

重量センサを用いた雪面形状認識に関する研究

A Study on recognition of snow surface shape using weight sensor

高崎 和之¹⁾, 若林 良二¹⁾, 中台 章²⁾

Kazuyuki Takasaki¹⁾, Ryoji Wakabayashi¹⁾, Akira Nakadai²⁾

要旨 : 流星バースト通信においては, ホットスポットと呼ばれる空域にアンテナの指向性を向けることが肝要であり, 積雪による影響も考慮する必要がある. しかし, 一般に積雪の観測は, 高所に設置した超音波距離計等を用いて行われ, この方法では, アンテナ周辺に複数の構造物を設置しなければならず, アンテナの指向性に影響を与えてしまう. 本報告では, 重量センサを用いてアンテナ周辺の積雪状況を把握する方法を提案しその有効性について実環境で検証した結果について報告する. また, 実験に使用した無人自動観測システムに関するノウハウも紹介する.

Keywords : 積雪計, ロードセル, 自動計測, 遠隔観測

1. はじめに

筆者らは, 地球に降り注ぐ宇宙の塵を利用した見通し外長距離通信である流星バースト通信の研究を長期間継続的に実施している. 流星バースト通信を効率的に運用するには, アンテナの指向性を上空の特定の領域に向ける必要があるが, その際, 仰角方向の指向性については大地の影響を無視できない. 特に積雪がある場合は, その影響も考慮すべきである. 本研究では, 積雪による指向性の変化を考慮するための一手法として, 重量センサを用いた方法を提案し, その有効性を確認した. また, 研究の過程において得られた自動観測に関するノウハウについても紹介する.

2. 研究背景

2.1 流星バースト通信

地球には絶えず宇宙の塵が降り注いでおり, 大気との摩擦によって流星バーストと呼ばれる電離気体柱が発生している. この流星バーストは, 超短波帯の電波を反射する性質を有しており, これを利用した長距離見通し外通信を流星バースト通信と言う. 流星バースト通信は, 通信路が開くタイミングやその継続時間が確率的である反面, 自然災害に強くメンテナンスコストが低いなどのメリットがあるため, 気象観測などに利用されており, 特に防災面などで活用が期待されている. 流星バーストは, 上空 100km 付近に発生することが知られており [1], アンテナの仰角が通信容量に影響を与えることも実験的に確認されている [2]. また, 2 点間の通信に寄与する流星バーストの発生領域をホットスポットと呼ぶ.

2.2 アンテナの地上高が指向性に与える影響

流星バースト通信は超短波帯の電波を利用する通信であることから, 地上高数 m のところにアンテナを設置した場合, 大地の影響によって指向性が上向き (大地と反対方向) になる. 筆者らが実験に用いている 48MHz 帯用アンテナ (5 素子八木アンテナ) の場合, 地上高 3m では 22.5deg, 地上高 5m では 16.4deg 上向きになることが, 指向性解析ソフトウェア MMANA による計算機シミュレーションによって知られており, アンテナの地上高に応じて適切な仰角補正が必要となる. 仰角補正の方法として, ローテータを用いてアンテナを回転させる方法があるが, 補正量を計算するためには, アンテナの地上高, 地面の形状等, 周辺環境の把握が必要不可欠である.

2.3 積雪が指向性に与える影響

雪によって電波が反射・吸収されることやその特性は先行研究 [3] により知られている. したがって, アンテナ周辺の積雪は指向性に影響を与えると考えられる. 流星バースト通信では 50MHz 付近の電波を利用しているが, この周波数の電波は電離層を通過してしまうため長距離の見通し外通信には不向きである. そのため, 通常は直接波による通信を主として回線設計が行われ, 受信強度を確認しながらアンテナの向きを調整することができる. 従って, 多少のズレであれば現場で修正し, 最良の状態とすることができる. しかし, 流星バースト通信では継続時間が非常に短く, そのタイミングも予測ができないため, 受信電力を確認しながらアンテナの向きを調整することはできない. 従って, 送受信局双方で同一の空域 (ホットスポット) にアンテナの指向性を向けるためには, 仰角に関する高度な指向性の予測とそれに基づく制御が要求される.

