

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月14日現在

機関番号：54601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21500854

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衛星地上局ソフトウェアの開発

研究課題名（英文） Development of Satellite Ground Station Software for Student Pico-Satellite Project

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（和文）：本研究では学生による超小型人工衛星プロジェクトと連携するプロジェクト支援者のための衛星地上局ソフトウェアを開発した。開発ソフト KissTerm には UDP/IP 通信機能を実装し、だれでも容易にオンライン上で衛星データを閲覧・解読できるようにした。開発ソフト NetworkDecoder には TCP/IP 通信機能と接続制限機能を実装し、セキュアな閲覧・解読に対応させた。KissTerm と NetworkDecoder は組み合わせて使用できる。これら2つの開発ソフトはどちらも設計通りに動作することを確認し、Web サイトで公開している。

研究成果の概要（英文）：We developed satellite ground station software for student pico-satellite project supporters. They are readily able to browse and decode satellite data online by using one of the developed software “KissTerm” implemented UDP/IP. On the other hand, we implemented TCP/IP and authentication procedure to another developed software “NetworkDecoder” in order for secure browsing and decoding data. “KissTerm” and “NetworkDecoder” can be used in combination. Both of these software were confirmed to operate as designed, and they have been provided on the Web site as free software.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	1,700,000	510,000	2,210,000

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

## 1. 研究開始当初の背景

超小型人工衛星(CubeSat)開発プロジェクトを進展させる技術や環境の整備が進み、先進的な工学教育プロジェクトとして今後の飛躍的な展開が期待できるようになったが

解決すべき課題がある。すなわち衛星地上局ネットワークシステムの GENSO や GNS は衛星開発チーム向けのシステムであり、これらを導入・運用している大学の衛星地上局は少数に限られている現状では、アマチュア無線愛

好家をはじめとするプロジェクト支援者によるデータの受信と提供が衛星の運用や実験に極めて重要な役割を果たしている。しかし、衛星開発チームが提供している支援者用地上局ソフトウェアは仕様が統一されておらず、衛星ごとに使い分ける必要があるなど効率的なデータの受信や解読には適しておらず、衛星開発チームの支援には有効に活用されていないという問題点を抱えている。

## 2. 研究の目的

こうした問題点を解決するためには GENSO や GNS のような衛星開発チーム向けの衛星地上局ソフトウェアとは別に、アマチュア無線家を中心とするプロジェクト支援者向けに設計された地上局ソフトウェアが必要である。具体的にはまず第1に、衛星の制御に必要なコマンドを送信する機能は不要であるが、衛星軌道計算ソフトウェアと連携して自動的に(無人で)任意の衛星のダウンリンクデータを受信・識別・解読・表示・保存できる簡便性と汎用性が必要である。第2に、受信・解読したデータをインターネット上で容易に提供・閲覧するためのネットワーク通信機能が必要である。本研究の目的はこのような機能を実装した衛星地上局ソフトウェアを設計・開発し、衛星開発チームやプロジェクトに支援者に提供することで、超小型人工衛星プロジェクトを進展させることである。

## 3. 研究の方法

### (1) 開発ソフトの構成

CubeSat はデータ送信にアマチュア無線周波数バンドの電波を使用するので、通信プロトコルにはアマチュア無線標準規格の AX. 25 プロトコル(UI フレーム)が使用される。そのためプロジェクト支援者は、ターミナルノードコントローラ(TNC)から送出されるシリアルデータを汎用ターミナルソフトで受信・保存し、衛星開発チームが提供している専用ソフトを使用して解読結果を得ている。これらの解読ソフトは1パケットずつしかデータを入力・解読することができず、また、衛星ごとに仕様が異なるので、迅速な解読作業ができない。そこで本研究で開発するソフトウェアはまず第1に、任意の衛星データを受信できる KISS MODE に対応させ、第2に実装機能をサーバとクライアントに分離し、サーバとクライアントで衛星データの受信と解読を分散処理することで、受信と解読のシームレスでリアルタイムな連携動作を実現する。

### (2) 開発環境と言語

開発環境として Microsoft Visual Studio、開発言語には Visual C#を採用する。これにより開発ソフトは Windows 専用のアプリケーションになるが、.Net Framework が提供する

シリアル通信やソケット通信のライブラリが使用できるので、ソフト開発が効率的に行えるとともに、利用者にとってはインストールが容易になるというメリットが生まれる

### (3) サーバソフトの実装機能

サーバソフトは TNC が接続されたパーソナルコンピュータ上で動作し、TNC から COM ポートに送出される衛星データの受信、KISS 逆変換処理、シリアルデータからネットワークデータへの変換、クライアントへのデータ送信を行う機能を実装する。サーバとクライアントの通信には標準的な TCP/IP インターネットプロトコルを使用するが、利用環境に応じて UDP/IP も選択できるように実装する。

