

平成21年6月9日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19500772
 研究課題名（和文） 学生による超小型人工衛星プロジェクトのための無線データ通信
 制御装置の開発
 研究課題名（英文） Development of Wireless Data Communication Controller for
 Student Pico-Satellite Projects
 研究代表者
 浅井 文男（FUMIO ASAI）
 奈良工業高等専門学校・情報工学科・教授
 研究者番号：00212465

研究成果の概要：本研究では第1に CubeSat/CanSat 用 AX.25 パケット通信制御装置(TNC)を開発し、8ビット汎用 PSoC マイコンに Bell202 モデム機能と AX.25 プロトコル処理機能を実装した安価で容易に自作できる TNC の製作キットを実現した。第2に Cubesat/CanSat が送信する AX.25 パケットデータを受信・解読する3種類の Windows アプリケーションタイプの CubeSat/CanSat 地上局用通信ソフトウェアを Visual Studio 2008 C#を使用して開発した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学 科学教育

キーワード：工学教育、科学教育、超小型人工衛星、無線データ通信、教材開発

1. 研究開始当初の背景

斬新な工学教育プロジェクトである学生による超小型人工衛星開発を推進するために標準的な無線データ通信制御装置のリファレンスモデルと通信ソフトウェアが必要とされているが、現状では提供されていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は第1に超小型人工衛星の通信コンポーネントに搭載する簡便な AX.25 プロトコル無線データ通信制御装置(TNC)を考案・設計し、製作キットを開発することである。第2に開発した TNC と組み合わせせて使

用する実用的な AX.25 パケットデータ受信・解読ソフトウェアを作成することである。

3. 研究の方法

TNC のモデム機能とプロトコル処理機能を1つのマイコンに統合するため、アナログブロックが組み込まれた PSoC マイコンを使用する。ファームウェアはカスタマイズが容易なC言語で開発する。通信ソフトにはTNCの使用環境に最適化したユーザーインターフェイスと機能を実装する。開発環境は Visual Studio 2008 C#を使用し、Windows アプリケーションとすることで操作性の向上を図る。

4. 研究成果

(1) 無線データ通信制御装置の開発

①PSoC マイコン

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、スイッチド・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、最初に Bell1202 モデム用のファームウェアとハードウェアをそれぞれ作成した。具体的には Bell1202 規格の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した。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試作が容易にできる 28 ピン DIP パッケージ CY8C27443-24PI を採用した。C 言語による開発環境は PSoC Designer とビルトインされた C コンパイラを使用した。ROM ライタには Mini Programmer を使用した。

②モデム用ファームウェア

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した。具体的には 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 Bell1202 規格の変調動作を実現した。

③モデム用ハードウェア

モデム動作をさせる PSoC のモジュールでは PWM で矩形波の分周を行い、バンドパスフィルタ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 22 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 12 で除算して 2197.8Hz の矩形波が生成できる。PWM8_2 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 Bell1202 モデムと同じ変調動作を行う。

④バンドパスフィルタの設計

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を設計する機能をサポートしている。これを使用してハードウェアに実装する 2200Hz と 1200Hz 用のバン

ドパスフィルタをそれぞれ設計した。

⑤PSoC モデムの性能

Din 端子にビット 0 (Low) と 1 (High) を入力したとき、Aout 端子に出力される信号のスペクトルを観測すると、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 であり、Bell1202 モデム IC である FX614 の変調性能と同等であることが確認できた。

⑥TNC 用ファームウェア

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 個だけでパケットデータが送信できる TNC を開発した。ファームウェアは先行研究で完成している 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。

⑦TNC 用ハードウェア

設計した TNC のモジュール構成において、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。TNC に GPS ユニットの接続し、市販の TNC と無線機を使用した受信装置を構成して動作検証実験を行った。その結果、開発した TNC で GPS データを一定周期でパケット送信できることを確かめた。また、送信パケットは受信装置で正常に受信・解読され、周波数偏差は実用上問題ないことも確認した。

