

災害時における成層圏気球を活用した広域高速道路管理用センサネットワークの構築

○ 瀬川典久[†] 後閑政昭^{††} 矢澤正人^{††} 美濃 英俊^{†††} 花田 隆貴^{††††}

[†] 京都産業大学 ^{††} 数理設計研究所 ^{†††} 山梨大学 ^{††††} kikyuu.org

sega@acm.org

1. はじめに

センサネットワークの基本技術が開発され約10年が経過し、現在その技術を用いさまざまな応用システムの開発が行われている。その中で、近年屋外、野外でのセンサネットワークの利用に注目が集まっている。

そこで、我々の研究グループでは、狭帯域スペクトラム拡散通信手法の一つである高速同期法を用いたスペクトラム拡散通信MAD-SS[1,2](Mathematical Assist Design Laboratory's Spectrum Spread)を利用した屋外におけるセンサネットワークの構築の研究を行ってきた。MAD-SSは、直接拡散方式の一種である。

スペクトラム拡散通信は、電波の雑音からの耐性が強くフェージングの影響を回避しやすい。また、低電力で長距離の送信が可能になる。しかし、スペクトラム拡散通信を、センサノードに実装するためには、ノード間の同期、周波数調整、拡散コードを利用した復調、復号のための高速計算が必要である。そのため、従来の組込システムでは実装するのに困難であり、活用されてこなかった。しかし、マイコンの高速化および低電力化、高性能水晶発振器の開発、部品の小型化により、狭帯域スペクトラム拡散通信をセンサネットワークに実装可能に実装することが可能になった。

MAD-SS センサネットワークの具体例の一つとして、遠野市郊外に設置した実証実験を説明する。

2011年3月4日に遠野市郊外に、MAD-SSの電波伝送実験として傾斜計とMAD-SS送信機の設置を行った(図1)。周波数は、145MHz(アマチュア無線バンド)で実効出力は、2dBm(1.6mW)である。3軸の加速度計を内蔵しており、その情報を16分毎に11km離れた受信局に送信した。また、送信機は単1電池6本で動作しており、1年以上の稼働が可能になっている。一回の伝送にかかる通信時間は、約7秒(7.256秒)である。受信局には、無線機、PC、3Gルータ、および無停電電源装置で構成されている。



図1 傾斜計とMAD-SS送信機

災害と通信状況には密接な関係がある。現在の日本において、さまざまな通信手段が存在するにもかかわらず、インフラがすべて津波で破壊されたために、津波が到達後、被災地との通信が全く行う事が不可能になった。特に、現在では、携帯電話およびインターネット回線に大部分の住民が頼っているために、それらのインフラが使えない事により、安否確認、状況確認が非常に困難になった。さらに、今回の被害が甚大であったために、災害発生時から72時間経過しても通信インフラの脆弱性は解消しなかった。

本稿では、災害などによって受信局が一時的に使えない状況において、地上に設置された1mWから10mW程度の低電力で送信するセンサネットワークの情報を収集する手段を提供する必要がある。そこで、本研究では成層圏気球を中継局として通信することを提案する。図2は、成層圏気球を利用したセンサネットワークの仕組みである。この気球は、ラジオゾンデと呼ばれる、気象観測に用いる気球である。気球の重さは、約300gでこの気球にヘリウムガスを注入し、高度約30kmまで上昇させる。この気球の値段は、約3万円である。

高度20,000mまで上昇した気球は、地上とMAD-SSで通信を行う。例えば、MAD-SSの電波の出力を1mWにした場合、半径100km以上の通信が可能になると考えられる。また、10mWに出力を上げた場合、半径600kmの通信が可能

