

ソフトウェア無線による移動体向け無線データ伝送システムに関する研究

宮崎 俊之, 新井 浩成, 堤 大祐*, 日下 聖**

Research on Wireless Data Transmission System for Mobile Devices using Software Defined Radio

Toshiyuki MIYAZAKI, Hironari ARAI, Daisuke TSUTSUMI*, Takashi KUSAKA**

抄 録

スマート農業や老朽化インフラの監視などに、移動体を用いたセンシング技術の活用が期待されている。移動体向けセンシングでは、画像、音声、LiDARなど様々なセンサ類を追加搭載し、これらセンサから得られるデータの無線伝送が必要となる。従来使用されてきたハードウェア無線と比較して、ソフトウェア無線は用途や使用条件、使用環境などに応じた最適な無線伝送方式を構成できる特徴があり、追加した様々なセンサ類に柔軟に対応可能である。ソフトウェア無線の開発においては、プログラマブルデバイスにソフトウェアを書き込むための開発環境と、それを実現するためのハードウェアが必要となる。本研究では、オープンソースで使用可能な開発環境とハードウェアプラットフォームを使用し、移動体に搭載したセンサのデータを無線伝送するために必要となる基礎技術を開発した。

キーワード：GNU Radio, ソフトウェア無線, OFDM, Hack RF One

1. はじめに

移動体の利用において、導入後に使用用途や使用環境に応じた様々な種類のセンサ類を新たに装備することで、飛行・走行制御の自動化や、各種環境情報などのセンシングを行う事例が増えている。例えば、農業生育状況監視用のドローンでは、あらかじめ搭載されているカメラに加えて温度センサやサーモグラフィを追加搭載することで環境情報を取得したり、野生動物監視用のロボットでは、マイクを追加搭載して動物の検出精度を向上させることが行われる。

ドローンなどの移動体は、標準で搭載されるカメラなどのセンサの情報伝送を行うために、専用の無線通信システムが搭載されている。一例として、あるドローン大手企業では、最大伝送距離 6 kmを実現した拡張Wi-Fi通信システムを搭載している。これらメーカー独自の無線通信システムは他社製品との互換性がなく、仕様が一般公開されていない。このように、従来の移動体に搭載されている無線通信システムでは、使用者が追加でセンサを搭載することが想定されておらず、センサの追加搭載のニーズに応えることができなかった。

そこで本研究では、これらのニーズに応えることを目的に、

ソフトウェア無線を用い、移動体に追加で搭載される様々なセンサからのデータを複数同時伝送するために必要となる基礎技術の開発を行った。

2. ソフトウェア無線

データ伝送用の無線通信システムでは、センサから得られたデータを無線信号に乗せるための各種処理が行われる。ハードウェアで構成される従来型無線通信システムの一般的な送信機の構成を図1に示す。移動体搭載のセンサデータを無線送信する場合、データの符号化、変調、増幅などの無線信号処理が必要となる。従来の無線機では、これらの無線信号処理のうち符号化以外の処理はハードウェア化された専用の高周波回路で行っている。

一方、FPGA (Field Programmable Gate Array) やCPLD (Complex Programmable Logic Device) などのプログラマブルデバイス (内部構成を変えることが可能な集積回路) が高速化したことで、これらの内部にある再構成可能なゲートを用いて周波数発生や変調処理をソフトウェア的に構成し、MHz (10⁶Hz) 帯からGHz (10⁹Hz) 帯程度の無線通信に必

* 道総研法人本部 * Hokkaido Research Organization Headquarters

** 北海道大学大学院情報科学研究院 ** Hokkaido University Graduate School Faculty of Information Science and Technology

事業名：経常研究

課題名：ソフトウェア無線による移動体向け無線データ伝送システムに関する研究 (令和3～4年度)

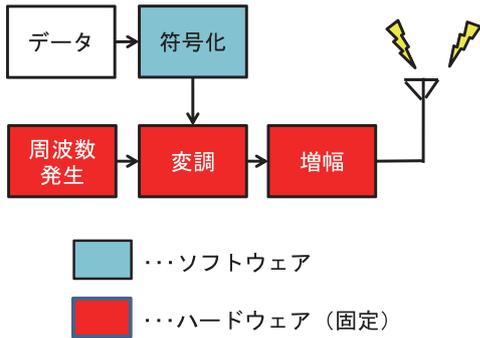


図1 従来型ハードウェア無線機の構成 (送信機)

