

令和 5 年 6 月 29 日現在

機関番号：55101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K11965

研究課題名（和文）誤りを含む人工衛星テレメトリデータの多地点受信データ群を活用した元データ推定手法

研究課題名（英文）An Original Data Estimation Technique Utilizing Received Dataset of Multi-point Ground Stations for Satellites' Corrupted Telemetry Data

研究代表者

徳光 政弘（徳光政弘）（Tokumitsu, Masahiro）

米子工業高等専門学校・その他部局等・准教授

研究者番号：60713930

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：技術実証や科学ミッションを目的に超小型衛星が開発され、打ち上げられている。超小型衛星の通信は主にアマチュア無線帯を使用しているが、通信環境にさまざまな制約がある。本研究では、衛星からのデータとこれに付加されている誤り検査・訂正情報、多地点取得の受信データ群を用いて、誤りを含む受信データから元データを推定する手法を検討した。元データ推定は、受信データ群の周期性、平均・標準偏差等のデータの特徴を用いた探索に基づく方法を検討した。また、本研究の推定手法の検証を目的に、超小型衛星の衛星通信に対する評価実験について検討し、データ書式と衛星搭載プログラムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

技術実証や科学ミッションを目的に、衛星通信にアマチュア無線を活用した超小型衛星が開発され、打ち上げられている。超小型衛星の通信は、不法無線による通信妨害、衛星と地球局が通信可能な時間、使用する通信方式等によりさまざまな制約がある。衛星から取得するデータはミッション実験結果の検証や衛星の状態を把握するために重要である。本研究は、誤りを含む受信データと受信データ群から元データ推定手法を検討した。誤りを含むデータから元データを推定することによって、有効な受信データ数向上が期待できる。本研究の成果は、衛星通信にアマチュア無線を使用する超小型衛星の運用・開発機関に対して、衛星開発と運用への貢献ができる。

研究成果の概要（英文）：Nanosatellites have been developed and launched for technological demonstration and scientific missions. Satellite Communications for nanosatellites mainly use the amateur radio bands, but there are various limitations for the communication environments. In this study, we considered a technique for estimating the original data from the corrupted received data utilizing the reception dataset by multi-point ground station. For the estimation of the original data, the proposed technique is based on exploration for candidates of the original data, and utilizes the data for error checking and correction information attached to the data as hints for exploring the original data. In addition, for the purpose of validating the estimation method of this study, we considered evaluation experiments for satellite communications by nanosatellites, and we developed a data format and satellite onboard programs.

研究分野：情報工学

キーワード：元データ推定 衛星通信 探索 CRC-16 誤り検出符号 知能情報処理 キューブサット 超小型衛星

1. 研究開始当初の背景

世界各地の大学・高専やベンチャー企業による科学ミッション・技術実証実験のために超小型衛星の開発競争が激化しており、打ち上げ数が過去3年間で右肩上がりでも大幅に増加している。超小型衛星の通信は、衛星ミッションの目的にもよるが、アマチュア無線帯(例:145MHz帯や435MHz帯)が通信回線として使われている。この通信帯の特徴は伝送速度が概ね1.2kbps・9.6kbpsが主流で、地上での衛星からのデータ受信が可能な時間は1回あたり約10分前後と短く、受信データには通信環境の影響で誤りが含まれる。衛星運用では、地球局へテレメトリデータとして衛星が観測したデータ(例:地球の画像)や、衛星の稼動状態(例:バッテリーの充電電圧)が送られる。地球局では不完全な受信データは破棄され、必要なデータの再送命令を衛星に送る。衛星が地球局の上空通過中は、データ受信と命令送信を両方行うため、効率的な通信が必要となる。

超小型衛星の運用では、受信データの信頼性を向上させるために、ボランティアを中心とした多地点受信の活動が行われている[1, 2]。しかし、単純なデータの受信・蓄積にとどまっている。申請者のグループでは、多地点による受信局と知能情報処理による活用を主眼とした受信システムであるソーシャルダイバーシティを開発し、システムを運用して受信データの蓄積を進めている[3]。今後は、単純なデータの受信・蓄積だけでなく、データに付加されている誤り検査・訂正情報と多地点で取得した受信データ群から元データを推定可能な発展的な情報処理技術が必要であると考えた。そして、本研究により有効な受信データ数を向上させることで衛星運用支援に貢献できると考えた。

2. 研究の目的

技術実証や科学ミッションを目的に超小型衛星が開発され、打ち上げられている。超小型衛星の通信は主にアマチュア無線帯を使用しているが、通信環境に制約がある。衛星からのデータ収集支援のために、ボランティアによる多地点受信が行われている。しかし、現状、超小型衛星向けの通信では、誤りを含むデータから受信データ群を活用した元データを推定する手法は研究途上である。

本研究では、衛星からのデータとこれに付加されている誤り検査・訂正情報、多地点取得の受信データ群を用いて、誤りを含む受信データから元データを推定する手法を提案する。元データの推定は、受信データ群の周期性、平均・標準偏差、画像の特徴を制約に用いた探索アルゴリズムとする。提案手法の元データの推定成功率を求め、既存の手法と比較して提案手法の有効性を示す。そして、申請者らが開発中の人工衛星管制システムに提案手法を組み込み、運用上の問題点を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

