

第 5 回研究発表講演会アブストラクト集

Session1 座長：浦久保孝光（神戸大学）

S1-1 LEO 衛星を用いたドップラー航法

○松藤尚也，辻井利昭（大阪公立大学）

GPS はカーナビゲーションシステムやスマートフォンに搭載されるなど，私たちの生活に欠かせないものとなっている．GPS 衛星は，少ない衛星数で地球を覆うため，中軌道に配置されるよう設計されている．GPS 衛星からの信号は微弱であるため，木々の密集地や都市部で利用できない場合や，ジャミングと呼ばれる意図的な妨害行為の影響を受けることがある．この問題に対して，より強い信号を提供できる LEO 衛星を測位に用いる手法が提案されている．

本研究では，LEO 衛星により得られるドップラー周波数を観測量として，静止状態にある受信機位置の測位可能性，測定誤差や衛星配置が受信機の測位誤差に与える影響について，シミュレーションにより検討を行う．また，Orbcomm に着目し，実 LEO 衛星信号の取得についても検討する．

S1-2 アレーアンテナによる GNSS スプーフィングの方向推定及び低減に関する研究

○米山まうむ，辻井利昭（大阪公立大学）

衛星測位は航空機の運航や空飛ぶ車，車両の自動運転といった信頼性の極めて重要な場面での利用拡大が予想される．しかしながら，GNSS はその信号の仕様が公開されているために，信号の乗っ取り（スプーフィング）に対する脆弱性が指摘されている．本研究ではアレーアンテナを利用して，スプーフィングの到来方向の推定及びその抑制を目指している．到来方向の推定には MUSIC 法を利用しており，本発表ではスプーフィングに対して Nullspace Projection の処理を施した信号について，到来方向推定及び測位演算を行った結果について示す．

S1-3 複数の GNSS 解析ソフトウェアから求めた対流圏遅延量推定の比較と評価

○中川豊，東野武史，岡田実（奈良先端科学技術大学院大学）

GNSS 衛星からの電波が対流圏を通過することにより発生する伝搬遅延は，対流圏遅延として測位の際の誤差要因として扱われる．逆に，観測点の座標が正確に測定されている場合は，対流圏による遅延量を正確に見積もることができ，大気中の水蒸気の指標として気象予測に応用されている．対流圏遅延は近年頻発傾向にある豪雨災害に対して，防災面からも期

待されている。

GNSS 解析ソフトウェアではより正確な衛星測位が求められるが、本稿では対流圏遅延量に注目し、複数の学術用 GNSS 解析ソフトウェアから求められた対流圏遅延量の性能を調査し、比較と評価を行った。

S1-4 積雪地帯における GNSS 電波を用いた積雪特性の推定

○入江修平，横山諒，久保幸弘（立命館大学），吉原貴之（電子航法研究所），
本吉弘岐（防災科研 雪氷防災研究センター）

日本は世界的にみても積雪が多い地域である。こういった積雪地帯では、雪崩や融雪による地滑り、積雪による家屋の倒壊などの雪害を引き起こす場合がある。これらの雪害は積雪深や積雪密度、積雪水量、積雪内含水率などの積雪特性の変化によって生じる。したがって、さまざまな積雪特性の変化を連続的に観測することが雪害の事前予測や減災につながる。本研究では、積雪面上および積雪底面にそれぞれ設置した GNSS アンテナにより受信された衛星信号から搬送波位相観測量と受信強度を利用して受信機近傍の積雪特性を連続的に推定する手法を検討する。

特別講演 座長：辻井利昭（大阪公立大学）

「空の移動革命への挑戦 ～日本発 空飛ぶクルマと物流ドローンの開発～」

岸信夫（株式会社 SkyDrive 取締役 CTO）

株式会社 SkyDrive は「100 年に一度のモビリティ革命を牽引する」をミッションに、「日常の移動に空を活用する」未来を実現するべく、「空飛ぶクルマ」及び「物流ドローン」を開発しています。「空飛ぶクルマ SKYDRIVE」は、2025 年大阪・関西万博での運航を目指しています。「物流ドローン」は、山間部の作業現場での活用により、重労働負荷を減らし、働き方改革へ貢献していきます。空を日常的に活用するため、我々の目指していく未来をお話しします。また、空飛ぶクルマやドローンに対する GNSS システムへの期待や技術的な課題も合わせてお話しします。

Session2 座長：小矢美晴（神戸市立工業高等専門学校）

S2-1 観測行列に基づくプロセスノイズの分散設定を用いた GNSS/INS 測位の精度評価

○高山洋史（古野電気），浦久保孝光（神戸大学）

拡張カルマンフィルタの性能は、パラメータの一つであるプロセスノイズの共分散行列の設定値に依存する。状態変数の動特性をモデル化して設定値を見積もるが、常に正確な値を見積もることは難しく、推定誤差共分散行列が過小になることを避けるため保守的に大きめ