1) 東京都立産業技術高等専門学校 ものづくり工学科 情報通信工学コース 2) ジオスポーツ株式会社

2.4 積雪計

気象庁によって行われる積雪の観測は、図 1 に示すような支柱の上部に取り付けられた超音波距離計を用いて行われている[4]。この方法は、積雪を正確に測定できる反面、超音波距離計を適当な高さの場所に固定する必要がある、通信用アンテナの周辺に設置するには不適當である。

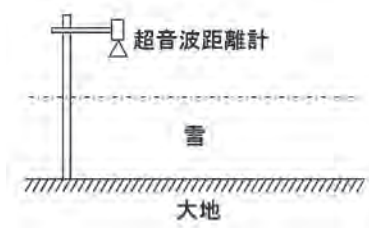


図 1 一般的な積雪の観測方法



図 3 重量センサ外観

3. 提案手法

アンテナ周辺の半径数 m～数十 m 程度の範囲であれば雪質は一様で積雪の密度は均一であると考えられることから、重量センサによってセンサ上の雪の重量を計測し、積雪量に換算する方法を考えた。提案手法では、地面に重量センサを設置するだけで積雪を観測できるため、アンテナの指向性に与える影響を最小限とすることができる。また、高所作業や支柱の設置などを伴わないため、容易に設置が可能な点も従来手法より優れていると考えられる。

4. 評価実験

提案手法の有効性を評価する実験は 2015 年 12 月 19 日～2016 年 4 月 29 日の間、長野県上田市菅平高原にあるジオスポーツ株式会社クラブハウスの駐車場の一角で行った。この場所では、流星バースト通信に関する観測も実施しており、電源、通信回線などの設備があるため、本研究は、この既存設備に観測装置を追加する形で実施した。また、後述する重量センサと検証用簡易積雪計を 9 セット用意し、図 2 に示すよう配置に設置して実験を行った。実際に設置した様子を図 3 及び図 4 に示す。なお、図 2 において、簡易積雪計の上部を固定する部材は記載を省略している。

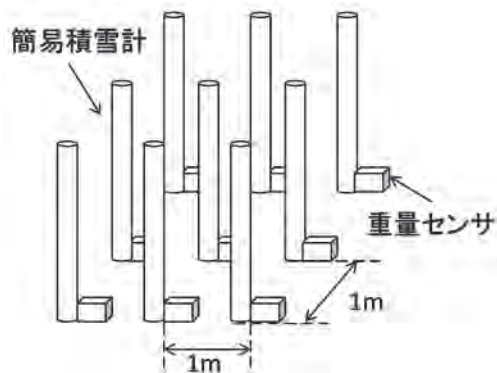


図 2 実験装置の配置



図 4 設置した実験装置全体の外観

4.1 重量センサ

重量センサには、市販のキッチンスケール（タニタ製 KD-187-WH）を改造して利用した。キッチンスケールを改造して用いた理由は、内部にロードセルと呼ばれる重量センサが内蔵されており、センサ単体で購入するより安価であることと、外装ケースの設計・製作を省略できるためである。本研究では、外装とロードセルはそのまま流用し、表示装置や制御回路を撤去して電圧増幅率 1000 倍の計装増幅器をケース内に内蔵した。また、外部からの電源供給で動作するようにし、測定結果は電圧で外部出力するようになっている。図 5 に製作した 9 台の重量センサの出力特性を示す。図 5 より、各センサ間にオフセット誤差が見られるものの、直線性に優れ、基準点を補正することにより個体差の補正も容易であることが確認できる。