衛星データの送信に使用される AX. 25 UI フレーム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 でシリアルデータに変換されてパソコンに送られるが、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。一般に衛星データはバイナリデータなので、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が難しい。また、汎用ターミナルソフトは TNC を CONVERSE MODE と呼ばれる動作モードに設定して使用するが、CONVERSE MODE の TNC は制御コードやタイムスタンプなどをデータに追加するので衛星データの解読に支障をきたす。こうした問題はサーバのシリアル通信機能を KISS MODE と呼ばれるモードで動作する TNC に対応させることで完全に解消できる。すなわち、KISS MODE 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)が付加されるので、個々のパケットを確実に分離・識別できるようになる。サーバソフトには 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。

### (4) クライアントソフトの実装機能

クライアントソフトは LAN またはインターネットに接続されたプロジェクト支援者のコンピュータ上で動作し、サーバソフトから送出される衛星データを受信すると同時に解読し、受信データと解読結果を表示・保存するとともに、衛星開発チームのサーバに送信する機能を実装する。衛星データの解読部は独立させ、衛星ごとに作成されたプラグインソフト(デコーダ)に解読処理を記述する。これにより、1つのクライアントソフトで複数の衛星データを解読できるようになる。

#### (5) 開発ソフトの動作検証と性能評価

まず、試作したサーバとクライアントソフトを研究代表者が実験室に設置している衛星地上局に導入し、稼働している CubeSat を利用して、TNC とサーバとの通信、サーバとクライアントの通信、衛星データの解読機能などについて受信システムとの整合性を試験し、不具合を修正することで公開用のソフトウェアを作成する。作成した公開用ソフトはプロジェクト支援者に提供し、さまざまなハードウェア環境と使用形態のもとで動作検証実験を行い、その結果に基づいてソフトの改良や機能強化を行う。

次に、開発ソフトを提供したプロジェクト支援者の地上局をインターネットで接続し、受信した衛星データや解読結果の提供・閲覧が設計通りに実現できるか実践的に動作試験を行う。TCP/IP を使用することでサーバが受信した衛星データを確実にクライアントに届けられるが、クライアント数が増加するとサーバに高い処理能力が必要になる。ネットワークにボトルネックが存在すると無視できない遅延が発生しリアルタイム性が損なわれる。そのため、実践的動作試験では TCP/IP の代わりに UDP/IP を使用することも試みる。UDP/IP を使用するとデータ配信の確実性が保証されなくなるので、こうしたトレードオフの問題点も調査し、評価する。

### 4. 研究成果

#### (1) KissTerm の開発

衛星データをオンラインで準リアルタイムに解読する手法としてクライアント・サーバ方式を採用した。具体的には開発ソフト (KissTerm) をメインソフトとデコーダに分離し、それぞれ TCP/IP 通信機能を実装し、メインソフトをクライアント、デコーダをサーバに対応させて、メインソフトが TNC から受け取ったシリアルデータをソケットストリームに変換してデコーダに送れば、デコーダで準リアルタイムに解読結果を確認することができる。しかし、TCP/IP ではクライアントとサーバの接続・切断処理が必要でありまた、メインソフトがクライアントでデコーダがサーバという役割分担は不適切である。

そこで KissTerm では TCP/IP の代わりに UDP/IP を採用した。UDP/IP では TCP/IP のように 100% の信頼性は保証されないが、衛星データは誤り訂正のための伝送制御を行わない AX.25 プロトコルの UI フレームを使用して送信されるので大きな問題とはならない。 .Net Framework を利用して UDP/IP 通信機能を実装するには UDP/IP 専用の UDPCClient クラスを使用することもできるが、開発ソフト (NetworkDecoder) との統合を考慮して、Socket 通信用の Socket クラスを使用した。 KissTerm の動作フローチャートを図 1 に示す。

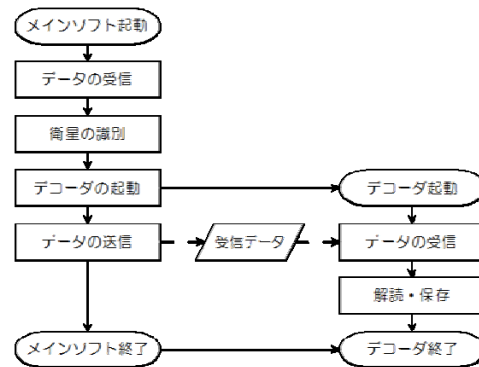


図 1 KissTerm の動作フローチャート

衛星が可視範囲に入るとメインソフトが起動し、衛星データを受信すると、受信データに含まれるアドレスデータから送信元衛星を識別し、対応するデコーダを起動する。受信データは UDP/IP 通信でメインソフトからデコーダに送信され、デコーダは衛星データを解読・表示・保存する。衛星が可視範囲から出るとメインソフトはデコーダを終了させて、自らも終了する。これら一連の動作により、複数の衛星の衛星データと解読結果を自動的に (地上局の無人運用で) ファイルに保存・蓄積することができる。

