

教育用模擬人工衛星 CanSat のための無線データ通信ユニットの開発

浅井 文男

Development of a Wireless Data Communication Unit for Educational Training Satellite/CanSat

Fumio ASAI

本研究では CubeSat/CanSat 用の標準的な通信コンポーネントを開発するため、CanSat に搭載するビーコン送信用 TNC を PSoC マイコンを使用して設計・試作し、性能評価を行った。その結果、1 個の PSoC マイコンに Bell202 モデム機能と AX.25UI フレーム生成機能を実装した PSoC-TNC で従来の TNC と同等の変調特性と送信動作を実現できることが確かめられた。今後の課題はモデムの復調機能と AX.25UI フレームの解読機能の実装である。解読機能は先行研究で開発した PIC-TNC のファームウェアを PSoC に移植して実現する。復調機能は PSoC のアナログモジュールを利用する遅延検波方式が最適であることが判明した。

1. はじめに

近年、日本や欧米諸国の高等教育機関において CubeSat/Cansat プロジェクトが注目され、活発に展開されている。CubeSat プロジェクトは1999年に開催された USSS (University Space Systems Symposium) においてスタンフォード大学教授 Robert Twiggs が提案した斬新なアイデアに基づく PBL スタイルの工学教育プログラムである。日本と欧米の大学を中心に、学生たちがチームを編成して一辺10cm、重量1kg 以下の超小型人工衛星の設計・製作・運用し、各チームが目標に定めたミッションの達成を目指す活動を展開する。東京大学と東京工業大学の学生チームが設計・開発した世界初の超小型人工衛星 CubeSat の XI-IV と CUTE-I は2003年6月に打ち上げられ、ともに所定のミッションを達成することで CubeSat プロジェクトの有効性を実証した。また、XI-IV と CUTE-I の後継機である XI-V と CUTE-1.7+APD も打ち上げおよび定常運用と初期運用にそれぞれ成功している。2006年7月、日本大学の学生チームが開発した SEEDS を含む14機の CubeSat は残念ながらロケット打ち上げに失敗したが、9月には北海道工業大学の学生チームが開発した HIT-SAT は成功裏に打ち上げられ、現在も運用が続けられている。また、日大の CEEDS 2号機と東工大の CUTE-1.7+APD 2号機の開発が完了し、2007年12月にこれらを含む5機の CubeSat

が打上げられる予定である。さらに国内では東大の PRISM、九州大学の QSAT、創価大学の Excelsior、香川大学の STARS-I、都立産業技術高等専門学校の KKS-1などの開発が進められており、PRISM、STARS-I、KKS-1の3機は2008年8月に H2A ロケットで打ち上げられる温室効果ガス観測衛星のビギーバック衛星に選定されている。

CanSat は1998年の USSS において Robert Twiggs が提案した350ml ジュース缶サイズおよび OpenCan と呼ばれる約3倍サイズの模擬人工衛星の総称で、CubeSat 開発のトレーニングモデルとして位置づけられている。開発チームのモチベーション向上や交流促進を図るため、CanSat を小型のロケットや気球で約100m ~ 5 km の大気中に放出し、目標地点を目指してパラシュートやパラフォイルで落下し、走行する(ローバータイプの場合)過程でチーム独自のミッションを試み、達成記録を競い合う競技会が開催される。国際競技会としては1999年よりアメリカのネバダ州ブラックロック砂漠で毎年開催されている ARLISS (A Rocket Launch for International Student Satellites) が定着しているが、国内においても秋田県能代市や香川県高松市で競技会が開催されるようになった。また、大学とベンチャー企業との連携で CanSat のキットが開発され、高校生チームの参加も試みられている。しかしこのキットは高価なため、普及は進んでいない。

CubeSat/CanSat には筐体、分離、姿勢制御、データ

処理、通信、電源など、さまざまなコンポーネントが搭載され、主要なコンポーネントは学生チームがそれぞれ設計・開発している。創意工夫やアイデアを競うミッションコンポーネントは学生たちが独自に開発することに重要な意義があるが、筐体や通信コンポーネントなどは必ずしもオリジナリティが必要ではなく、むしろ標準的な規格や仕様に従うことが要求される。通信コンポーネントの場合、周波数割り当てや免許取得の容易さから通常、送信装置はアマチュア無線機器、データ変調方式は Bell202、通信プロトコルは AX.25 が採用されている。Bell202 と AX.25 プロトコルはアマチュア無線によるパケット通信の世界標準規格なので、地上局も市販の音声交信用無線機とターミナルノードコントローラ (TNC) で構築でき、エラーフリーの無線データ通信が可能になるという利点がある。しかし、Bell202 と AX.25 プロトコルをベースにした通信コンポーネントの製作や地上局の構築は、それぞれ Bell202 モデム IC や TNC の入手が難しいという問題点を抱えている。