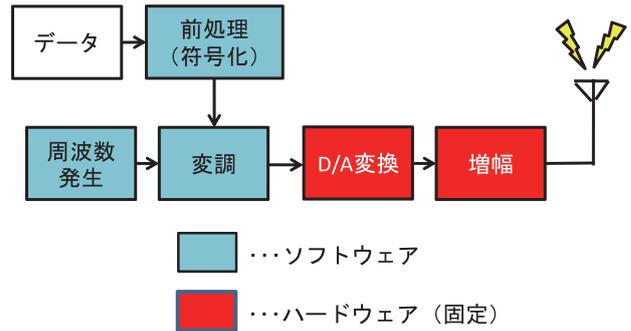


図2 ソフトウェア無線機 (送信機) の構成

要な無線信号処理を行うことが可能となった。このように無線通信システムの動作をソフトウェアで制御する新しい通信システムをソフトウェア無線 (Software-Defined Radio, SDR) と呼ぶ (図2)。ソフトウェア無線の大きな特徴として、FPGAやCPLDの内部構成 (内部回路) を変更することで、同一のハードウェアを異なる通信方式やプロトコルへ切り替えることができることが挙げられる。

3. 開発環境とハードウェアプラットフォーム

ソフトウェア無線システムを開発するためには、無線の送受信機能を設計するための開発環境と、高周波信号を処理する高速なFPGAやCPLDを内蔵したハードウェアプラットフォームが必要となる。本研究ではソフトウェア無線の開発

環境としてGNU Radioを使用した。

GNU RadioはGNU General Public License (GPL) のもとで公開されており、世界中の有志による開発、改良が進められているオープンソースのソフトウェアツールキットである。GNU RadioはGRC (GNU Radio Companion) と呼ばれるGUI上で各機能ブロックを結線することでソフトウェア無線システムを効率的に開発することが可能である (図3)。またGNU Radioは様々なハードウェアプラットフォームに対応しており、同一のプログラムを別のハードウェアプラットフォームに移植することも可能である。

本研究ではハードウェアプラットフォームとしてGreat Scott Gadgets社のHack RF Oneを使用した (図4)。Hack RF Oneはオープンソースのハードウェアプラットフォームであり、CPLDとしてザイリンクス社のXC2C64Aを、またRFト