Windows アプリケーションに標準で実装されるようになったオンラインアップデート機能と同様の機能も KissTerm のメインソフトに実装した。具体的には、研究代表者の研究室で運用する FTP サーバに新しいデコーダを登録すれば、自動的にそのデコーダ情報が KissTerm の利用者に通知され、ダウンロードすればインストールも行われるという機能を実装した。これによりプラグインソフト方式の欠点が解消され、KissTerm の利用者は容易かつ迅速に新規開発衛星のテレメトリデータを解読できるようになる。

オンラインアップデート機能に使用するプロトコルとして FTP と HTTP があるが、本研究ではアクセス制限を柔軟に設定できる FTP を採用した。 .Net Framework を利用して FTP を実装するには WebClient クラスと WebRequest クラスがあるが、ファイル情報の取得もできる WebRequest クラスを採用した。

オンラインアップデートを実行するとメインソフトは FTP サーバに接続し、サーバに登録されているデコーダ情報を取得し、ローカルディスクにファイル保存する。次に今回取得したデコーダ情報と、前回取得したデコーダ情報を比較し、サーバに新規登録されたデコーダと、タイムスタンプが更新されたデコーダをダウンロードする。ダウンロードが終了するとサーバから切断する。デコーダはレジストリ登録が不要な実行プログラムなのでインストール作業は不要である。

## (2) NetworkDecoder の開発

KissTerm はメインソフトでも受信データが閲覧できる表示機能や、受信データを蓄積できるファイル保存機能を備えている。しかし、これらの機能はデコーダにも実装されているので、メインソフトとデコーダを同じコンピュータ上で使用する場合、メインソフトに表示・保存機能は必要ない。そこで、KissTerm のメインソフトから受信データの表示・保存機能を削除し、これに合わせて通信プロトコルに TCP/IP を採用し、研究開始当初に構想したクライアント・サーバ型のソフトウェア (NetworkDecoder) を開発した。クライアントソフトには KissTerm のデコーダや汎用のターミナルソフトが使用できるので、サーバソフトのみを新規に開発した。

通信プロトコルに TCP/IP を採用したことにより、衛星データのセキュアな閲覧・解読や、処理能力を超えるクライアントの接続を回避するため、SocketPermission クラスを使用して、IP アドレスに基づくクライアント接続制限機能を NetworkDecoder のサーバソフトに実装した。具体的には図 2 に示すようにサーバに接続要求してくるクライアントの IP アドレスを調べ、以下の 3 種類のクライアント接続制限が選択できるようにした。

- ・ローカルホストのみが接続可能
- ・ローカルホストとホワイトリストに記載されているホストのみが接続可能
- ・すべてのホストが接続可能

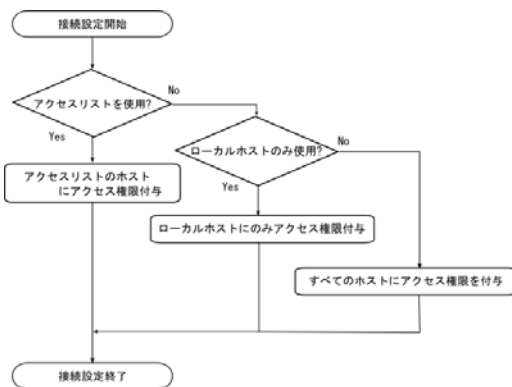


図 2 接続制限機能のフローチャート

NetworkDecoder のサーバソフトの TCP/IP 通信機能は Socket クラスを使用して実装している。Socket のインスタンスを生成するとき、SocketType を Stream から Dgram に変更するとともに、ProtocolType を Tcp から Udp に変更し、接続要求受け入れ処理と接続確立処理を削除すれば、通信プロトコルを TCP/IP から UDP/IP に切り替えることができる。そこで、サーバソフトの設定メニューに通信プロトコル選択タブを作成し、必要に応じて TCP/IP と UDP/IP を選択できるようにした。

## (3) 動作検証実験

KissTerm と NetworkDecoder に実装した機能の動作検証を図 3 に示す実験装置を構成して行った。衛星データには研究代表者の研究室に設置した地上局設備で受信・録音し、Windows Media ファイルに保存しておいた東京大学の CubeSat/XI-V と日本大学の CubeSat/SEEDS II の衛星データを使用した。

