

# Nullspace Projection を適用した MUSIC 法による スプーフィングの方向推定

DOA Estimation for Spoofing Signals Using the MUSIC Algorithm with Nullspace Projection

米山まうむ  
Maumu Yoneyama

辻井利昭  
Toshiaki Tsujii

大阪公立大学大学院 工学研究科  
Graduate School of Engineering, Osaka Metropolitan University

## 1 研究目的・背景

GNSS は船舶、航空機の自動運航などへの利用が予想される。このようなシステムにおいては精度や信頼性が重要となる一方で、GNSS 信号はマルチパスやスプーフィングといった不要波の悪影響を受ける。本研究ではアレーアンテナを用いてスプーフィング信号の到来方向を推定し、最終的には除去することを目的とする。

## 2 研究概要

### 2.1 アレーアンテナの到来方向推定

アレーアンテナとは複数個のアンテナを用い、振幅や位相の操作により指向性の制御が可能なアンテナである(図1, 2)。本研究では評価関数のピークサーチにより到来方向を推定する MUSIC 法と呼ばれる手法を用いる。

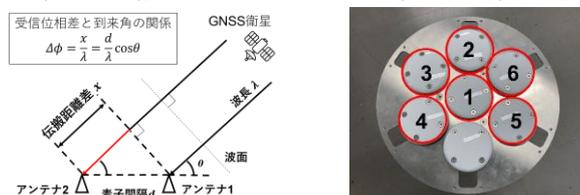


図1 アレーアンテナ原理 図2 アレーアンテナ(6素子)

### 2.2 Nullspace Projection<sup>[1]</sup>

受信した信号に対してその到来方向を元にヌル空間への射影によってそれぞれの信号空間に切り分けるヌル空間射影(Nullspace Projection; NSP)について説明する。ある2つの方向から到来する信号をそれぞれ  $s_a, s_b$  とすると、 $K$ 素子のアレーアンテナの受信信号モデルは、信号  $s_a, s_b$  の到来方向ベクトル  $\mathbf{a}, \mathbf{b}$  及び雑音ベクトル  $\mathbf{n}(t)$  を用いて以下のように表すことができる。

$$\mathbf{x}(t) = s_a(t)\mathbf{a} + s_b(t)\mathbf{b} + \mathbf{n}(t)$$

信号  $s_a$  のヌル空間(Nullspace)への直交射影行列は

$$P_{\perp a} = I - \mathbf{a}\mathbf{a}^H / (\mathbf{a}^H \mathbf{a}), \quad P_{\perp a} \mathbf{a} = 0$$

と表され、アレーアンテナでの受信信号  $\mathbf{x}(t)$  にかけると

$$\mathbf{z}^b(t) = P_{\perp a} \mathbf{x}(t) = s_b(t)P_{\perp a} \mathbf{b} + P_{\perp a} \mathbf{n}(t)$$

となり、信号  $s_a$  を除去しつつ信号  $s_b$  を残すことができる。

## 3 実験概要

実衛星信号が受信できる環境で、GPS L1C/A 信号シミュレータ(CLAW-GPSSimulator)を利用してスプーフィング信号を照射した。アレーアンテナで受信した信号はフロントエンドでサンプリングし I/Q 形式で保存した。なおスプーファは Az:180, El:30[deg] 方向に設置した。

ユレータ(CLAW-GPSSimulator)を利用してスプーフィング信号を照射した。アレーアンテナで受信した信号はフロントエンドでサンプリングし I/Q 形式で保存した。なおスプーファは Az:180, El:30[deg] 方向に設置した。

## 4 解析・結果

2.2 節で述べたヌル空間射影の処理は逆拡散後のデータに対して施した。図3に通常の MUSIC 法での方向推定結果と実衛星方向(×黒印)のヌル空間へ射影した信号 ( $\mathbf{z}^{auth}$ ) での推定結果(信号数  $L=2$ ) を示した。NSP 処理によってスプーファ方向と実衛星方向の強度差が明確になっている。図4はスプーファ方向のヌル空間へ射影した信号 ( $\mathbf{z}^{spoof}$ ) による推定結果である。スプーフィング信号が除去できていることがわかる。

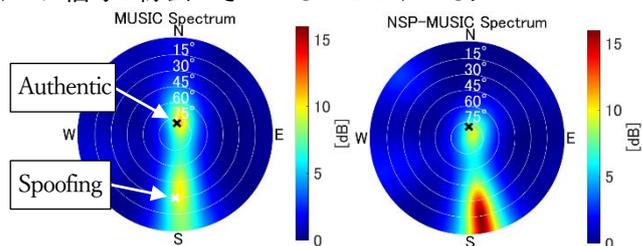


図3 到来方向推定 460[s](左:通常, 右:実衛星方向 NSP)

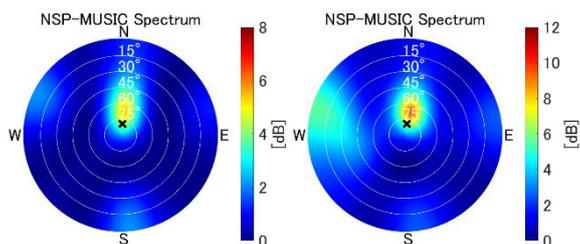


図4 スプーファ方向 NSP 460[s](左:L=1, 右:L=2)

## 5 まとめ及び今後の課題

スプーフィングの除去後の信号 ( $\mathbf{z}^{spoof}$ ) に対して測位演算を行い、測位結果への影響を評価する

## 6 参考文献

[1] Chun Yang, Andrey Soloviev, "How to mitigate a spoofing signal while tracking it for intent analysis?", Inside GNSS, Vol. July/August 2021, pp 24-30.