

2I09 ソフトウェア無線技術を利用した 小型安価なテレメータ受信局の実証

○土屋直大[†] 砂見幸之[†] 油谷崇志[†] 笹生拓児[‡] 福島幹雄[‡]

[†] 宇宙航空研究開発機構 研究開発部門 第四研究ユニット 〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

[‡] 株式会社 ドルフィンシステム 〒171-0014 東京都豊島区池袋 2-45-1 アークシティ池袋ビル 601

Development of Extremely Small Telemetry Receiver Using Software Defined Radio

Naohiro TSUCHIYA[†] Koji SUNAMI[†] Takashi ABURAYA[†] Takuji SASOH[‡] Mikio FUKUSHIMA[‡]

Key Words: SDR, Receiver, Tracking Station

Abstract

Future space launch projects will include missions with various flight paths is, creating a need for technology that can provides compact, low cost, and highly portable receiving station. Software Defined Radio(SDR) technology allows to implement RF transceiver functions which is easily controlled by program. In an effort to reduce costs and increase usability of rocket telemetry receiving station, we developed a specific telemetry receiver for JAXA rocket which utilizes SDR technology.

1. 背景および概要

宇宙航空研究開発機構 (JAXA) は、ロケット打上時の公共の安全を確保する等の目的で飛行中のロケットからテレメータデータを受信している。ダウンレンジ方向のデータを受信するための受信局 (ダウンレンジ局) は、基本的に遠隔地や海外にあり増設や移設が困難であるため一般的な飛行経路をカバーできる最小限の局数を運用している。今後の宇宙輸送プロジェクトの多様な飛行経路のミッションに機動的に対応するためには、小型で可搬性に優れた受信設備を実現する技術が求められる。

ソフトウェア無線 (SDR : Software Defined Radio) はプログラムで送受信器の機能を自由に制御する技術である。従来用途ごとの開発が必要だった無線装置を汎用品で置き換える事ができる可能性があり、技術の進展により高性能かつ汎用性に富んだ SDR 向けハードウェアが安価に手に入るようになっている。

JAXA でも 2013 年から SDR 技術を用いた汎用計測装置を導入し、ロケット打上げ時の RF データの記録や擾乱現象の解析を行ってきた。また、蓄積した解析技術を発展させ、ロケットテレメータ用の受信復調機能を SDR 技術により実装した超小型のテレメータ受信機の開発も行っている²⁾。今回、これまでに開発を行ってきた小型受信機に必要な機能を追加して小型可搬のテレメータ受信局を構築したので報告すると共に、今後の実用に向けた計画について述べる。

2. 超小型可搬テレメータ受信局

2.1. 超小型可搬テレメータ受信局 概要

今回構築した超小型可搬テレメータ受信局の構成を図 1 に示す。本受信局は、SDR 用ハードウェアである USRP-RIO (Universal Software Radio Peripheral - Reconfigurable I/O) を用いた超小型テレメータ受信機、空中線装置、校正系装置、ルータ及び衛星回線モデム等のネットワーク装置で構成している。非常に簡素な構成ながら、最低限のテレメータ受信局に必要な機能が集約しており、地球上の極域を除くエリアでテレメータの受信から種子島へのリアルタイムデータ伝送まで行うことができる。構成機器は全て汎用品で構成しており、調達や輸出入等の手続きに制約が少ない。また、輸送もキャリーケース 2~3 個で行えるため、海外ダウンレンジ局としての運用が非常に容易である。

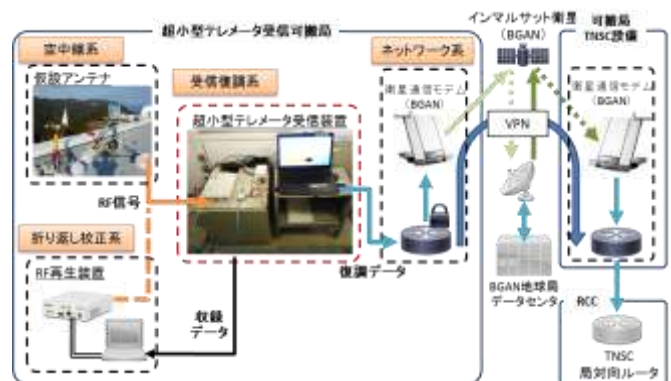


図 1. 超小型可搬テレメータ受信局 全体構成図

2.2. 空中線・折り返し校正系

空中線としては、小型または組み立て式の指向性アンテナを用いる。可搬局の有効レンジとして最大1000km程度をカバーすることを想定しており、射点付近などレンジ200km程度までは小型ホーンアンテナを、以降は組み立て式のパラボラを使用し、要求される通信距離によりアンテナを使い分ける。