かつては TCM3105 や AM7910 など、Bell202 規格のモデム IC が量産され、メーカー製の TNC も容易に入手することができた。しかし、近年ではデジタル信号処理によるソフトウェアモデムが無線データ通信の業界標準となり、これらのモデム IC や国内メーカーの TNC はすでに製造中止になっている。よって学生チームは唯一、現在でも製造・販売されている Bell202 モデム IC である Consumer Microcircuits Limited 社の FX614 を使用して通信コンポーネントを製作することや、中古の TNC を入手して地上局を構築することを余儀なくされている。

本研究の目的はこれらの問題点の解決を図り CubeSat/CanSat プロジェクトの飛躍的な展開を実現するために、CubeSat/CanSat の通信コンポーネントのためのスタンダードな無線データ通信ユニットを提案・設計し、そのリファレンスモデルキットを開発することである。今年度は汎用マイコンを使ったモデムデバイスと TNC のベースモデルの設計と試作および性能評価を行った。

2. モデムデバイスの試作

2.1 PSoC マイコン

本研究では入手が容易で安価なマイクロコントローラである PSoC を使用してモデムデバイスを試作する。Cypress Microsystems 社の 8 ビット汎用ワンチップマイクロコントローラ PSoC は従来のワンチップマイコンに実装されている PWM や UART などの標準的なデジタルモジュールに加えて、スイッチト・キャパシタを使

用したオペアンプなどのアナログモジュールも搭載している。これらのアナログモジュールを利用して変調用のファームウェアとハードウェアをそれぞれ作成する。具体的には変調動作をオペアンプモジュールで構成したバンドパスフィルタによるフィルタリングで実現する。ターゲットデバイスにはブレッドボード上でハード及びソフトの試作が容易にできる 28 ピン DIP パッケージの CY8C27443-24PI を採用する。C 言語による開発環境には PSoC Designer とビルトインされた C コンパイラを使用する。ROM ライタには Mini Programmer を使用する。

2.2 ファームウェア

PSoC の PWM モジュールで発生させた矩形波をバンドパスフィルタに通過させて基本波成分を抽出する。また、I/O ポートにデジタル信号入力端子 (Din 端子) とアナログ信号出力端子 (Aout 端子) を設定し、Din 端子の電圧レベルが High (+5V) であれば Aout 端子から出力される正弦波の周波数が 1200Hz、Low (0V) であれば 2200Hz になるようにパラメータを調整することで Bell202 規格の変調動作を実現する。変調用ファームウェアのアルゴリズムを図 1 のフローチャートに示す。

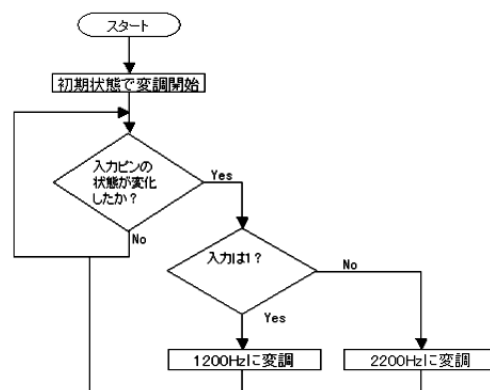


図1 変調用アルゴリズムのフローチャート

2.3 ハードウェア

変調動作をさせる PSoC のモジュール構成を図 2 に示す。PWM で矩形波の分周を行い、BPF で基本波の抽出を行う。具体的には Din 端子が High ならば PWM8_1 と PWM8_3 の分周比は 22 と 132、Low ならば 12 と 91 にそれぞれ設定する。また、PWM8_2 の分周比は 10 に設定する。これで Din 端子が High なら $24\text{MHz}/91=263736\text{kHz}$ のクロック周波数を 220 で除算して 1198.8Hz の矩形波が生成でき、Din 端子が Low ならクロック周波数を 120 で除算して 2197.8Hz の矩形波が生成できる。PWM

8_3はBPFの動作周波数を生成する。Din 端子にデジタル信号が入力されると、ビット0(Low)と1(High)に対してそれぞれ2200Hz と1200Hzの正弦波がAout 端子に出力され、PSoCはBell202モデムと同じ変調動作を行う。

