

機械学習を利用した衛星信号分類モデルの構築と移動体への適用

○田中晋平、辻井利昭（大阪府立大学）

Development of a Model to Detect GNSS Reflected Signals Using Machine Learning and Application to Kinematic Positioning.

Shimpei Tanaka, Toshiaki Tsujii (Osaka Prefecture University)

Key Words: GNSS, UAV, Machine Learning, NLOS, Multipath

1. はじめに

GNSS を利用した測位技術は、場所を問わず適用できる利便性から、ドローンをはじめとする様々な移動体で用いられている。近年、ドローンによる自動配達や建造物の自動点検などの開発が活発に行われており、離島などへの自動配達はすでに始まっている。しかし、現在、都市部において自動運転のドローンを目にすることは少ない。その原因の一つが、ドローンの自動運転精度は GNSS 測位精度に依存している場合が多く、都市部において GNSS 測位精度が大きく劣化することである。都市部では巨大な建造物が多く、GNSS を利用した場合、多くの反射波を受信してしまう。その結果、測位精度がオープンスカイと比較し、大きく劣化してしまう。

GNSS 反射波の影響を測位から低減する手法は様々なものが提案されているが、デメリットとして、別途特殊な装置、高価格、大型の装置が必要である場合が多い。ドローンの自動運転における測位装置は、最小限の装置で構成され、小型、低価格であることが望ましい。そこで、本研究では、一般的な GNSS アンテナだけで、反射波を検知し、測位精度を改善させることを目的とした。具体的には、機械学習を利用し、反射波検知モデルを作成した。実際に作成した反射波検知モデルを利用し、反射波を測位計算から除外することで、静止点、移動体ともに測位精度を大きく改善することができた。

2. GNSS 反射波検知モデルの構築と検証

2.1. モデルの構築と検証の概要

はじめに、あらかじめ反射波を検知してある教師データをもとに機械学習を用いて、信号分類モデルを作成した。次に作成したモデルを検証データに適用し、検証データの信号を DLOS(direct-line-of-sight), NLOS(none-line-of-sight)の二つに分類した(Fig. 1)。一般的に、衛星信号の形態は大きく三つに分けられることが多い。直接波のみを受信している LOS(line-of-sight), 直接波と反射波を両方受信している Multipath, そして、反射波のみを受信している NLOS である。

Multipath, NLOS 共に誤差は含まれるが、一般的に、NLOS の方がその特性上誤差が大きくなりやすいことから、今回は、NLOS を検知し、測位から除外することを目的とした。そのため、本研究では、LOS, Multipath を合わせ、DLOS と仮称し、NLOS との二値分類を行った。最後に、モデルの予測信号ラベルから、NLOS と判定されたものを測位から除外することで、衛星測位精度の改善を図った。

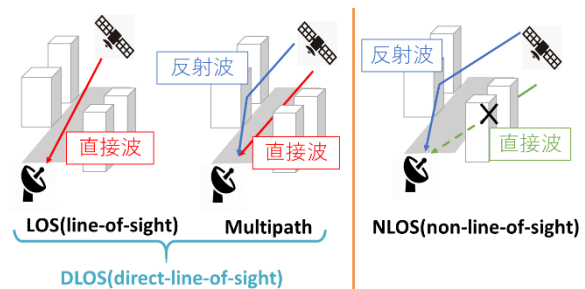


Fig. 1 衛星信号の種類

2.2. 信号分類モデルの作成

まずは、教師データの作成方法について説明する。教師データではあらかじめ、衛星信号を DLOS と NLOS にラベル付けしなければならないが、本研究では、Google Earth を利用し、幾何的に信号分類を行った。データごとに受信位置から衛星方向へ視線ベクトルを伸ばし、建物にさえぎられている場合は NLOS、さえぎられていない場合は DLOS と分類した。教師データに使用したモデルの特徴量は、信号強度 C/N_0 [dBHz], 衛星仰角 EL [deg], 擬似距離残差 res [m] の 3 つである。

