

高周波帯ソフトウェア無線機を用いた低コスト移動地上局の開発

九州工業大学 工学府 工学専攻 電気宇宙システム工学コース
223D5004 篠崎 海人
指導教員: 趙 孟佑 教授

近年, 世界中で CubeSat といわれる衛星の開発が盛んに行われている. CubeSat は低コストで開発可能であることが一つの利点であり, この利点を生かして大学機関や民間企業でも宇宙分野への参入がしやすい状況となっている. 一方で衛星打ち上げ後の運用に必要な地上局の構成にかかるコストは, 特に高周波帯用のものとなると非常に高くなる. 本研究では, この地上局の構成コストに注目をし, ソフトウェア無線機を用いること, 地上局のアンテナや衛星追跡装置など, 一部の設備を自作し構成することで大幅に低コスト化を行った, また持ち運び可能な構成とし, 移動局として柔軟な運用が可能となるように構成を行った.

受信機システムやアンテナ, 衛星追跡装置の自作, 一部性能検証を行い, 構成にかかる全体のコスト, 移動局としての利便性, 地上局全体としての性能の検討を行った.

Development of low-cost mobile ground stations using high-frequency band software radios

Kyushu Institute of Technology
223D5004 Shinozaki Kaito
Supervisor: Mengu Cho

In recent years, the development of satellites called CubeSat has been actively promoted all over the world. One of the advantages of CubeSat is that it can be developed at low cost, which makes it easy for universities and private companies to enter the space field. On the other hand, the cost of ground stations required for satellite operation is very high, especially for high-frequency bands. In addition, the ground station is designed to be portable and to allow flexible operation as a mobile station.

The receiver system, antenna, and satellite tracking system were made by hand, and their partial performance was verified. The overall cost of the configuration, convenience as a mobile station, and overall performance of the ground station were considered.

目次	2
第1章	序論 5
1.1	研究背景 5
1.1.1	CubeSat の利点と打ち上げ数の傾向 5
1.1.2	衛星開発プロジェクトにかかるコスト 7
1.2	従来型高周波帯地上局 8
1.2.1	従来型地上局の構成 8
1.2.2	従来型地上局の難点 9
1.3	先行研究 12
1.3.1	KISUNE プロジェクト 12
1.3.2	特定小電力無線と県内技術を活用した人工衛星通信システムの構築 13
1.3.3	自作パラボラアンテナについて 14
1.4	研究目的 15
第2章	本研究での地上局 16
2.1	地上局要件 16
2.1.1	対象とする衛星 16
2.1.2	回線計算について 17
2.1.3	ダウンリンク回線計算 22
2.2	地上局構成 26
2.2.1	ソフトウェア無線機 (Software Defined Radio) 27
2.2.2	GNU Radio 28
2.2.3	低雑音増幅器 (Low Noise Amplifier) 29
2.2.4	Gpredict34
2.2.5	ローテータ 35
2.2.6	アンテナ 36
2.2.7	防風壁 36
2.2.8	PC 構成環境 37
2.3	まとめ 37
第3章	GNU Radio による受信部開発 38
3.1	地上局側受信要件 38
3.2	BPSK 変調-復調 38
3.3	Gpredict によるドップラーシフト補正 41
3.4	まとめ 42

第4章	自作パラボラアンテナ作成	43
4.1	アンテナの要件	43
4.2	自作パラボラアンテナのデザイン検討	45
4.3	OpenMOM シミュレーションによる検証	47
4.3.1	計算量最小化に向けた検証	47
4.3.2	一次放射器の最適な巻き数の検証	50
4.3.3	金属製の軸による影響の検証	51
4.4	反射鏡の作成	52
4.4.1	アルミテープ式パラボラアンテナ	52
4.4.2	アルミメッシュ式パラボラアンテナ	53
4.5	一次放射器(ヘリカルアンテナ)の作成	54
4.6	まとめ	56
第5章	自作パラボラアンテナ性能測定試験	59
5.1	概要	59
5.2	試験機器	59
5.2.1	ベクトルネットワークアナライザ (VNA: Vector Network Analyzer)	59
5.2.2	シグナルジェネレータ (SG: Signal Generator)	62
5.2.3	スペクトラムアナライザ (SA: Spectrum Analyzer)	63
5.2.4	リファレンスヘリカルアンテナ	64
5.3	試験環境	65
5.3.1	遠方界領域	65
5.3.2	フレネルゾーン	66
5.3.3	試験環境	67
5.4	試験方法	68
5.4.1	S11 測定試験	68
5.4.2	正面利得測定試験	69
5.5	結果	71
5.5.1	S11 測定試験結果	71
5.5.2	正面利得測定試験結果	73
5.6	まとめ	76
第6章	衛星追跡装置(ローテータ)並びに周辺環境の作成	79
6.1	衛星追跡に求められる精度	79
6.2	ローテータ	80
6.2.1	ローテータの要件	80

6.2.2	ローテータデザインの検討	81
6.2.3	ローテータと構造インターフェイスの検討	84
6.3	防風壁	88
6.3.1	防風壁の要件	88
6.3.2	防風壁デザインの検討	91
6.3.3	耐風要件に対する検証	96
6.3.4	防風壁の部品作成	102
6.3.5	防風壁の組み立て・解体の時間計測	104
6.4	まとめ	106

第7章	結論	107
-----	----	-----

7.1	まとめ	107
-----	-----	-----

7.2	今後の展望	109
-----	-------	-----

謝辞	111
----	-----

参考文献	113
------	-----

付録	116
----	-----

防風壁組み立て手順書	116
------------	-----

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