4.2 検証用簡易積雪計

提案手法の有効性を検証するため、図 6 に示すような構造の簡易積雪計を重量センサと併設することとした。この積雪計は、塩ビパイプの周囲に銅製の電極を貼り付けたもので、各電極は、10k Ω の抵抗によってそれぞれ独立してプルアップされており、電極間が雪に埋没したときの抵抗値の変化を電圧変化として測定するものである。

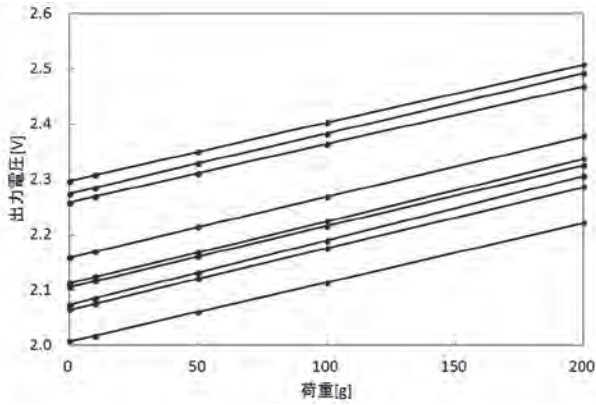


図5 重量センサの荷重に対する出力電圧特性

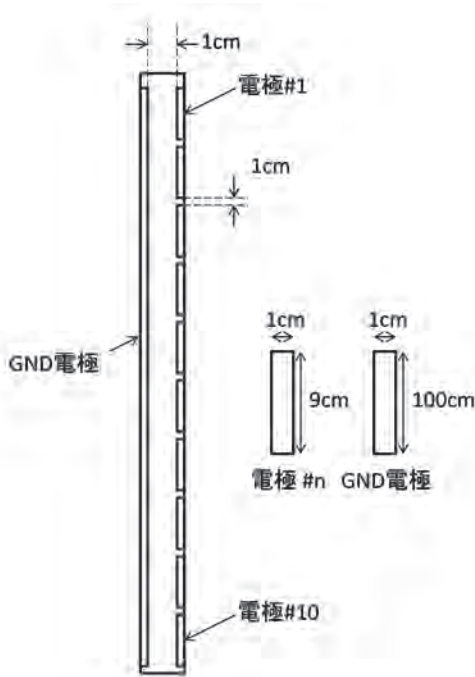


図6 簡易積雪計の構造

4.2 制御装置

重量センサと検証用簡易積雪計の制御は、マスターコントローラとスレーブコントローラの2つのコントローラから構成された制御装置によって行うこととした。マスターコントローラは主にコンピュータとのインターフェイスを担当し、スレーブコントローラは重量センサと簡易積雪計の出力のAD変換を担当する。実験装置全体の構成を図7に示す。マスターコントローラはArduino UNO Rev.3、スレーブコントローラはPIC16F690を使用し、観測データの蓄積とインターネット接続を司るコンピュータにはRaspberry PiとIntel製シングルボードコンピュータDN2800MTを用いた。複数のスレーブコントローラを同一バス上に接続できるようにし、現場における配線作業の効率化を図っている。また、各スレーブコントローラを識別するIDはPICマイコンのEEPROM領域に格納し、プログラム本体を書き換えることなく変更できるようにした。これも現場での設置効率の向上に貢献した。

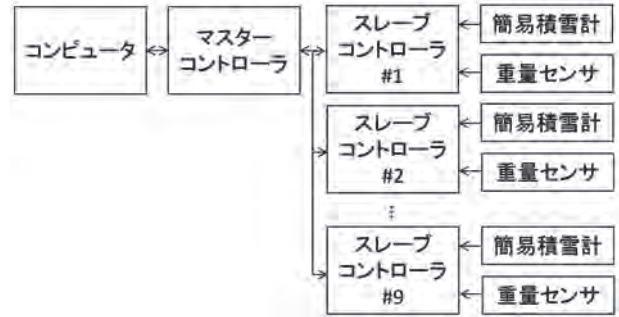


図7 観測システムの構成

5. 安定運用に向けた対策

本研究では、約半年の間、無人の環境で自動観測を行う必要がある。実験装置の製作にあたっては、観測装置に不具合が生じた場合でも制御不能とならないようにすることはもちろん、再起動による復帰を試行できるように配慮して設計を行った。これは筆者らのこれまでの研究における経験を活かしたものとなっているので、その代表的なものを次に示す。