(2) 通信ソフトウェアの開発

①KISS MODE TNC

CubeSat/CanSat が送信する AX.25 プロトコルの UI フレームを構成するパケットは必ず最初と最後をフラグ (0x7E) で囲まれているので、フラグを検出すれば個々のパケットを分離・識別できる。パケットデータは TNC で調歩同期方式のシリアルデータに変換されてパソコンに送られる。フラグは TNC で取り除かれるのでシリアルデータには含まれていない。よって、TNC から送られてくるシリアルデータのどのバイトからどのバイトまでが 1 つのパケットを構成するのか識別することは難しい。送信データがすべてテキストデータで構成される場合は末尾に改行コード (0x0D) を入れてやればパケットを識別できるようになるが、バイナリデータを含む場合はこの方法は使えない。また、従来の通信ソフトは TNC の動作モードを CONVERSE MODE に設定して使用するが、CONVERSE MODE の TNC は LF コード (0x0A) やタイムスタンプなどをパケットデータに追加するので CubeSat/CanSat のデータ解析に支障をきたすことがある。こうした問題は KISS MODE で動作する TNC に対応した通信ソフトを使用することで完全に解消することができる。KISS

MODE TNC は以下のように動作するので、おもにバイナリデータの自動送受信に利用されている。すなわち、TNC は AX.25 プロトコル処理を通信ソフトに委ね、自らはモデム機能と PAD 機能だけを行う。TNC とパソコンの間で送受信されるシリアルデータは KISS フレームと呼ばれるフォーマットに従う。

KISS フレームでは 1 つのパケットに対応するシリアルデータの前後にデリミタと呼ばれる特別なバイトデータ (0xC0) が付加されている。ただし、パケットのフラグと FCS は取り除かれ、かつ、KISS SUBSTITUTION と呼ばれる特別なコード変換が行われている。KISS フレームは必ずデリミタで区切られているので通信ソフトは容易に個々のパケットを分離・識別できる。分離されたパケットのデータフォーマットはわかっているので、テレメトリデータなどの抽出・解読などの処理も容易にできる。その替わり、通信ソフトには AX.25 プロトコル処理を実装しなければならないが、ARQ による誤り制御を行わない UI フレームの受信だけならばアドレスデータのビットシフトなど、比較的簡単な処理の実装だけで済む。

②Kiss_Decoder

Kiss_Decoder は KISS MODE TNC に対応した通信ソフトである。動作検証のためバイナリデータである CUTE-1.7+APD II と SEEDS2 の送信データを解読する機能を実装した。動作検証により、パケットを受信すると瞬時にテレメトリフレームの抽出とテレメトリの解読が安定かつ確実に行われ、バイナリデータの受信に対する KISS MODE の有効性を確かめることができた。

③クライアント・サーバによる負荷分散

CubeSat 地上局ネットワークの構築に代表される衛星通信分野におけるネットワーク利用の進展に対応して、TNC とシリアル通信を行うための通信端末ソフトやテレメトリ解読ソフトにもネットワーク通信機能を実装する必要性が高まっている。シリアル通信、ネットワーク通信、テレメトリ解読などの各種機能をひとつのソフトに実装すると、処理速度が低下するなどの問題点が発生し易くなる。ネットワーク通信の部分にクライアント・サーバ型を採用すればこうした問題を防げるばかりでなく、開発環境標準のクラスライブラリが使用できるのでソフト開発も格段に容易になる。具体的にはサーバソフトにシリアルデータの受信とネットワークデータへの変換だけを担当させ、受信データの表示、テレメトリの解読、受信データや解読結果のファイル保存などはクライアントソフトに担当させることで負荷分散を実現することにした。

④Network_Decoder

Network_Decoder はクライアント・サーバ型の通信ソフトである。サーバを起動するとタスクトレイに登録されるアイコンをクリックすることで、動作の設定・切替やクライアント接続情報の表示などが行える。クライアントをサーバに接続すると、サーバが TNC から受信したデータは TCP/IP 通信でクライアントに送られる。クライアントはデータを受信するとフォーマットを調べ、データの種別に対応した情報をリスト形式でウィンドに表示する。リストからテレメトリフレームをひとつ選ぶと、解読結果が別のウィンドにリスト形式で表示される。色の違いで衛星やデータの種別が分かるようになっている。100BASE-TX の LAN 上で 5 台のクライアントをサーバに接続して動作検証を行い、5 台同時にデータを受信・表示されることを確かめた。インターネット上での動作検証は未実施であるが、遅延が実用性を阻害する場合は TCP ではなく UDP を使用することで問題解決が図れると考えている。Network_Decoder はデータの識別・解読情報をプログラムに内蔵するのではなく、外部ファイルに記述する方式を採用しているので、容易に XI-V 以外の CubeSat/CanSat に対応させることができる。

