

ソフトウェア無線による月測位受信機の開発と検証

Design and Test Results of a Software-Defined LANS AFS Receiver

曾布川璃音 海老沼拓史
Rion Sobukawa Takuji Ebinuma

中部大学
Chubu University

1. はじめに

LunaNet は、月面およびその周辺空間における探査活動を支援することを目的として提案された、次世代の通信・航法ネットワークである。LunaNet における主要なサービスのひとつが LANS (LunaNet Augmented Navigation System) による衛星測位であり、LANS が用いる代表的な測位信号が AFS (Augmented Forward Signal) である。

中部大学では、将来の月面における利用実証に向けて、LANS AFS の受信機を開発中である。このような受信機の測位性能を評価するためには、月軌道を周回する複数の測位衛星から送信された電波を模擬する信号シミュレータが必要となる。そこで、本研究では、ソフトウェア無線を利用し、月面で受信される月測位電波を模擬する信号シミュレータの開発を行った。さらに、月面における測位アルゴリズムの検証と測位精度を評価するために、受信機の機能もソフトウェア無線で実現した。本稿では、月測位信号シミュレータによって生成された信号をソフトウェア月測位受信機で処理することで、測位信号の捕捉、追尾、さらには測位演算を行った結果を報告する。

2. 月測位信号シミュレータ

LANS AFS の仕様は、2025 年 2 月 7 日に公開された LunaNet Interoperability Specification Version 5 の適用文章である LunaNet Signal-In-Space Recommended Standard で規定されている。搬送波の中心周波数は 2492.028MHz であり、BPSK(1)のデータチャンネルと、BPSK(5)のパイロットチャンネルから成る。航法メッセージのフレーム構造や符号化については規定されているものの、具体的なフォーマットは未決定である。

月測位信号シミュレータの開発には、オープンソースの GPS 信号シミュレータである `gps-sdr-sim` をベースとして採用している。LANS AFS の仕様は、ほぼすべて実装が完了しているが、月測位における座標系や衛星軌道モデルは未決定である。そのため、現時点では簡易的に均一な球である月を想定し、衛星軌道モデルはケプラー軌道とした。これは、航法メッセージのフォーマットを仮に決めるためのものであり、正式な仕様が決まれば容易にそちらに変更が可能である。

図 1 に、JAXA が提案する月測位衛星の軌道と衛星配置を示す。この軌道は ELFO (Elliptical Lunar Froze Orbit) と呼ばれており、クレータ内部などの永久影に水や氷資源が期待されている南極域に長時間滞在するように設計されている。月測位信号シミュレータでは、この衛星軌道を航法メッセージの生成に用いている。

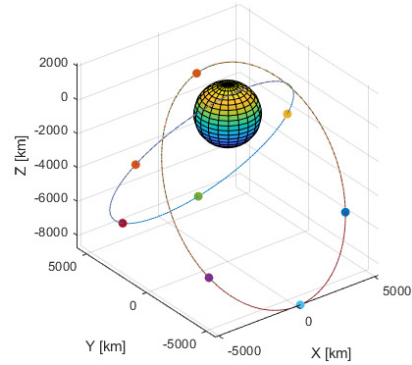


図 1：月測位システムの軌道と衛星配置

3. 月測位受信機

月測位受信機の開発には、オープンソースのソフトウェア GNSS 受信機である `PocketSDR` をベースとして採用している。こちらも LANS AFS の受信に必要な機能はほぼすべて実装が完了している。ただし、航法メッセージのフォーマットは、月測位信号シミュレータで仮に決めたものと同じである。こちらも正式な仕様が決まれば、容易に変更可能である。

月測位シミュレータで生成されたベースバンド信号をファイルとして入力することで、月測位受信機の機能をオフラインで確認した。その結果を図 2 に示す。これにより、LANS AFS の捕捉、追尾、航法メッセージの復号、疑似距離の生成、さらに測位演算まですべての動作が確認された。

```
Galileo@GPSLAB MINGW64 ~/PocketSDR/PocketSDR_AFS/app/pocket_trk
$ ./pocket_trk.exe -sig AFSD -prn 2-8 -f 12 ~/lans-afs-sim/test.bin
FFTW wisdom import error ../python/fftw_wisdom.txt
2023-08-30 16:45:29.002 -89.6599650 129.1983315 101.79 7/ 7 FIX
CH RF SAT SIG PRN LOCK(s) C/N0 (dB-Hz) COFF (ms) DOP (Hz)
1 1 L02 AFSD 2 41.60 41.2 | | | | | 0.6382863 -2376.2
2 1 L03 AFSD 3 41.41 39.5 | | | | | 0.2709377 6.0
3 1 L04 AFSD 4 41.05 41.5 | | | | | 0.5857123 2386.0
4 1 L05 AFSD 5 40.88 43.5 | | | | | 1.9304659 -3009.5
5 1 L06 AFSD 6 40.71 39.8 | | | | | 0.8577432 -1173.4
6 1 L07 AFSD 7 40.54 39.9 | | | | | 0.8057977 1195.3
7 1 L08 AFSD 8 40.35 44.2 | | | | | 1.7888383 3005.1
```

図 2：月測位受信機の動作確認

4. まとめ

月測位受信機の開発、検証のためのツールとして、月測位信号シミュレータを開発し、その機能をソフトウェア受信機により確認した。月測位受信機のベースとなっている `PocketSDR` は、`Raspberry Pi 5` でも動作することが確認されている。LANS AFS による測位機能も `Raspberry Pi 5` で検証し、月探査ローバーなどに搭載可能なスタンドアローンの小型月測位受信機の実現を目指す。