

再放射キットを Spoofer と想定した場合の検知方法について

Detection Method Using Radiation kits as a Spoofer

長岡賢吾 久保信明 小林海斗
Kengo Nagaoka Nobuaki Kubo Kaito Kobayashi

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

1. はじめに

GNSS を利用したシステムが様々な分野で機能している現代において電波妨害技術は脅威を増している。屋内でも GNSS 信号を送信できる再放射キットは、リアル衛星信号とは異なり同一方向から GNSS 信号が放射されていると推測される。本稿では、上述の再放射キットで Spoofing を検知する方法について検討した。

2. Spoofing 信号の検出方法

リアル衛星信号と Spoofing 信号でマルチパスの性質が異なることに注目した。受信側のアンテナが直接波と反射波を捉えるとき、リアル衛星信号は衛星配置による到来方向の違いからマルチパス遅延や信号強度などの関係が多様である一方、Spoofing 信号では図 1 のように反射波の経路が類似するため、マルチパスのパラメーターに類似性が生じる。そこで、パラメーターを次のように表現した。

$$R/L \text{ 信号強度比 [dB]} = 20 \cdot \log_{10} \left\{ \frac{|I_p(R) + i \cdot Q_p(R)|}{|I_p(L) + i \cdot Q_p(L)|} \right\} \quad \dots(式 1)$$

また

$$\left\{ \frac{|I_p(R) + i \cdot Q_p(R)|}{|I_p(L) + i \cdot Q_p(L)|} \right\} = a + i \cdot b \quad \dots(式 2)$$

とするとき

$$R/L \text{ 擬似距離位相差 [deg]} = \arctan(a, b) \quad \dots(式 3)$$

ここで I_p と Q_p は擬似距離コードの prompt レプリカコードとの相関値で I 相および Q 相での値を示す。(R)は RHCP 信号の相関値、(L)は LHCP 信号の相関値を示す。RHCP アンテナおよび LHCP アンテナより RHCP 信号と LHCP 信号を取得し、PC 上のソフトウェア GNSS 受信機で信号捕捉と追尾を行う。RHCP と LHCP の相関値から信号強度比(横軸)と擬似距離位相差(縦軸)の 2 つのパラメーターを推定し、各 epoch でのパラメーターを水平プロットする。Spoofing 中では各衛星で信号強度比と擬似距離位相差が同じような値をとり、水平プロット図に点群が形成されると予想される。

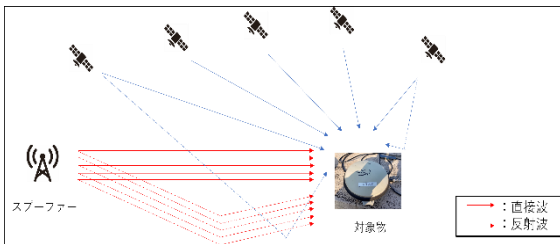


図 1 リアル衛星信号と Spoofing 信号の経路の違い

3. 実験概要

RHCP アンテナ、LHCP アンテナを繋いだ 2ch 入力 of RF フロントエンド(IP Solution)を用いて L1 帯 1 周波の GNSS 信号を取得する。オープンスカイでリアル衛星信号を受信した場合と屋内で Spoofing を行った場合で水平プロットの結果を比較した。Spoofing は約 3m の距離から再放射キットを利用して再現した。



図 2 実験機器構成



図 3 屋内再放射の様子

4. 実験結果

2022 年 10 月 4 日、東京海洋大学第四実験棟屋上および第四実験棟大教室にて、それぞれ 3 分程度データを取得した。このときの水平プロット図を以下にまとめた。

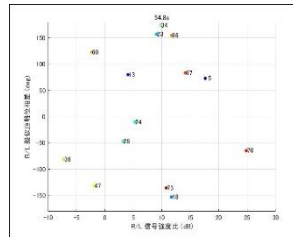


図 4 水平プロット(屋上)

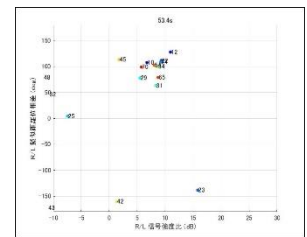


図 5 水平プロット(Spoofing)

図 4 と図 5 を比較すると図 5 では各衛星が同じような値をとり、点群が形成されている様子がわかる。図 5 は信号追尾できていない衛星が含まれており発表までに修正する。

5. まとめ

Spoofing 信号におけるマルチパスのパラメーターに類似性が生じることに着目し、水平プロット図の点群形成により Spoofing 検知の評価を行った。屋内 Spoofing 信号の水平プロット結果より、Spoofing 信号のマルチパスの性質を確認した。一方で、Spoofing 中に点群から外れる衛星が見られたことから信号取得環境によりすべての信号を追跡できない可能性が考えられた。実験後、点群から外れた衛星の PLL 値を参照すると位相ロックから外れる値が算出されていた(PLL 値は 0.85 以上が望ましい)。点群のばらつき具合が大きい場合の検知方法については今後の課題とする。