誤りを含む受信データから元データの推定をヒント付き問題として定式化する。公開されている超小型衛星の通信データ書式や通信仕様を調査し、評価実験で使用するデータ長、誤り検査情報の仕様を決定する。本研究では、評価実験に衛星テレメトリデータが必要である。評価実験に使用するデータは、研究代表者・分担者および研究協力者等で分担してデータを収集する。提案手法の有効性を検証するために、地上での通信実験として無線通信が可能な地上用衛星モデルを開発し、評価実験のデータ作成に使用する。また、元データ推定手法について、探索を基本手法として検討し、テレメトリデータに関係するデータ書式、受信データの統計情報等が元データ推定に活用できる情報かどうかを検討する。

4. 研究成果

誤りを含む受信データから元データの推定をヒント付き問題として形式的に扱うための模式図を図1に示す。本研究の誤りを含むデータの元データ推定問題は、元データのデータ書式や受信データ群および付加的な情報を用いて元データを推定する問題となる。受信データ群は、さまざまな利用可能データが対象となるが、具体的なものとしては単一パケットデータ、複数パケットから構成されるセンサの時系列データ、画像データ等が対象となる。

公開されている超小型衛星のデータフォーマットや通信仕様を調査し、評価実験で使用するデータ長、誤り検査情報の仕様については、高専・大学等の超小型衛星の開発機関が使用している衛星通信機器の普及度合いについても考慮し、アマチュア無線通信で使われているAX.25規格を基にして、ヘッダー部とCRC-16はAX.25に従う。ペイロード部分データについては、図2に示す形式とし、S1からS8はそれぞれ2バイトのフィールドとし、ペイロード部は合計で16バイトとした。S1からS8は、バッテリー電圧・充電電流、太陽電池の発電電圧、衛星筐体温度が対応する。

評価実験に必要なデータ収集を目的に、超小型衛星「KOSEN-1」を中心にハウスキーピングデータを含むモルスピーコンおよびパケットデータの収集を実施した。KOSEN-1の受信データを対象に、作成したフォーマットを適用して、データ整理をした。受信データの整理については、

解析するためのデータ項目及び書式について検討し、受信データだけでなく、運用に関する項目を含めることにした。

衛星からのデータ受信は、SDR（ソフトウェア無線）チューナーを活用したデータ受信システムを作成し、指定した時刻に自動でデータ受信からサーバへ保存する方式とした。自動受信プログラムは作成し、実際の運用を行った。複数の地球局で、衛星からのパケットデータを受信する際に、誤りが含まれているパケットデータを他の地球局で受信したデータを活用することで、複数パケットで構成される元データを復元できることを確認した。作成したプログラムは、KOSEN-1 衛星から取得した画像やセンサデータの復元に活用し、実際に動作することを確認した。

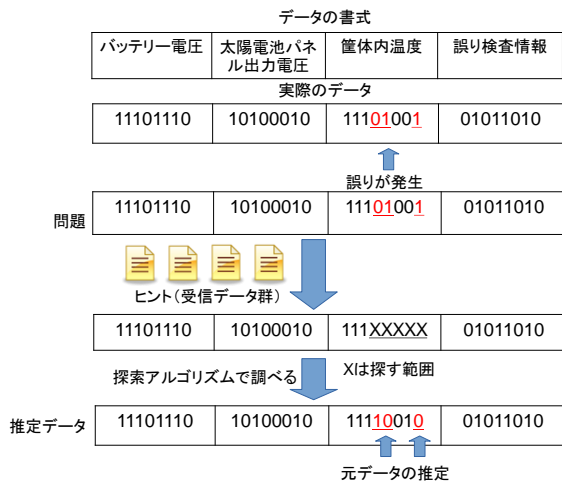


図1 誤りを含む受信データから元データの推定をヒント付き問題の定式化した模式図

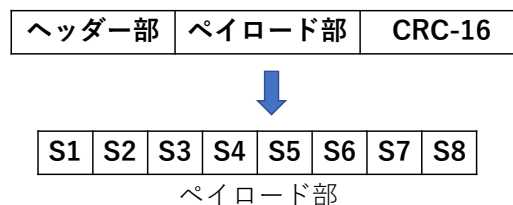


図2 評価実験用のデータ書式

評価実験のデータ準備について、通信実験用の衛星モデルや通信実験に必要な衛星搭載プログラムを開発した。通信実験用の衛星モデルについては、元データ推定手法の評価実験を目的に、超小型衛星「KOSEN-2」の搭載の各種センサやミッション機器をベースにした地上検証用モデルを製作した。地上検証用モデルは、衛星搭載用のオンボード・コンピュータ、バッテリー、衛星搭載用無線機を組み込んでおり、宇宙空間で動作する衛星と同一の機器を搭載している。衛星モデルから取得可能なデータは、フライトモデルのKOSEN-2衛星と同じであり、KOSEN-2衛星が宇宙空間で運用開始された後は、実際のKOSEN-2衛星が送信するデータ書式と同じデータで評価実験ができるようにした。評価実験用の衛星搭載プログラムについては、図2に示すデータを定期的に送信するプログラムを作成し、KOSEN-2衛星の衛星監視データとして取得できるようにした。