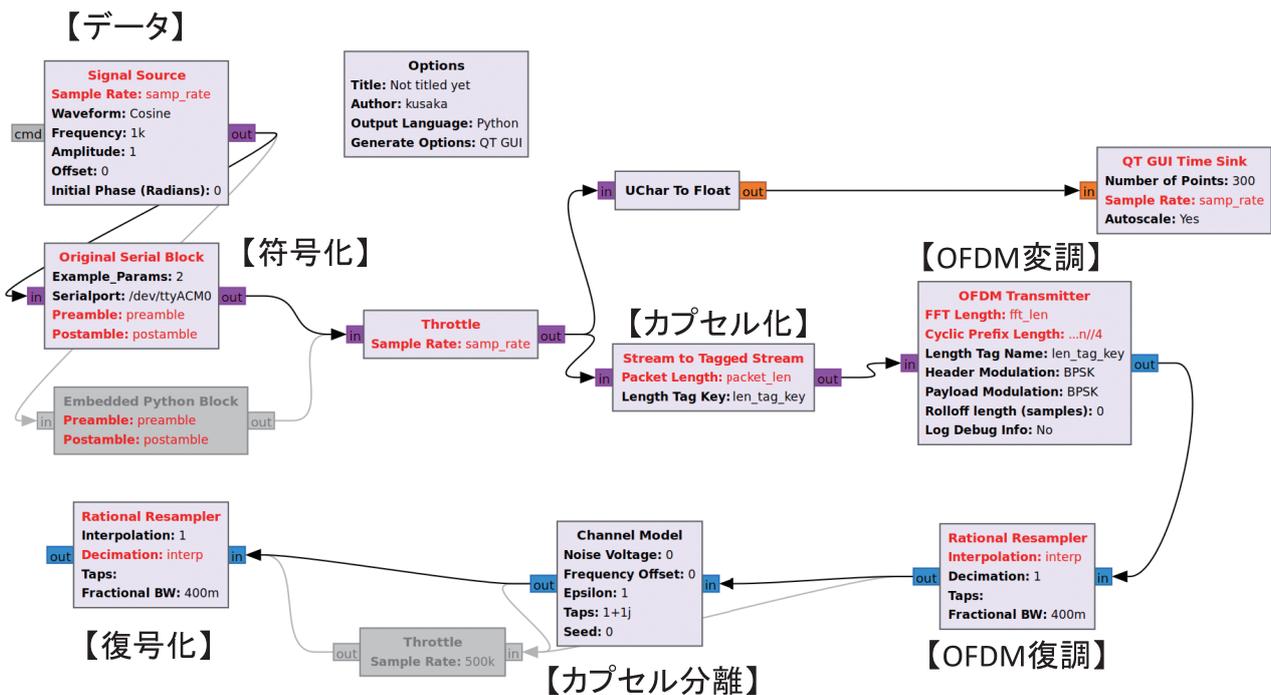


図3 GNU Radio Companion を用いたソフトウェア無線の開発画面

ランシーバとしてAnalog Devices社のMAX2837を搭載している。低価格だが、6GHzまでの無線信号を送受信可能であり、小規模な無線システム開発に適合している。

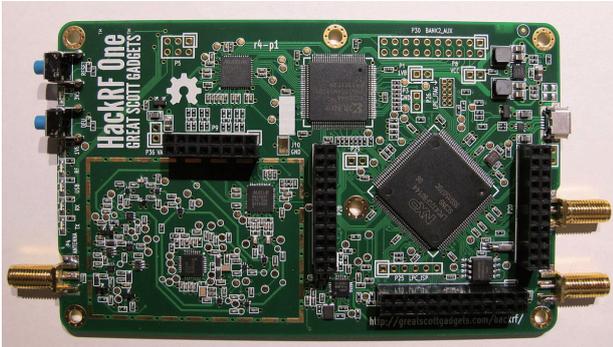


図4 ハードウェアプラットフォーム (Hack RF One)

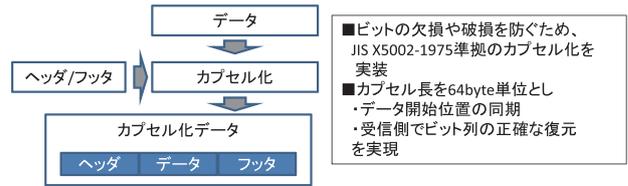


図5 センサデータのカプセル化

4. OFDMの実装

GNU RadioとHack RF Oneを用いた実装例として、直交分割多重変調 (OFDM) を構築した事例を紹介する。OFDMは限られた無線帯域を効率的に使用することで高速通信を行うことが可能な変調方式で、地上デジタル放送や第4世代以降の携帯電話で使用されている。

Hack RF Oneのような小規模ハードウェアプラットフォームに複数のセンサを接続してデータを送信するためには、データ取りこぼしを起ささないような効率的な処理が必要となる。そのため、センサデータのカプセル化、フロントエンドの実装と多重化を行った。

4.1 センサデータのカプセル化

伝送時のデータ破損を防ぎ安定した無線伝送を実現するためにはデータをカプセル化することが望ましい。複数の様々なセンサから出力されるデータを同時伝送する方法の一つに、各センサからの信号をパケットで区切り時分割で伝送する時分割多重方式がある。時分割多重方式を用いる場合、データの長さを揃えたカプセル化を行うことで信号処理を効率化できる利点がある。

本研究ではJIS X5002-1975 (基本型データ伝送基準) に準拠したカプセル化プロトコルをGNU Radio上で開発した。カプセル長はHack RF OneのFPGAでの処理速度を考慮し64byteに設定した (図5)。これにより、加速度センサや画像など様々な種類のセンサを同一カプセル長で取り扱うことができるようになり、その結果、Hack RF Oneに様々なセンサを接続することが可能となった。

4.2 OFDMフロントエンドの実装と多重化

OFDMをGNU Radioを用いてHack RF One上で実現する際、送信側で必要となるパケットエンコーダと、受信側で必要となるパケットデコーダがHack RF One上に標準で搭載されていないという課題がある。そこで本研究ではパケットデコーダに必要となる位相のずれ (ビットの同期ずれなど) の抑制手法を開発することで、Hack RF One上で動作可能なパケットエンコーダとパケットデコーダを開発した。主な開発ポイントは下記の2点である。