5.1 ウォッチドックタイマー

ウォッチドックタイマーは、一定時間の間に定められた動作が無い場合にコンピュータをリセットするタイマーである。プログラムの暴走や外来雑音の影響などで意図しない状況に陥った場合にコンピュータを正常な状態に復帰させるために用いられる。本実験装置では、コンピュータとマスターコントローラ間のシリアル通信を監視し、15分以上通信が行われない場合、コンピュータにリセット信号を入力するようになっている。本研究と本質的に関連が無いため、説明を割愛したが、マスターコントローラには温度センサ等も接続されており、1分に1回コンピュータとの通信が行われるようになっているため、正常動作時にリセット信号が入力されることはない。リセットまでの時間を15分としたのは、再起動やメンテナンスの際に不用意にリセットが発生しないようにするためである。

5.2 ネットワーク監視

本研究のような遠隔無人運用において、通信の途絶は制御不能となる致命的な障害であるが、屋外に長距離のLANケーブルを敷設している場合には、雷などの雑音によって障害が発生しやすい。また、停電から復旧する際、ネットワーク機器より先に実験装置が起動してしまったために通信ができなくなることもあった。そのため、コンピュータがインターネットに接続されているかを監視し、通信途絶となった場合に再起動するソフトウェアを開発し、定期的に行うようにした。

このソフトウェアは、一定時間ごとに特定のwebサイトにアクセスを試行し、成功すればネットワーク接続は正常と判断する。3回以上連続で失敗した場合は、ネットワーク

接続に障害が発生したものと判断して再起動を実施する。このような方法をとる理由は、接続先の web サーバのログにアクセス元（観測装置が接続されたコンピュータ）の IP アドレスの記録を残すためである。研究者側では、この記録を基に、障害発生を検出したり、メンテナンス時にアクセスすべき IP アドレスを知ることができる。

5.3 コンピュータの多重化

コンピュータの故障に備え、マスターコントローラは 2 台のコンピュータに接続されており、どちらのコンピュータからでも制御できるようになっている。これにより、1 台のコンピュータに回復不能な障害が発生した場合でも研究継続が可能である。これは、流星バーストの発生状況に関する研究を実施した際、補助記憶装置の障害が発生した経験によるものである。また、コンピュータはあえて違う種類のものを採用し、PC/AT 互換機と Raspberry Pi の 2 台体制で運用している。本研究では Raspberry Pi を主とし、PC/AT 互換機を副とした。

5.4 電源の自動再投入

人為的な操作ミスや何らかの不具合によってコンピュータがシャットダウンしてしまった場合に備え、PC/AT 互換機は BIOS の機能によって 1 日に 1 度、Raspberry Pi はウォッチドックタイマーによって電源が再投入されるように構成されている。

5.5 シリアルコンソールの相互接続

コンピュータのメンテナンスは主、副共に、SSH によるリモートログインを用いて行うが、主、副いずれかの SSH デーモンに不都合が生じた場合に備え、2 台のコンピュータはシリアルコンソールを相互に接続した構成となっている。このようにすることで、どちらか 1 台にログインすることができれば、もう一方のコンピュータも操作することが可能であり、前述の機能と組み合わせることによって、電源を遮断した状態からの再起動も可能である。

