

ボランティアと知能情報処理によるグローバルな 人工衛星テレメトリ信号受信システム

Global Satellite Telemetry Receiver System based on Volunteers and Intelligent Information Processing

青木 聡志^{*1}, 日下部 将規^{*2}, 浅井 文男^{*1}, 徳光 政弘^{*2}
Satoshi AOKI^{*1}, Masanori KUSAKABE^{*2}, Fumio ASAI^{*1}, Masahiro TOKUMITSU^{*2}

^{*1}奈良工業高等専門学校 情報工学科

^{*1}National Institute of Technology, Nara College

^{*2}米子工業高等専門学校 電子制御工学科

^{*2}National Institute of Technology, Yonago College

Email: aoki@info.nara-k.ac.jp

あらまし：高等教育機関やベンチャー企業による超小型衛星開発が世界規模で進展している。これを支援するため、人工衛星テレメトリ信号受信システム(ソーシャルダイバーシティ)の構築を進めている。ソーシャルダイバーシティはボランティアベースの受信ネットワークと知能情報処理による受信データの品質向上を特徴とするオープンなシステムである。現時点で、ボランティアが使用するテレメトリ信号受信装置と受信テレメトリ処理サーバシステム(Web アプリケーション)のプロトタイプをそれぞれ設計・試作し、動作検証と改良および機能強化に取り組んでいる。実用性の評価に必要な人数の受信ボランティアが集まり次第、受信装置の提供とサーバシステムの公開を行い、実践的な評価実験を開始する予定である。

キーワード：人工衛星、衛星テレメトリ、受信ネットワーク、知能情報処理、Web アプリケーション

1. はじめに

本研究の背景として、近年、世界規模で大学・高専・ベンチャー企業などによる超小型人工衛星の開発と運用が進展している。開発チームは衛星から送信されるテレメトリデータを受信・解析することで衛星搭載機器の動作環境や動作状態を監視している。しかし、これらの衛星の可視時間は1パスあたり最大15分程度に限られ、また、アマチュア無線周波数を使用している場合は地上交信による混信を受けるため、受信データには欠損や誤りが発生する。

この問題に対処するため、開発チームは世界各地のアマチュア無線家などに協力を依頼し、独自の受信・解析ソフトを提供してデータを収集している。また、アマチュア無線家有志が汎用的な受信・転送ソフトを配布して、データベースを構築している⁽¹⁾。

2. 研究目的

本研究の目的は、アマチュア無線周波数を使用する超小型人工衛星のテレメトリ信号を受信するボランティアベースのネットワークと、収集・処理したテレメトリのデータベースサーバを構築・運用することで、衛星開発チームを支援するとともに、開発システムを教育的な利用にも提供することである。本研究ではボランティアによる受信ネットワークの仕組みを「ソーシャルダイバーシティ」と呼び、またソーシャルダイバーシティを実現する情報システムを「ソーシャルダイバーシティ型情報システム」と呼ぶ。先行事例⁽¹⁾はソーシャルダイバーシティと類似しているが、収集したデータに誤り推定や誤り訂正を行わない点が提案システムと大きく異なる。

3. 提案システムの概要

ソーシャルダイバーシティの概要を図1に示す。本研究で開発した簡易受信装置で世界各地のボランティアが受信したテレメトリデータは準リアルタイムでシステムサーバに送られ、知能情報処理による欠損補完や誤り訂正が行われ、データベースに蓄積される。品質向上したテレメトリデータはWebアプリケーションにより衛星開発チームに提供される⁽²⁾。

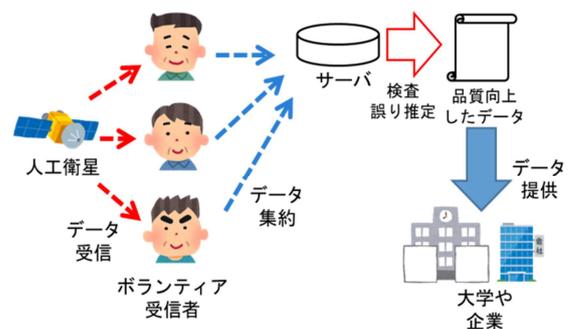


図1 ソーシャルダイバーシティの概要

ソーシャルダイバーシティを実現するため、主要な研究内容を以下の2つの課題に分割し、課題1を米子高専徳光研究室が、課題2を奈良高専浅井研究室が分担し、それぞれ開発に取り組んでいる。

- 1) 課題1：サーバ(Web アプリケーション)の開発
- 2) 課題2：ボランティア用簡易型受信装置の開発

また、試作システムの試験運用には高専スペース連携⁽³⁾に参画する高専の協力を得て、実践的な動作検証と実用性の評価を行う準備も進めている。

4. 研究結果

4.1 サーバシステム

ソーシャルダイバーシティのサーバシステム (Web アプリケーション) のプラットフォームには Google App Engine を採用した。サーバシステムはボランティアから送られてくる大量のテレメトリデータを高速に処理する必要があるため、プログラムがネイティブ環境で実行される go 言語が適していると考えた。テレメトリデータの欠損や誤りの推定には多変量時系列モデルや Support Vector Machine (SVM) の回帰モデルなどの採用を検討しているが、構想段階で実装はできていない。現在、試験運用中の Web サイトで閲覧できるテストデータの表示画面を図 2 に示す。

