

CubeSat を用いた Store & Forward ミッションにおける地上センサーターミナルの開発

九州工業大学工学府工学専攻, 趙研究室

悦永裕大, 指導教員: 趙孟佑

近年、低軌道への小型衛星の打ち上げ数が増加しており、これに伴い、ストア・アンド・フォワード（S&F）ネットワークの構築がこれらの小型衛星の主要なミッションの1つとして開発されている。S&F ネットワークでは、地上センサ端末（GST）がデータを収集し、衛星経由で地上局（GS）に転送する。しかし、GST は遠隔地に設置されるため、電力やコストの制約を受け、衛星との通信を確立するためのリンクマージンが制限される。本研究では TLE を使用し、衛星追尾機能を備えた GST の設計開発によって、データアップリンクの際のリンクマージンを向上させることを目的とする。具体的には、市販部品（COTS）を使用した衛星追尾システムの設計開発、TLE（2 行軌道要素）データを復号可能な受信システムの設計開発、および衛星追尾システムの実証のための軌道上衛星を用いた GST の統合試験を実施した。また提案手法を E2E で実証し、開発した衛星追尾システムを備えた GST の実用性を検証した。

Design and Development of a Ground Station Terminal for Store & Forward mission for CubeSat

Kyushu Institute Of Technology, Graduate School of Engineering, Cho Lab

Yudai Etsunaga, Supervisor: Mengu Cho

In recent years, the number of small satellite launches into low Earth orbit has been increasing. As a result, the development of store-and-forward (S&F) networks has become one of the primary missions of these small satellites. In an S&F network, ground sensor terminals (GSTs) collect data and transmit it to a ground station (GS) via satellites. However, since GSTs are installed in remote locations, they are subject to power and cost constraints, which limit the link margin required to establish communication with satellites. This study aims to improve the link margin during data uplinks by designing and developing a GST with satellite tracking capabilities using Two-Line Elements (TLE). Specifically, the research involved designing and developing a satellite tracking system using commercial off-the-shelf (COTS) components, creating a reception system capable of decoding TLE data, and conducting integration tests of the GST with an in-orbit satellite to demonstrate the satellite tracking system. Furthermore, the proposed method was validated in an end-to-end demonstration, verifying the practicality of the developed GST equipped with the satellite tracking system.

目次

第 1 章 序論	5
1.1 研究背景	5
1.1.1 衛星を利用した S&F ミッション	5
1.1.2 S&F ミッションにおける地上センサーターミナル (GST)	6
1.1.2.1 センサ	8
1.1.2.2 送信機	8
1.1.2.3 処理ユニット	8
1.1.2.4 アンテナ	9
1.1.3 課題の定義	10
1.1.4 研究目的	10
1.2 先行研究	11
1.2.1 Low-cost azimuth and elevation antenna rotator for LEO satellite tracking [9]	11
1.2.2 Satellite Tracking Control System for UGM Ground Station based on TLE Calculation [10]	12
1.2.3 Real-Time Contrail Monitoring and Mitigation Using CubeSat Constellations [11]	12
1.2.4 Study on Impact of Outdated Two-Line Element Sets in Tracking of LAPAN-A2 and LAPAN-A3 Satellites [12][13]	15
1.2.5 Development of a Satellite Ground Station [14]	16
第 2 章 研究手法	17
2.1 対象とする衛星	17
2.1.1 Dragonfly 2U CubeSat の概要	17
2.2 運用概念	19
2.2.1 TLE アップリンク/ダウンリンク	20
2.3 提案する GST の構成	22
第 3 章 Dragonfly 2U CubeSat への実装	23
3.1 TLE データの符号化と復号方法	23

3.2 TLE データの COM PIC での処理方法	25
3.3 TLE データの地上局から GST までの流れ	27
3.3.1 TLE データ用のアップリンクコマンド生成	27
3.3.2 TLE データのアップリンク	29
3.3.3 TLE データのダウンリンク	30
3.4 TLE データの地上局から GST までの流れ	33
3.5 回線計算	34
3.6 GST の詳細	35
3.6.1 受信部	43
3.6.1.1 ハードウェア構成	43
3.6.1.2 ソフトウェア構成	45
3.6.1.3 機能試験	46
3.6.2 アンテナローテータの設計開発	49
3.6.2.1 ハードウェア構成と組立	53
3.6.2.2 ソフトウェア構成	57
3.6.3 送信部	59
3.6.3.1 ハードウェア構成	59
3.6.3.2 ソフトウェア構成	62
3.6.3.3 機能試験	64
第 4 章 実験結果	65
4.1 アンテナローテータの追尾試験	65
4.1.1 KASHIWA 1U CubeSat を用いた追尾試験	66
4.1.2 ISS を用いた追尾試験	68
4.1.3 EOS-7 を用いた追尾試験	70
4.1.4 MO-1 を用いた追尾試験	71
4.1.5 S バンドパラボラアンテナの取り付けと駆動実験	73
4.2 TLE データ受信試験	74
4.2.1 MO-1 1U CubeSat を用いた TLE データ受信試験	74
4.3 E2E 試験	77
4.3.1 試験構成	77
4.3.2 試験手順	78
4.3.3 試験結果	84

第 5 章 結論	86
第 6 章 今後の展望	87
謝辞.....	88
参考文献	89
付録 A	93
付録 B	96
付録 C	105
付録 D	112
付録 E	120
付録 F	124
付録 G.....	125
付録 H.....	134
付録 I	135
付録 J	137

全文を希望の方は cho.mengu801@mail.kyutech.jp までご連絡ください