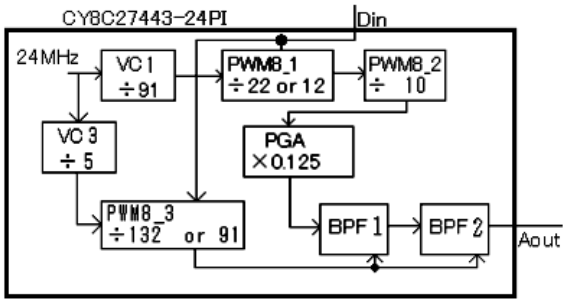


図2 変調用PSoCのモジュール構成

2.4 フィルタ設計

PSoC Designer はアナログモジュールで構成するバンドパスフィルタ (BPF) を設計する機能をサポートしている。これを使用して図2に示すハードウェアに実装するBPFを設計した。その周波数特性を図3と図4に示す。

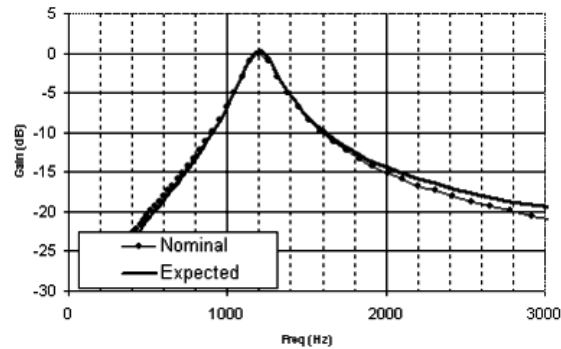


図3 1200Hz バンドパスフィルタの周波数特性

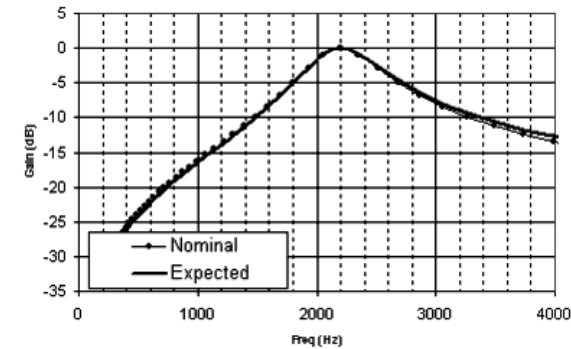


図4 2200Hz バンドパスフィルタの周波数特性

2.5 性能評価

Din 端子にビット0(Low)、1(High)を入力したとき、Aout 端子に出力される信号の観測波形とスペクトルを図5と図6、図7と図8にそれぞれ示す。基本波の周波数はそれぞれ2230Hz と 1217Hz であり、第3高調波の振幅は基本波よりも約30dB ほど低い。代表的な Bell202 モデム IC である FX614 との性能比較を表1に示す。