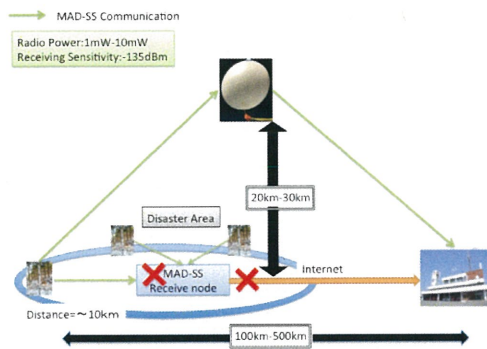


図2 成層圏気球を利用したセンサネットワークになると考えられる。気象観測用気球は、長時間同じ所にとどまることは不可能である。しかし、成層圏まで到達する気球は、うまく制御することが出来れば、30分程度高度20,000mを維持することは可能である。よって、複数の気球を、適切な時間間隔において、上昇させることによって、長時間の広域な通信を実現することが可能になると考えている。本研究が実現した場合、広範囲で災害が発生した場合、成層圏気球センサネットワークによって、地上に置かれたセンサの情報を、数百キロにわたって容易に取得することが可能になる。

本稿では、MAD-SSの概要とMAD-SSを実現する送受信機の説明およびMAD-SS送信機を利用した実験について述べる。

2 MAD-SS

長距離通信を実現するために、数理設計研究所が開発した特許技術、「スペクトラム拡散方式の(SS)の通信装置、及び、その高速同期確立法」、通称MAD-SS⁽⁴⁾⁽⁵⁾に着目した。この技術は、低速(10bit/s)であるが、長距離の通信が可能であるという特徴をもつ。表1にMAD-SSの諸元を示す。

bandwidth	2757Hz
TIP period	0.7256msec
TIP frequency	1378.125 Hz
diffusion code long length	1024 TIP
diffusion code	M-system symbols
diffusion period	0.743sec
communication speed	10bit/sec

表1 MAD-SSのスペック

この長距離通信は、

- 無線LAN等と比較して占有周波数帯域が狭く、ノイズの影響が低減されている
- スペクトラム拡散による処理利得を得られている
- (利用周波数帯域によっては)利用周波数帯域の特性が良いといった理由で実現されている。

MAD-SSは、通信速度を低速とし、(ある程度)占有周波数帯域を狭くし、更にスペクトラム拡散を用いることで、長距離通信が可能となっているが、低速な通信でスペクトラム拡散を用いている点が新たな問題を生む。データ送信そのものは、小さいサイズのデータを扱うため問題とはならない。問題になるのは、スペクトラム拡散通信の同期である。通常のスぺクトラム拡散通信における同期はシリアルサーチ法やスライド法と呼ばれる方法で行われる[3]。この方法は、受信信号に対して、あらかじめ用意された拡散符号を順次ずらし(スライドさせ)ながら相関を取り、相関の大きい位相を探し出す方法である。この方法で、低速な通信の同期を取る場合、非常に時間がかかる。例えば、拡散速度が1024tip/sのスペクトラム拡散通信で1024tipの拡散符号を用いた場合、最悪の場合2048秒、平均でも1024秒かかってしまう。長距離通信が可能でも、同期には数十分かかってしまうのでは使い物にならない、そこで数理設計研究所が特許を取得した”スペクトラム拡散方式の通信装置、及び、その高速同期確立法”[2]が必要となる。この方法では、2周期の拡散符号で同期を取る事が可能である。つまり先の場合では、約2秒で同期を行う事ができる。簡単な手順を以下に示す。

- (1) 変調符号が変化する位置(トグル点)を検出する
- (2) 拡散コード一周期のトグル点を予め生成しておき、(1)と相互相関させて拡散コードのスライド量を推定する。
- (3) (3)(2)で求めたスライド量を用いて逆拡散を行う
- (4) スペクトラム拡散を確認し、有効なスペクトルであれば、確実な受信を確認出来る

シリアルサーチ法が順次、拡散符号をスライドさせながら逆拡散を試みるのに対し、高速同期法では、スライド量を推測してから逆拡散する。これにより計算量が低減され、高速に処理が可能になる。