5.6 インターネット経由のデータ回収

本実験の実験系は屋外に設置されたコンテナ内に収容されており、直接風雨にさらされる状態ではないものの、高温・多湿な状況となりやすく、精密機器にとって故障しやすい環境にある。そのため、観測したデータは 1 日に 1 回、インターネット経由で自動的に回収されるように設定し、データの喪失を防止した。過去に実施した流星バーストの発生状況を調査する研究では、4 年間の間に停電やその他の不具合により 3 回ほど現地のコンピュータに蓄積されたデータが失われるような故障が発生したが、コンピュータの二重化とこの対策により、データの喪失は発生していない。

6. 結果

観測結果の一例として 2016 年 1 月の観測結果を図 8 に示す。

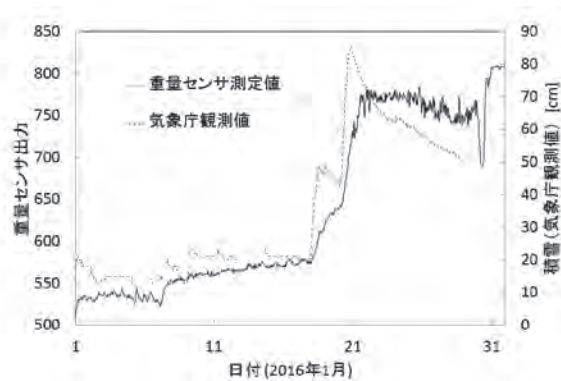


図 8 重量センサによる測定値と気象庁観測値の比較

図 8 左側縦軸は重量センサの出力（AD 変換器の出力値）であり、電圧と比例関係にある。また、実線が提案手法による測定値、破線が気象庁発表の積雪である。気象庁の観測値が途切れているのは、欠測としてデータが公表されていないためである。併設した検証用簡易積雪計は風の影響により支柱が振動し期待通りの動作をせず、評価用の積雪情報を得ることはできなかった。しかし、図 8 より、重量センサの出力と気象庁の観測した積雪の変化の傾向が良く一致していることが分かる。両者の観測地点は直線距離で約 2.5km 離れている事を考慮すれば、重量センサによる積雪の測定は概ね成功したと思われるが、前述のように、重量センサ設置地点における詳細な積雪量と比較できていないことから、雪面形状の認識精度を評価できておらず、成功とは断定し難いため、2016 年度も実験を継続中である。2016 年度は、気象庁の観測と同様に超音波距離センサを用いて検証用の積雪を観測するよう装置を改良し、本稿執筆に並行して準備を進めている。

また、安定運用に向けた対策の効果として、停電とそれに伴うネットワーク不具合に起因する再起動がそれぞれ 2 回ずつ発生したが、それ以外にトラブルは発生しなかった。また、停電時間が短時間であったため、観測データに欠損は生じなかった。

7. むすび

アンテナの指向特性を補正するために積雪状況を把握する方法として、重量センサを用いる方法を提案し、その有効性を検証した。併設した検証用の積雪計が期待通り動作せず、性能評価用のデータが不足している状態ではあるものの、気象庁の観測結果と比較すると、よく一致していることが確認できた。また、本校から約 160km 離れた場所で無人自動観測を行うにあたり、これまでの経験に基づいた信頼性確保のための工夫を行うことで、約 6 か月間の実験期間中は欠測することなく実験を実施することができた。今後の課題として、検証用の積雪計を改良し、提案手法の有効性を証明したいと考えている。

参考文献

- [1] 福田明：流星バースト通信，コロナ社， p.2, 1997
- [2] 高塚徹，長澤正氏，椋本介士ほか：流星バースト通信によるオホーツク海域環境情報収集システムの開発 3, 北海道大学低温科学研究所技術部技術報告，第 18 号， pp.51-55, 2012
- [3] 黒岩大助：積雪層による電波の吸収，低温科学， 9, pp.215-216, 1952
- [4] 気象庁：積雪計／観測の原理， http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/kansoku_guide/e1.html， 2016 年 11 月 28 日最終閲覧