また、今回は学習アルゴリズムにランダムフォレストを用いた¹⁾²⁾。学習アルゴリズムの選択にあたり、まず、3.1 節で説明する静止点データで、ロジスティック回帰、サポートベクトルマシン、ランダムフォレストで正答率を算出した。正答率はそれぞれ、88.0%], 88.3%], 92.8%]であり、その中で最も正答率がよかったランダムフォレストを選択した。

ランダムフォレストは決定木を組み合わせたアンサンブル学習であり、汎化性能も高い。さらに、モ

デル構築後の決定木を確認することで、反射波の特徴やモデル構築の際に使用した、特徴量の重要度を確認することができる。

3. 静止点測位解析

3.1. 信号分類モデルの作成

はじめに反射波環境 5 か所、オープンスカイ 1 か所で静止点データを取得した。受信機は u-blox の M8P、アンテナは両円偏波アンテナの右旋偏波のみを用いた(Fig. 2)。また、本研究では GPS と QZSS を使用し、解析を行った。取得したデータを元に信号分類モデルを作成した。モデルの汎化性能を確認するため、全 6 か所のデータのうち 1 か所を検証データとして、教師データに含めずに、モデルを作成し、正答率を算出した。それを実験場所別に、全 6 通り行った。結果を Table. 1 に示す (data1 がオープンスカイ)。それぞれ、検証データの正答率が 85%以上となったことから、高水準の分類モデルを作成することができた。

次に、モデル作成の際の各特徴量の重要度を算出した(Fig. 3)。信号強度 C/N_0 、衛星仰角 EL、擬似距離残差 res の順番に高い結果となった。機械学習の見地から、反射波検知には信号強度が非常に重要であるということが確認できた。



Fig. 2 GNSS アンテナ (右旋のみ使用) (左), 受信機(右)

Table. 1 モデルの正答率(静止点)

data	1	2	3	4	5	6
正答率 %	98.3	93.1	89.2	85.3	90.0	85.0

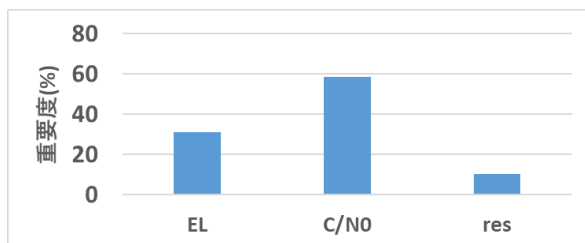


Fig. 3 特徴量の重要度

3.2. 静止点測位結果

次に実際にモデルを適用し、データごとに NLOS と判定された衛星を除外した結果を示す(Fig. 4)。本研究では解析ソフトとして RTKLIB³⁾を用いた。水平、高度方向平均誤差はそれぞれ、12.6m から 6.6m, 35.7m から 12.0m に大きく改善することができた。しかし、Fig. 1を確認すると、NLOS 除外後に新たな瞬間のスパイク誤差が複数生じていることがわかる。

新たに生じた瞬間のスパイク誤差は利用衛星数の変動に伴って発生していることが予測される。Fig. 5 に NLOS 除外後の水平方向誤差と除外衛星数の関係を示す。スパイク誤差が発生している際の除外衛星数を確認すると、ほとんどの場合、除外衛星数が増加していることがわかる。本手法の性質上、エポックごとの衛星配置の変動が激しく、選択した衛星の配置が悪い場合、DOP(dilution of precision)が急激に悪化し、スパイク誤差が発生すると考えられる。さらに、DLOS 衛星を誤って除外した場合、より大きな誤差が発生してしまうことが考えられる。誤差を抑えるために、モデルの衛星測位の適用方法を変更すること、利用衛星数や DOPなどを考慮し、除外衛星を選定するアルゴリズムを考えることなどが必要である。

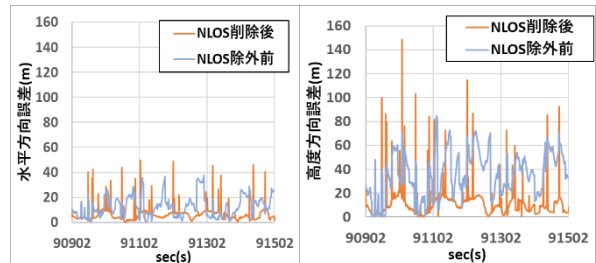


Fig. 4 NLOS 衛星除外前後の水平、高度方向誤差 (静止点)