3 成層圏気球に搭載する送受信機の開発

2 章で述べた、MAD-SS を容易に使うために、MAD-SS シールド送信器および、MAD-SS 受信システムを開発した。成層圏気球での実現を行う上にあって、一番重要なことは、安全確保である。そのためには、ペイロードの重量をいかに軽くするかが、とても重要になる。例えば、一般に利用されているラジオゾンデでは、重さが約 150 g である。

3.1 MAD-SS 送信機

MAD-SS シールド (図 3) は、MAD-SS 送信機の一実装形態である。MAD-SS シールドは、アマチュア無線での利用を前提として設計されており、実効出力 1mW で約 10 km の伝送を目指している。また、シリアル通信ポートを持っており、1 パケット 31byte で設計されている。

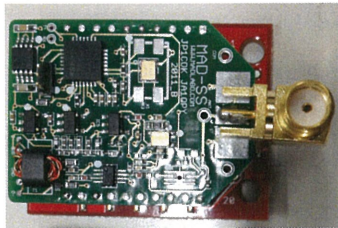


図 3 MAD-SS シールド

MAD-SS シールドは、スペクトラム拡散の変調をマイコンなどで扱いやすくするために、オーディオ帯域でスペクトラム拡散の変調 (1 次変調) を行い、その後、BPSK 搬送波を用い 2 次変調を行い伝送している。

また、MAD-SS シールドは、Xbee [4] と外形形状が同一になっており、またシリアル通信を行うためのピン (Vin, GND, TX, RX) が同一になっている。よって、Arduino Fio 等の Xbee のシリアルモードで通信するシステムでハードウェアを変更なしに利用することが可能である。図 4 は、Arduino Fio と MAD-SS シールドを利用した送信モジュールである。本送信モジュールは、気球の位置、高度、モジュール内気温などを地上に伝送することが可能になっている。

Arduino とは、単純な入出力を備えたマイコン基板 (主に CPU として、ATMega128L を利用) と Processing/Wiring 言語からなる開発システムである。コードの記述が容易に行え、なおかつ用途に応じてさまざまな基板が提供されているため、世界中で幅広く利用されている。

Arduino Fio は、大きさ縦約 3cm 横約 7cm の大

きさに CPU(ATMega328P)および I/O とリチウムポリマー充電回路を搭載した、Arduino 基板の一種である。

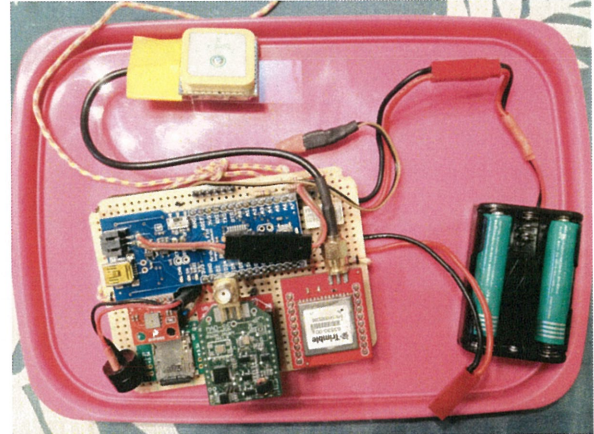


図 4 Arduino Fio を利用した送信モジュール

Arduino で MAD-SS シールドを用いセンサネットワークプログラミングを行う際、以下の仕組みをライブラリとして用意する。

(1) コールサイン送信機能

MAD-SS シールドをアマチュア無線帯で利用するためにコールサインを定期的に送る必要がある。

(2) 位置情報送信機能

GPS の情報は、通常 GPS モジュールからシリアルで送られてくる。これらをシリアルとして受信を行い、緯度、経度情報などを取得する必要がある。

(3) センサ情報サンプリング

温度センサ、加速度センサなど任意のセンサを接続し、データを取得する仕組みが費用である。

(4) 複数のシリアルポートのハンドリング機能

MAD-SS シールドは、一つのシリアルポートを利用する。よって、シリアルポートを一つしか持たない Arduino の場合、シリアルポートを拡張する必要がある。

3.2 MAD-SS 受信機

MAD-SS 送信機は、3.1 で述べたように、オーディオ帯域でスペクトラム拡散の 1 次変調を行い、その後、BPSK 搬送波を用い 2 次変調を行い伝送している。よって、MAD-SS 受信機では、まず BPSK 搬送波から復調しオーディオ帯域のスペクトラム拡散信号を取り出し、その信号を