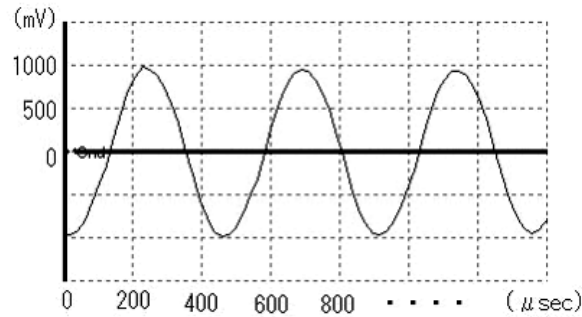


図5 ビット0(Low)入力時の出力波形

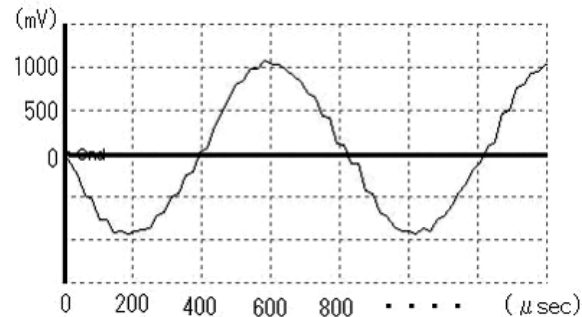


図6 ビット1(High)入力時の出力波形

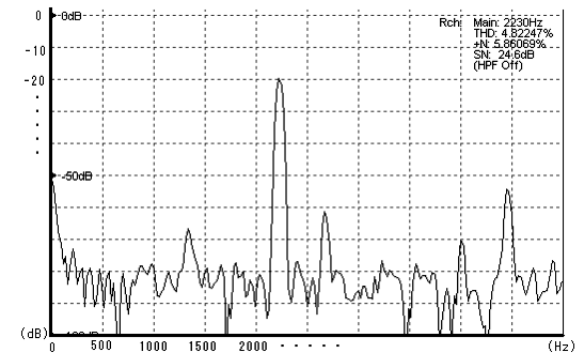


図7 ビット0(Low)入力時の周波数スペクトル

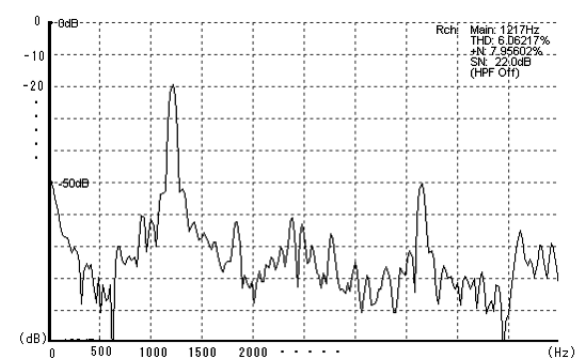


図8 ビット1(High)入力時の周波数スペクトル

表1 PSoC モデムと FX614の変調特性の比較

	PSoC		FX614	
入力信号レベル	High	Low	High	Low
基本波周波数(Hz)	1217	2230	1204	2203
周波数偏差(Hz)	+17	+30	+4	+3

3. TNC ベースモデルの試作

3.1 ファームウェア

試作した PSoC モデムに AX.25プロトコル UI フレーム生成機能を実装し、PSoC マイコン 1 個だけでパケットビーコン(テキストメッセージ)が送信できる TNC のベースモデル(PSoC-TNC)を試作した。ファームウェアは先行研究[1]で完成している PIC マイコン用のパケット送信用ファームウェアを移植することで作成した。PSoC-TNC の送信動作アルゴリズムのフローチャートを図 9 に示す。図 9 において、「1 ビットごとに変調動作を行う」が図 1 の変調動作に対応している。



図9 送信動作のフローチャート

3.2 ハードウェア

TNC ベースモデルに使用する PSoC のモジュール構成を図10に示す。Timer16は16ビットのカウンタで、1200bps のデータレートを生成するのに使用している。

試作した PSoC-TNC と市販の TNC およびトランシーバを使用して性能評価実験を実施した。その結果、PSoC-TNC から送信されたパケットビーコンは受信側の TNC で正常に解読されることが確かめられた。

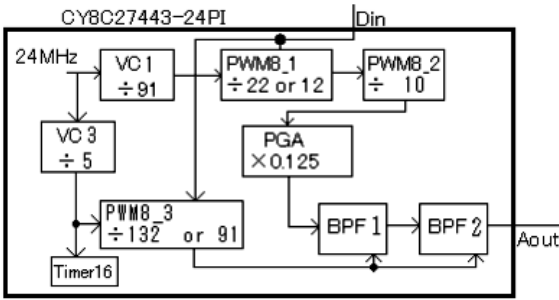


図10 パケット送信用 PSoC のモジュール構成

4. おわりに

本研究では CubeSat/CanSat プロジェクトを推進するため、CubeSat/CanSat 用の標準的な通信コンポーネントの調査・研究を行った。今年度は CanSat に搭載するビーコン送信用 TNC を PSoC マイコンを使用して設計・試作し、性能評価を行った。その結果、1 個の PSoC マイコンに Bell202モデム機能と AX.25UI フレーム生成機能を実装した PSoC-TNC で従来の TNC と同等の変調特性と送信動作を実現できることが確かめられた。

今後の課題としてはモデムの復調機能と AX.25UI フレームの解読(受信)機能の実装が挙げられる。解読機能に関しては先行研究で PIC マイコン用のファームウェアを開発しているので、PSoC にこれを移植すれば実現できる。復調機能に関してはいくつかの選択肢があるが、アナログ信号処理もできる PSoC には遅延検波方式が適していると思われるので、現在、具体的なモジュール構成とアルゴリズムを検討している。復調・受信動作が実現できれば変調・送信機能と統合して 1 個の PSoC マイコンに実装し、実用的な CubeSat/CanSat 用の TNC と無線データ通信ユニットのリファレンスモデルキットを完成させたい。

謝 辞

本研究は平成19年度科学研究費補助金(課題番号19500772)と電気通信普及財団平成18年度研究調査助成の支援を受けている。また、ファームウェアの開発には橋本一輝氏の協力を得た。これらの支援に感謝します。

参考文献

- [1] 浅井文男, 超小型人工衛星 CubeSat 地上局用 TNC の開発Ⅱ, 奈良工業高等専門学校研究紀要, Vol.41, pp.73-77, (2007).