番号	衛星カタログ番号	衛星名	時刻	地点	データの長さ	データへのリンク
1	40043	TIGRISAT	2017-01-13T13:22:26Z	Yatacho 22, Yamato-Koriyama, Nara, Japan	2	データ
2	40043	TIGRISAT	2017-01-13T13:22:25Z	Yatacho 22, Yamato-Koriyama, Nara, Japan	44	データ
3	40043	TIGRISAT	2017-01-13T13:22:15Z	Yatacho 22, Yamato-Koriyama, Nara, Japan	44	データ
4	40043	TIGRISAT	2017-01-13T13:22:15Z	Yatacho 22, Yamato-Koriyama, Nara, Japan	44	データ
5	40043	TIGRISAT	2017-01-13T13:22:05Z	Yatacho 22, Yamato-Koriyama, Nara, Japan	2	データ

図 2 試験運用中の Web サイト (<https://social-diversity-devel.appspot.com/>)

4.2 簡易型受信装置

試作したボランティア用簡易型受信装置の動作フローを図 3 に示す。受信対象を超小型人工衛星が 430MHz 帯のアマチュア無線周波数の FM 電波で送信する AX.25 パケットテレメトリ信号に設定し、できるだけ安価で容易に導入・操作できるようにハードウェアとソフトウェアを選択した。

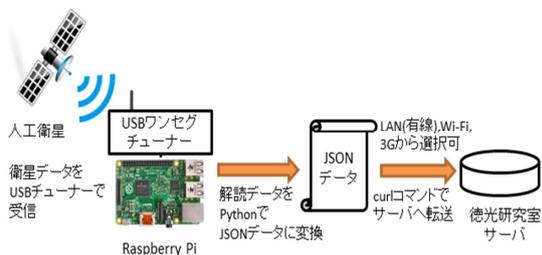


図 3 簡易型受信装置の動作フロー

具体的には FM パケットテレメトリ信号をソフトウェア無線の RTL-SDR (rtl_fm) で受信・復調し、パケットデータをソフト TNC の DireWolf で解読する。DireWolf が出力する AGWPE フォーマットの解読データを TCP/IP 通信で Python スクリプトに送信する。Python スクリプトはテレメトリデータを抽出し、Web アプリケーションに適した JSON フォーマットに変換した後、受信時刻や受信地点などの情報を付

加し、curl コマンドでサーバに準リアルタイム送信する。ハードウェアには Raspberry Pi Model B+ と USB ワンセグチューナー (RTL ドングル) を使用した。

試作した簡易型受信装置の室内動作検証実験を行い、パケットデータの受信・解読、JSON フォーマット変換、サーバ送信の連係動作を確認した。また、送信データはサーバで正常に処理され、図 2 の Web サイトで閲覧できることも確認した。動作検証でサーバに送信された JSON データをリスト 1 に示す。

リスト 1 サーバに送信された JSON データ

```
{
  "norad_id": "10000",
  "observer_id": "5739407210446848",
  "location_id": "5734055144325120",
  "timestamp": "1484059817",
  "data": " This is a 1200 bps AFSK packet message beacon from JJ3YUJ"
}
```

試作した簡易型受信装置を使った超小型人工衛星のテレメトリ信号受信実験も開始しており、現時点でテレメトリデータを取得できた衛星を表 1 に示す。

表 1 データを取得できた超小型人工衛星

データ取得日	衛星名	開発大学・企業
2016/11/17	GRIFEX	University of Michigan
2016/11/24	TigriSat	La Sapienza University
2016/12/1	BugSat 1	Satelloptic S.A

5. 今後の課題

簡易型受信装置の今後の課題は 3 つある。1 つ目は、作成した Python スクリプトには基本機能しか実装されていない点である。実用化に必要な機能には、テレメトリがバイナリデータで構成される場合は 16 進数に変換する機能、受信装置の動作状況を確認するためのログファイル生成機能などが挙げられる。

2 つ目は、受信装置に使用するアンテナとプリアンプの選択である。動作検証実験ではナガラ電子工業の QFH-243 アンテナ (無指向性) と AMSAT-NA のプリアンプ (ゲイン 20dB) を使用したが、両製品とも入手が難しいので、代替品を調査する必要がある。

3 つ目は実践的なテレメトリ信号受信実験を、できる限り多くの衛星に対して、長期間継続して実施することである。その結果に基づいて簡易型受信装置の実用性を定量的に評価することが不可欠である。

簡易受信装置はだれでも容易に導入・操作できる。これを小・中・高校に配布して学校ベースの受信ネットワークを構築し、Web アプリケーションを利用する科学教育や課外活動の具体化と実践も試みたい。

参考文献

- (1) Mike Rupprecht : Online Telemetry Forwarder and Online Telemetry Collector Server, <http://tlm.pe0sat.nl> (2016 閲覧)
- (2) 徳光政弘, 他: " ボランティアと知能情報処理によるグローバルな人工衛星テレメトリ信号受信システム", 平成 28 年度高専教育フォーラム予稿集 (2016)
- (3) 高専スペース連携, <http://space.kochi-ct.jp> (2016 閲覧)