まず、ローカルエリアネットワーク環境下における動作実験を行った結果、KissTerm のメインソフトとデコーダの連携動作、デコーダのアップデート機能、NetworkDecoder のサーバソフトとデコーダの連携動作、クライアント接続制限機能のいずれについても設計通りに動作することを確認した。次に、プロジェクト支援者に開発ソフトを提供し、インターネット環境下で動作実験を行った結果、クライアント (デコーダ) による受信データの表示に僅かな遅延が発生するが、実用上支障はなく、実装機能のすべてが正常に動作することが確認できた。

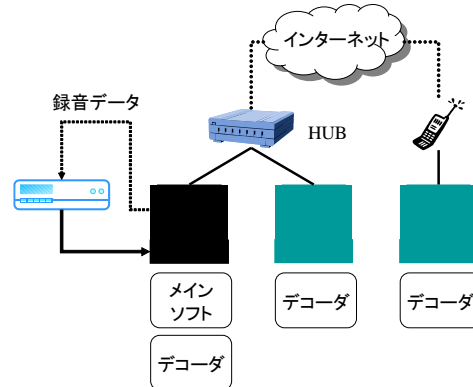


図 3 動作検証実験のシステム構成

## (4) まとめ

本研究では学生による超小型人工衛星プロジェクトを支援するためのソフトウェアである KissTerm と NetworkDecoder を開発した。KissTerm を軌道計算ソフトに登録するだけで自動的に衛星データを受信・識別し、誰でも容易にオンラインで準リアルタイムに衛星データの閲覧・解読・保存ができる。NetworkDecoder は KissTerm のデコーダの他、汎用のターミナルソフトをクライアントソフトとして使用できるので、衛星データのセキュアなオンライン閲覧・解読が可能になる。KissTerm にはデコーダのオンラインアップデート機能を実装したので、新規開発衛星のデータ受信協力要請にも迅速に対応できる。これらのソフトウェアは研究代表者の Web サイトで 2010 年 10 月 26 日から公開を始め、現在までに 626 回のアクセスを数えている。利用者からの要望も寄せられているので、今後も改良や機能強化を継続する予定である。

## 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2件)

- ① 浅井文男、学生による超小型人工衛星プロジェクトのための衛星地上局ソフトウェアの開発、奈良工業高等専門学校研究紀要、査読無、Vol.46、2011、pp.19-24
- ② 浅井文男、学生による超小型人工衛星プロジェクトのための衛星地上局ソフトウェアの開発Ⅱ、奈良工業高等専門学校研究紀要、査読無、Vol.47、2012、pp.19-22

[学会発表] (計6件)

- ① 田村典久、浅井文男、KISS MODE TNC 対応型 CubeSat デコーダの開発、2009 年度教育システム情報学会学生研究発表会、2010 年 3 月 6 日、関西学院大学(大阪府)
- ② 上島佳佑、浅井文男、CubeSat 地上局ソフトウェアの開発Ⅰ-KissTerm におけるリアルタイム解読機能の実装-、電子情報通信学会関西支部第 16 回学生会研究発表講演会、2011 年 3 月 1 日、大阪府立大学(大阪府)
- ③ 阪口紘生、浅井文男、CubeSat 地上局ソフトウェアの開発Ⅱ-NetworkDecoder におけるセキュリティ機能の実装-、電子情報通信学会関西支部第 16 回学生会研究発表講演会、2011 年 3 月 1 日、大阪府立大学(大阪府)
- ④ 浅井文男、CubeSat プロジェクトのための衛星データ受信・解読ソフトウェアの開発、平成 23 年度豊橋技術科学大学高専連携プロジェクト「ネットワーク衛星デザイン工房」研究発表会、2011 年 8 月 21 日、豊橋技術科学大学(愛知県)
- ⑤ 久保陽一郎、浅井文男、CubeSat プロジェクトのための衛星データのリアルタイム配信とオンライン共有に関する研究、平成 23 年度豊橋技術科学大学高専連携プロジェクト「ネットワーク衛星デザイン工房」研究発表会、2011 年 8 月 21 日、豊橋技術科学大学(愛知県)
- ⑥ 久保陽一郎、浅井文男、CubeSat プロジェクトのための衛星データのリアルタイム配信とオンライン共有に関する研究、2011 年度教育システム情報学会学生研究発表会、2012 年 3 月 10 日、関西学院大学(大阪府)

[その他]

開発ソフトのダウンロードサイト

<http://www.info.nara-k.ac.jp/~asai/download/>

## 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