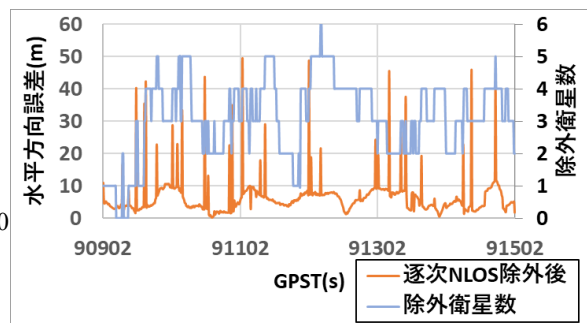


Fig. 5 NLOS 除外後の水平方向誤差と除外衛星数

4. 移動体測位解析

4.1. 移動体測位への適用

次に、2 種類の移動体データを取得した。1 つは自

転車走行データである。反射波環境を含む経路で 15 分走行した。もう 1 つのデータは車上データである。こちら、反射波環境を含む走行経路で、約 60 分走行した。自転車走行データは受信環境の悪い場所での計測が多く、相対測位による基準軌道が得られなかったため、分類スコアを確認するために利用した。一方、車上データは、相対測位による基準軌道は得られたが、スコアが確認できていない。長時間データにおいては真値ラベル付けができなかったためである。以上から、車上データは測位結果を確認するために使用した。

まずは、自転車走行データに静止点データから作成した信号分類モデルを適用し、モデルの正答率を確認した。結果として、正答率 83.2%であり、静止点と同水準の分類機能を有していると考えられる。よって、本モデルは移動体への適用も可能であると考えられる。

4.2. 移動体測位結果

次に車上データを用いた移動体の水平、高度方向誤差を Fig. 6 に示す。水平、高度方向平均誤差はそれぞれ、5.7m から 2.7m、9.6m から 3.6m に改善した。よって本手法で、移動体の測位精度も向上することがわかった。しかし、Fig. 6 を確認すると、静止点測位と同様、新たなスパイク誤差が複数生じてしまっていることが確認できる。これも原因は衛星配置の急激な変動が原因と考えられ、改善の余地がある。

5. 今後の課題

本研究で、機械学習を利用し、一般的なアンテナ、受信機のみで比較的高水準で NLOS 信号を特定することができた。また、NLOS 信号を測位から除外することで、静止点、移動体ともに測位精度を改善することができた。しかし、衛星配置変動に伴う、スパ

イク誤差が新たに生じた。除外衛星を利用衛星数や DOP など複合的な視点から決定することや、衛星を除外するのではなく、重みづけをすることなどで、誤差が緩和する可能性があり、検討を進める。

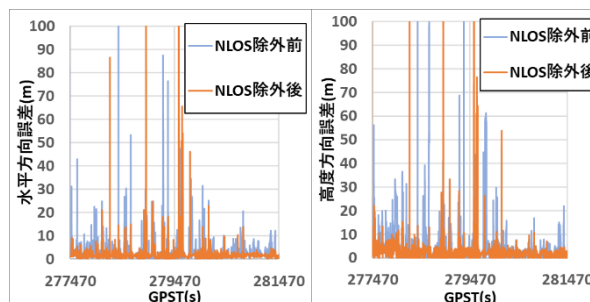


Fig. 6 NLOS 衛星除外前後の水平、高度方向誤差 (移動体)

6. 謝辞

本研究で使用した車上移動体データは東京航空計器様に提供していただきました。誠にありがとうございました。

参考文献

- [1] LEO BREIMAN “Random Forests” Machine Learning, 45, 5–32, 2001 Kluwer Academic Publishers. Manufactured in The Netherlands.
- [2] Habe Hiroshi “Random Forest” IPSJ SIG Technical Report Vol.2012-CVIM-182 No.31 2012/05/31
- [3] 高須知二 ” RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning” <http://www.rtklib.com/>
- [4] Li-Ta Hsu “GNSS Multipath Detection Using a Machine Learning Approach” 2017 IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)