⑤Agw_Decoder

Agw_Decoder はソフトウェア TNC である AGWPE のクライアントとして動作する。Agw_Decoder は AGWPE と TCP/IP で通信するので、基本動作や使用方法は Network_Decoder と類似している。しかし TNC を必要としないので高校生チームによる CanSat の製作や競技会への参加に役立つと考えている。AGWPE と Agw_Decoder の間で送受信されるデータのフォーマットはバイナリパケットの分離・識別に適しているので、ユーザーインターフェイスを Network_Decoder のクライアントに統一して実用性を向上させることができる。

(3)まとめ

本研究では第 1 に教育用超小型人工衛星 CubeSat/CanSat の無線データ通信制御装置に関する調査・研究を行った。具体的には、AX.25 プロトコル用ターミナルノードコントローラを PSoC マイクロコントローラを使用して設計・開発し、性能評価を行った。その結果、1 個の PSoC マイコンに Bell202 変調機能と AX.25UI フレーム生成機能の両方を実装した簡便な TNC で、市販の 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た。TNC に GPS ユニットと特定小電力無線モジュールを接続した通信コンポーネントのプロトタイプを試作して、教材用の製作キットを実現することができた。

第 2 に CubeSat/CanSat の送信データを受

信し、解読や解析するための通信ソフトウェアの開発を行った。開発環境には Visual Studio 2008 C#を使用したので動作環境として .Net Framework 2.0 以上が必要になる。しかし、配布パッケージのファイルサイズが小さくインストールトラブルが発生しにくい、標準的な Windows アプリケーションの GUI を備えるなどの利点がある。動作検証の結果、開発した 3 種類の通信ソフトはそれぞれ設計通りに動作し、CubeSat/CanSat のデータ受信・解読に使用できることが確かめられた。これらのソフトはバイナリデータの受信や解読、地上局(受信装置)の自動運用やネットワーク化に適した基本機能を備えているが、アプリケーションとしての機能や操作性が統一されていない。これらを統一して実用性と汎用性を向上させた通信ソフトウェアの開発が今後の課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 浅井文男、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、奈良工業高等専門学校研究紀要、43、33-37、2008、無
- ② 浅井文男、教育用超小型人工衛星 CANSAT の通信コンポーネント開発に関する研究、電気通信普及財団研究調査報告書、23、230-236、2008、無
- ③ 浅井文男、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 II、奈良工業高等専門学校研究紀要、44、29-33、2009、無

[学会発表] (計 8 件)

- ① 浅井文男、大学発超小型人工衛星を利用した情報教育アウトリーチ教材の開発、第 27 回高等専門学校情報処理教育研究発表会、2007 年 8 月 30 日、徳山工業高等専門学校
- ② 浅井文男、大学発超小型人工衛星を利用するアウトリーチ教材の開発、教育システム情報学会第 32 回全国大会、2007 年 9 月 14 日、信州大学
- ③ 浅井文男、大学発超小型人工衛星を利用した情報技術教育アウトリーチ教材の開発、平成 19 年度情報教育研究集会、2007 年 11 月 10 日、大阪大学
- ④ 寺坂武紘、浅井文男、サーバ・クライアント型 XI-V テレメトリ解読ソフトウェアの開発、教育システム情報学会関西支部第 22 回学生研究発表会、2008 年 3 月 8 日、千里金蘭大学

- ⑤ 浅井文男、CubeSat デコーダソフトの開発、JAMSAT シンポジウム 2008、2008 年 7 月 20 日、池田市民文化会館
- ⑥ 浅井文男、超小型人工衛星 CUTE-1.7+APD II SRLL Ver.2 用 TNC の試作、関西ハムシンポジウム 2009、2009 年 1 月 24 日、尼崎インキュベーションセンター
- ⑦ 染川貴仁、寺坂武紘、浅井文男、サーバ・クライアント型 CubeSat デコーダの開発、教育システム情報学会関西支部第 23 回学生研究発表会、2009 年 3 月 7 日、関西学院大学
- ⑧ 浅井文男、超小型人工衛星 CUTE-1.7+APD II SRLL Ver.2 用 TNC の開発、JAMSAT シンポジウム 2009、2009 年 3 月 15 日、日本科学未来館

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅井 文男 (FUMIO ASAI)

奈良工業高等専門学校・情報工学科・教授
研究者番号：00212465