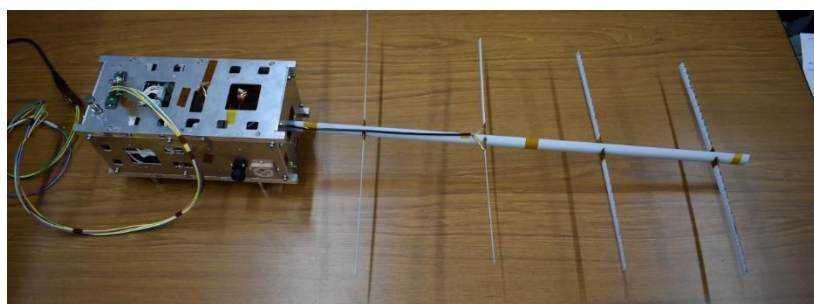


図3 KOSEN-2衛星の地上通信実験用の衛星モデル

元データ推定手法については、元データ推定にデータの統計情報を活用した手法[4]を基に検討した。KOSEN-1から取得した実際のハウスキーピングデータ（バッテリー充電電圧、筐体の温度、太陽電池の発電電圧等）を例に推定手法を検討した。KOSEN-1のハウスキーピングデータは、衛星が正常に動作している場合は、各データは周期的な変化をしており、図2の書式に照らし合わせてペイロード部データを調べることで、センサ値と標準偏差を参考に、どのフィールド値が誤り部分に該当するかどうかの絞り込みに活用できる。また、ヘッダー部は固定データの部分になるため、誤りを含むテレメトリデータに対しては、ペイロード部に注目してヒューリスティックに元データの候補を絞り込みができると考えた。図2に示すデータ様式はフィールドが8種類の16バイトの固定データであるが、可変長で数値が表現されるセンサデータや画像データについて、図2のデータ表現方法と比較して制約が緩くなることで元データの探索は難しくなるため、新たな方法の検討が必要になると考えた。

また、図2のデータ書式に基づくテレメトリデータに対して、GPGPU（General-purpose

computing on graphics processing units) を活用した探索について検討した。GPGPU は数千個のコアを有するグラフィックボードが販売されており、元データ推定に活用できる。元データ候補の探索に、解候補となるデータの生成と検証 (CRC-16 の比較) の演算を各コアに割り当てることで、数千個の解候補データに対して並列的に絞り込みができる。現在、GPGPU を活用した元データ推定プログラムは処理手順の検討と実装を進めているところである。

今後の課題は、地上での検証用衛星モデルを使用した評価実験や、実際の衛星から送信されたテレメトリデータに対する元データ推定実験を行い、人工衛星運用に向けた本研究の有効性を検証する必要がある。また、GPGPU を活用した元データ推定手法の有効性を検証するための評価実験を行う必要がある。

参考文献

1. M. Rupprecht (DK3WN), Online Telemetry Forwarder, <https://www.satblog.info/online-telemetry-forwarder/> (2023 年 6 月 19 日閲覧)
2. SatNOGS, SatNOGS - Open Source global network of satellite ground-stations, <https://satnogs.org/> (2023 年 6 月 19 日閲覧)
3. M. Tokumitsu, F. Asai, T. Takada et al., “A Prototype of an Integrated Telemetry Receiving System with Volunteers: Designs of a Simple Receiver, a Protocol, and an Intelligent Information Processing,” The 21st International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems, In: Procedia Computer Science Volume 112, 2017, pp. 2445-2454, Elsevier, 2017.
4. 寺西 勇裕、徳光 政弘、高田 拓、浅井 文男、若林 誠、超小型人工衛星テレメトリの元データ推定手法の開発：総当たり探索と推定値はずれ判断による評価実験、米子工業高等専門学校、第 55 巻、pp. 45-52、2020

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 徳光 政弘, 今井 一雅, 平社 信人, 中谷 淳, 北村 健太郎, 村上 幸一, 今井 雅文, 高田 拓, 辻 正敏, KOSEN-2チーム
2. 発表標題 高専連携技術実証衛星2号機「KOSEN-2」の軌道上実証と宇宙工学技術者育成
3. 学会等名 第65回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 徳光 政弘, 今井 一雅, 平社 信人, 中谷 淳, 北村 健太郎, 村上 幸一, 今井 雅文, 高田 拓, 辻 正敏, KOSEN-2チーム
2. 発表標題 高専連携技術実証衛星2号機「KOSEN-2」の軌道上実証と宇宙工学技術者育成（2）
3. 学会等名 第66回宇宙科学技術連合講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高田 拓 (Takada Taku) (80455469)	東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授 (52605)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------