- ①送信側においては、センサデータは時系列でばらばらに変調部に入力される (データの位相ずれの発生)。センサデータのバイト列からデータの区切り (ペイロード) 部分を自動抽出することでデータの同期を揃え、OFDMトランスミッタ部が扱える形式に変換するエンコーダを開発した。受信機側においても、データの位相ずれが発生する。これを補正するため、ビット列の区切りを自動判別し、OFDM変調信号からバイト列を復元する技術を開発した。
- ②Hack RF One搭載のRFトランシーバは伝送帯域幅が狭いため、これにOFDM変調波を収めるためのパラメータ調整を行った。サブキャリア数を63個、サブキャリア間隔を312.5kHzに設定することで、20MHzの伝送帯域幅でOFDMを実現した。

これらの技術開発によりHack RF OneでOFDMを実行するための処理部 (フロントエンド) を実装した (図6)。

上記の技術開発により、Hack RF Oneにおいて10kbpsの伝送速度を達成し、この無線伝送路を用いた時分割の多重伝送を実現した。開発したOFDMを搭載したHack RF Oneに9軸の慣性計測装置 (IMU) を接続し、3軸×3センサから出力されるセンサデータ (100msサンプリング、2.88Kbps) をエラーなく伝送できることを確認した。構築した無線伝送システムを図7に示す。