MAD-SS 受信アルゴリズムに通すことで、送信データを復調する。

図5は、BPSK 搬送波からオーディオ帯域のスペクトラム拡散信号をとりだす受信機である。重量は、55g であり、消費電力は、平均 0.2W(±5%) である。

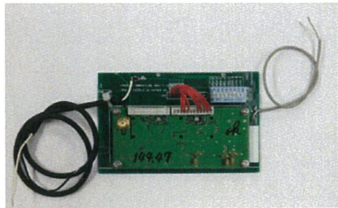


図5 ペクトラム拡散受信基板

搬送波から取り出されたスペクトラム拡散された音声信号を小型組込マイコンに取り込み、送信機から送信されたデータをデコードする。MAD-SS 受信プログラムは、Windows、Linux で動作する。本システムでは、Linux を用いて受信を行う。

Linux 用の受信ソフトは、標準的な Linux カーネル(Ver2.2 以降)および pulse audio システムで動作する。pulse audio は、現在の Linux で主に利用されているサウンドドライバで、pulse audio に対応しているハードウェア機器であれば、機器の種類は選ばない。ただし、表1で示した拡散時間 0.756 秒で一拡散のデコードが終わらなければ、リアルタイム処理ができなくなるために、組込 Linux の性能そのものは要求される。

図6は、オーディオ信号から送信データを取得するためのマイコンである Raspberry Pi Model A+と Cirrus Logic Audio Board(Wolfson 社製 Smart Codec with Voice Processor DSP WM5102)である。重量は、48g であり、消費電力は、平均 0.67W (最大 1.1W) である。

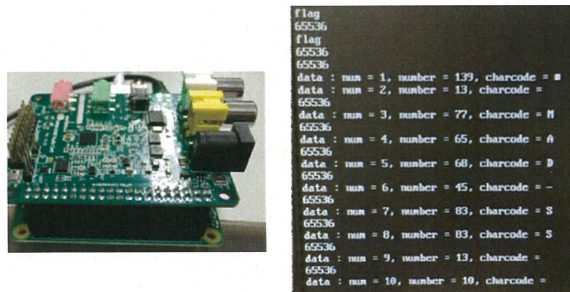


図6 Raspberry Pi A+による MAD-SS 復号

受信時のマイコンの CPU 利用率は、80%を超える状態である。また、PC での受信に比べ平均 5dB ほど性能が落ちる。現在のところ、その理由を調査中である。

4. おわりに

成層圏気球中継通信を実現するための狭帯域スペクトラム拡散通信 MAD-SS 受信機制作として、受信機の仕様の検討およびそれに応じた受信機の試作を行った。今後は、これに小型の送信機および電源を搭載し、送受信機としてまとめ、成層圏気球に搭載し評価実験を行う。

参考文献

- [1] 超長距離スペクトラム拡散通信 MAD-SS: 数理設計研究所
<http://madlabo.com/mad/madss.htm>
(2014 年 5 月現在).
- [2] MAD-SS Long Distance Communication by Spread Spectrum with High Speed Synchronization Method", Haruo Tamaki, Masato Yazawa, Norihisa Segawa, QEX Japan Vol.1, CQ 出版社, 2011 年 12 月
- [3] RC Dixon, 最新スペクトラム拡散通信の基礎, ISBN4-87654-050-5
- [4] Xbee-RF-module,
<http://www.digi-intl.co.jp/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/index.html>