また、折り返し校正系として空中線系のLNA入力端に信号折り返し入力が可能なRF再生装置を設けた。これにより、設営後の機能点検や、収録信号の再生確認を行う。

2.3. 受信復調系

RFフロントエンド部のUSRP-RIOと制御用のPCにより構成され、シンプルながらRF信号の受信復調から伝送データの生成、出力までのほぼ全ての局機能を集約した。

USRP-RIOは市販されている汎用SDR用ハードウェアであり、小型安価ながらユーザーがプログラム可能なFPGAも内蔵し、高性能かつ柔軟なシステムの構築が可能となっている。本受信機ではこのUSRP-RIO内のFPGAに受信復調を行う演算回路を実装することで、ほとんど遅延無くロケット2段UHF基本テレメータ(周波数:2.3GHz帯、変調方式:PCM/PM、ビットレート:131.072kbps)の信号を受信復調する機能を実現している。また、受信した広帯域のRF信号は受信機内部で3波に分波されており、それぞれ任意の周波数、帯域に切り出すことができるため、他のUHF帯のテレメータ(技術テレメータ、航法テレメータ)の2波のRF信号収録が可能である。

制御用PCではUSRP-RIOの受信復調機能を制御するだけでなく、受信状況を監視できるようにGUIをそなえており、受信レベルや信号スペクトラム、コンステレーション、QD情報等もリアルタイムで表示できる。また復調データを射場のネットワークへ伝送するために必要な時刻などの情報の付加や所定のUDP/IPフォーマットへの変換を行っている。

2.4. ネットワーク系

本受信局と種子島の局対向ルータを接続するために衛星通信回線(インマルサットBGAN)を用いている。また、使用する回線が一般のインターネット網を介するため、2拠点間にVPNを構築しロケットテレメータデータは暗号化を行って伝送している。

局側と種子島にそれぞれ衛星通信モデムとVPN構築用のルータを配置することで、極域を除く地球上のあらゆるエリアからロケットデータの伝送が可能

となる。なお、今回構築したネットワークでの伝送遅延は900ms程度(ストリーミングIPモード:176kbps)であり、十分リアルタイムでのデータ伝送が可能となっている。

3. 検証試験

打ち上げ期間外に超小型可搬テレメータ受信局を種子島の射場ネットワークへ接続したデータ伝送試験を実施した。試験では折り返し校正系から再生した、イプシロン2号機のフライト信号(内之浦TLM収録データ)を受信機に入力し、受信復調からデータ伝送まで一連の動作検証を行った。

結果、データ再生を行った全時間(約5分間)において正常にテレメータデータの受信復調を行えており、復調結果も既存の受信機に対して一致している事を確認した。また、構築したネットワークを介したデータ伝送も正常であり、伝送パケットのフォーマット及びルーティング設定等のIFが射場のネットワークに適合している事も合わせて確認した。

空中線系についても、イプシロン3号機のフライト時に検証を行い、想定する受信レベルが得られる事を別途確認しており、本受信局は、全ての構成要素の検証が完了している。

4. 今後の実証計画

本受信局は局としての構成要素の検証が完了した事から、実フライト時に射場ネットワークへ接続したEndtoEndの実証を本年度中に行う計画である。また今後は、実際にダウンレンジへ移設しての遠隔地からのデータ伝送を行い、実用化に向けた運用の検討及び、局機能のブラシアップや拡充も合わせて実施する計画である。

5. まとめ

SDRの技術を活用し、超小型で容易に移設可能なテレメータ受信局を構築した。これにより多様な輸送ミッションへの柔軟な対応が可能となる。今後、EndtoEndの実証を行い、ダウンレンジでの運用実績を積む計画である。さらに、イプシロン及びH3での実用化を目指す。

参考文献

- 1) 油谷崇志, 砂見幸之, 土屋直大: ロケット無線通信システム通信エラー抑制対策技術の開発検証, 信学技報, vol.115, no.390, AP2015-186, pp105-110, 2016.1
- 2) 土屋直大, 砂見幸之, 油谷崇志, 笹生拓児, 福島幹雄: ソフトウェア無線を用いた超小型ロケットテレメータ受信機の開発, 第61回宇宙科学技術連合講演会講演集, 2017.10