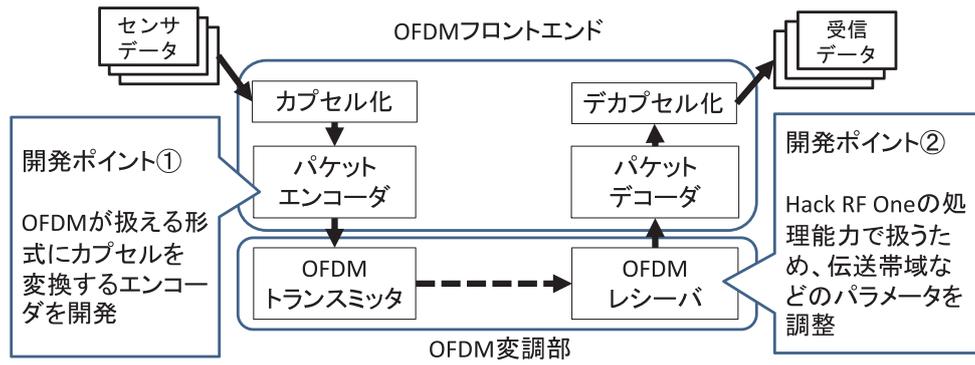


図6 OFDM フロントエンドの実装

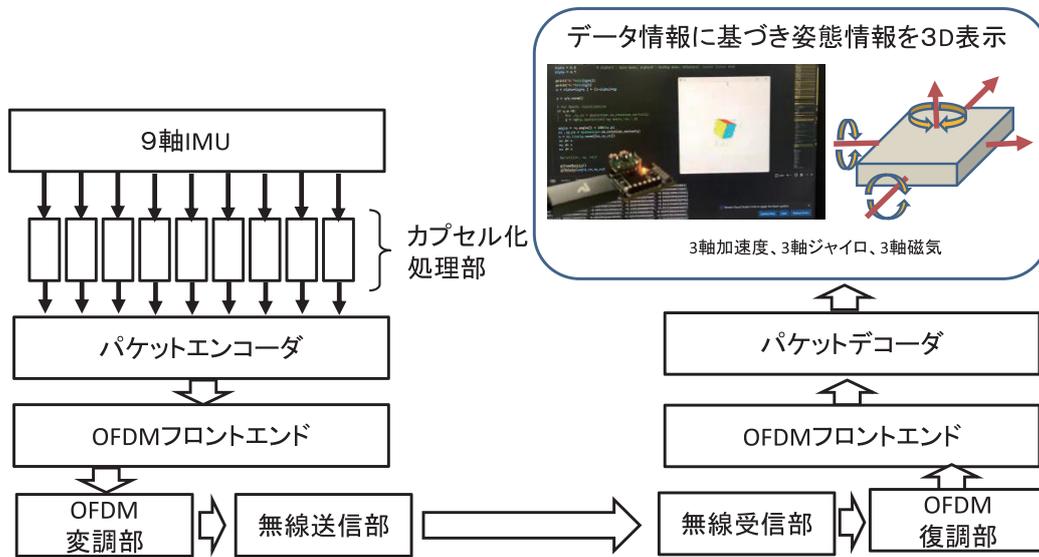


図7 9軸IMUデータ無線伝送システム

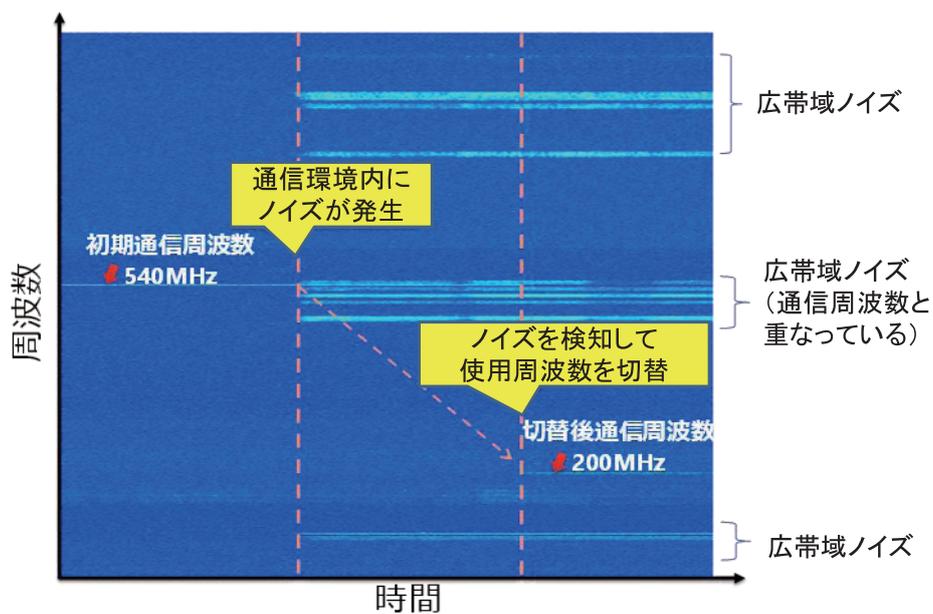


図8 電磁干渉発生時の自動周波数切り替え

4.3 通信安定化のための技術開発

ソフトウェア無線システムを移動体に搭載する場合、無線伝搬経路に発生する電磁ノイズによる妨害や、アンテナへの着雪による送信電力の減衰、降雨などによる無線信号の減衰などの通信環境の変動が通信データに及ぼす影響を軽減するための対策を考える必要がある。従来のハードウェア無線システムでは使用周波数が固定されているため、これらの通信環境の変動が発生すると通信が不安定になる課題があった。ソフトウェア無線システムは周波数を変更可能であるため、使用中の周波数の通信環境の変動を検知し、別の周波数に即時に変更し安定したデータ通信を行うことが可能となる。

Hack RF Oneを用いて、通信環境変動時に自動周波数切り替え機能を実現した例を図8に示す。この図では通信周波数(540MHz)を含め広帯域に電磁ノイズが発生している。データ送信側とデータ受信側は双方向の通信を行っており、データ受信側で観測した無線信号強度を送信側にフィードバックしており、電磁ノイズ発生により通信が不安定になると直ちに送信側でこれを検知し、これを回避することが可能となる。本研究では、送信側と受信側で通信不能時のプロトコル(次に使用する周波数、変調方式など)をあらかじめ取り決めておき、電磁ノイズなどで無線信号が途絶えた場合に周波数を自動的に切り替えることで通信安定性を確保する手法を開発した。図8の例では電磁ノイズ発生後に約10msで周波数切り替えが完了しており、ほぼ欠損なくデータを伝送できている。

5. おわりに

本研究では、ドローンなどの移動体における様々なセンサデータの通信手段としてソフトウェア無線を活用する際に必要となる基礎技術を開発した。またフィールドで無線通信を使う際に問題となる電磁ノイズなどの環境変動時でも安定した通信を行うための技術として、動作中に通信周波数を自動で変更できる技術を開発した。本研究の成果を活用することで、ユーザが様々なセンサを無線伝送システムに接続し、安定したデータ伝送を行うことが可能となる。

今後、移動体は多様な環境で多目的に使用されることが想定される。現在、環境計測などの分野を中心に、移動体に様々なセンサを搭載するニーズが高まっている。本研究で開発したソフトウェア無線の開発技術はこれらの需要に適用可能であり、引き続き応用研究を進めていく予定である。