f_{noise} についても $f_{Doppler}$ と比べ非常に小さな値と考えられるためここでは無視して考える。ここで、エフェメリスと基地の受信機速度を用いて計算した受信機視線方向速度 v_m の予測値 \hat{v}_u を考える。予測値 \hat{v}_u は、

$$\hat{v}_u = v_u \cdot \frac{(r_s - r_u)}{|r_s - r_u|} \quad (4)$$

となる。 v_u は受信機の速度ベクトル、 r_s 、 r_u はそれぞれ衛星、受信機の位置ベクトルである。この時、直接波のみを受信しているとする、 v_m は \hat{v}_u とほぼ一致する。一方マルチパスやNLOSの場合、 v_m と \hat{v}_u に差が生じると考えられる。

3. 機械学習モデル

本研究では、先行研究にて用いられていたツール⁽³⁾ (Google Earth に建物情報を入力し、信号経路を算出することで、自動で衛星信号をLOS(line-of-sight)、Multipath、NLOSの3つに分類する)を用いて教師データの作成を行った。また、分類アルゴリズムは先行研究と同様ランダムフォレストを使用した。

続いて、機械学習で利用する特徴量について説明する。先行研究にて用いられていた特徴量⁽³⁾である、衛星仰角EL[deg]、信号強度SNR[dBHz]、速度の一貫性指標⁽³⁾の一定時間 Δt 内の最大値と最小値の差 $\Delta\gamma_{max}$ [m]、信号強度の一定時間 Δt 内の最大値と最小値の差 ΔSNR_{max} [dBHz]に加え、一定時間 Δt 内の v_m と予測値 \hat{v}_u の差の大きさの最大値 Δv_{max} [m/s]を用い、新たなモデルを作成した。また Δt について、今回は先行研究と同様 $\Delta t = 4s$ とした。

4. 実験方法

図1、図2に実験場所と実験装置を示す。受信

機は時計誤差の影響が小さい Novatel 社の PwrPak7 を用いた。また、今回は予測値 \hat{v}_u を算出するために INS (Inertial Navigation System: 慣性航法装置) も使用した。実験場所は反射波環境 4 か所、オープンスカイ 1 か所で、それぞれ 20Hz, 15 分間、回転台上で移動体データを取得した。また、観測対象の衛星は GPS, QZSS, GLONASS とした。



図 1 実験場所 (Google Map より)

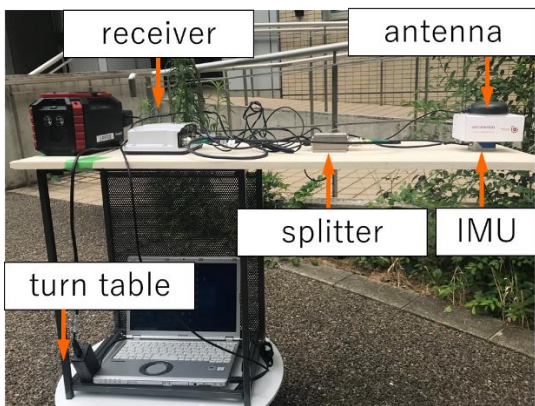


図 2 実験装置

5. 実験結果

5-1 v_m における反射波の影響

図 3 に、LOS, NLOS における v_m と予測値 \hat{v}_u を比較した図を示す。LOS では $v_m \approx \hat{v}_u$ となっており、反射波の影響が大きくなるにつれ v_m と \hat{v}_u の差が大きくなる傾向にある傾向にあることが分かる。

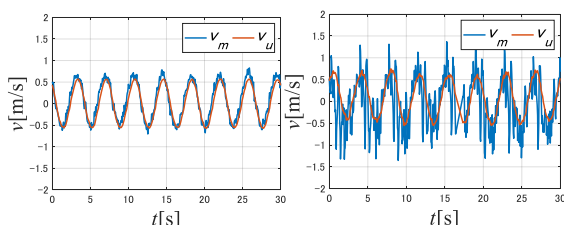


図 3 LOS, NLOS 衛星における v_m
(橙: \hat{v}_u 青: v_m)

5-2. 機械学習による反射波検知モデルの作成次に、機械学習で用いた特徴量の重要度を図 4

に示す。SNR の重要度が最も高くなっているが、その次に EL, Δv_{\max} が高くなっている。また、従来の特徴量のみを用いた場合の正答率は 80.6% であるのに対し、 Δv_{\max} を含んだ場合の正答率は 83.2% となり、今回新たに導入した Δv_{\max} は反射波検知に役立っていると考えられる。

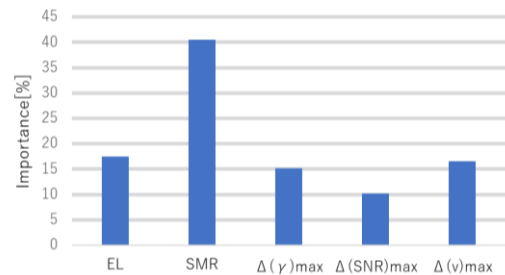


図 4 特徴量の重要度

5. まとめ

本研究では、移動体におけるドップラ周波数の反射波による影響に注目し、受信機ドップラ速度 v_m の特徴から新たな特徴量を定義し、機械学習による反射波検知モデルに組み込むことで、測位に適用可能な高い信号分類スコアを得ることができた。今後は測位に適用し測位誤差の低減を確かめるとともに、汎化性能をもったより実践的なモデルの作成を目指す。

参考文献

- (1) Pratrapp Misra and Per Enge 原著, 測位航法学会訳, "精鋭 GPS 基本理念・測位原理・信号と受信機," 松香堂書店, (2010), pp. 13-14.
- (2) Toshiaki Tsujii, Takeshi Fujiwara, Yoshimitsu Suganuma, Hiroshi Tomita, and Ivan Petrovski, Development of INS-Aided GPS Tracking Loop and Flight Test Evaluation, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.4, No. 1, (2011), pp. 015-021.
- (3) S. Tanaka, 2020 年修士論文, "機械学習を利用した GNSS 反射波検知モデルの構築と測位への適用".