の値を設定することが多い。我々は、観測行列が複雑に時間変化する状況で、この保守的な設定による性能劣化の可能性を指摘し、観測行列に基づくプロセスノイズの共分散行列設定法を提案している。この提案法は、プロセスノイズの共分散行列の増分を考えて、その増分を観測行列の行空間とそれに直交する零空間に対応する成分に分離し、観測残差二乗和の期待値を最小化するように行空間に対応する成分のみを決定して設定する方法である。これまでの研究で、自動車を対象とした GNSS/INS 測位に提案法を適用し、観測行列が複雑に時間変化する都市部を想定した原理確認のための数値シミュレーションや簡易実験によりその効果を確認してきた。本発表では、GNSS/INS 測位における提案法の実用を想定し、走行実験により測位精度を評価した結果を報告する。実際の都市部やオープンスカイ環境など様々な周辺環境を含む状況での実データを用いて、提案法の有効性を確認する。

S2-2 分散型カルマンフィルタの推定誤差解析

○佐藤祐樹，鷹羽浄嗣（立命館大学）

サンプル点間に合意アルゴリズムを組込んだ分散型カルマンフィルタについて考察する。この手法では、サンプル周期の間に合意アルゴリズムが収束することを仮定しているが、実際には合意誤差が残ることは避けられない。本研究では、合意誤差を陽に考慮した推定誤差の解析を行い、合意誤差により状態推定値の不偏性が損なわれることを示す。加えて、合意誤差を含んだ場合の推定誤差共分散の更新式を示し、合意回数の増加により集中型の誤差共分散に収束することを示す。さらに、合意誤差に起因するバイアスを除去した修正型分散カルマンフィルタを提案し、その推定値が不偏性を回復していることを示す。

S2-3 色差と明度を考慮したドローン空撮画像からの安全な着陸地点検出

○高千代紗都子，菊本智寛，浦久保孝光（神戸大学）

近年、ドローンによる物資運搬や情報収集に期待が高まるにつれて、緊急着陸等のため未知環境での自動着陸技術の必要性が増している。我々は、高度 100m からの空撮画像を用いて、地表クラス（土や芝などの地表の種類）、地表形状（地表の高低差、起伏）の 2 つの情報を取得し、撮影された地表画像内の各ピクセルの安全性を評価することを提案してきた。これに加えて、画像の各ピクセル周辺の色差によって障害物の有無を推定するとともに、明度によって情報量が少ないピクセルを除外することができると考えられる。本研究では、線形 SVM を用いて、色差および明度を用いて着陸に安全と推定されるピクセルを分類する学習器を導入する。さらに、地表クラス、地表形状、色差、明度の情報をもとに、これらを統合して着陸可能領域を抽出し、その領域内で最も安全と考えられる場所を着陸地点として決定する手法を提案する。また、提案手法をいくつかの空撮画像に適用し、その有効性を検証する。

S2-4 オルソ画像を活用したコンクリート構造物のひび割れ検知システムにおける

超解像処理の効果検証

○亀山智仁, 小見大騎, 吉田大介 (大阪公立大学)

近年, 社会インフラの老朽化が問題となっている. この問題に対して維持管理の現場では, 施設管理者による目視点検が行われている. しかし, 時間や人材の不足などが課題とされており, より効率化した維持管理手法が求められている. 本研究では, コンクリート構造物の点検項目の一つであるひび割れに焦点を当て, 小型汎用ドローンの空撮画像からオルソ画像を作成してひび割れ点検を行うシステムの性能向上を目的とする. このシステムの導入により効率化には成功すると考えられる一方で, ひび割れ検知の精度には改善の余地が見られる. 原因としては, 小型汎用ドローンの空撮画像から作成したオルソ画像の解像度の低さが考えられる. これに対して本研究では, オルソ画像をひび割れ検知システムに入力する前に超解像処理を施し, ひび割れ検知に与える影響を正解率と検知率の観点から評価する.

Session3 座長: 坂井丈泰 (電子航法研究所)

S3-1 GNSS-SDR を利用した人材育成に関する取り組みにおける進捗状況と成果について

○尾関友啓, 久保信明 (東京海洋大学), 海老沼拓史 (中部大学), 鈴木太郎 (千葉工業大学)

GNSS-SDR は信号追尾時におけるスプーフィング対策, マルチパス信号の除去に代表されるような, 現状解決されていない課題に取り組むための良いツールである. 第4回研究発表講演会にて紹介した「GNSS-SDR を利用した人材育成に関する取り組みについて」では, 2022年度に実施したSDRセミナーの実施状況, そしてその後に受講者が自ら取り組む発展的課題について報告したが, 今回は受講後における研究発表や論文といった成果や進捗状況を中心に紹介する.

S3-2 ソフトウェア無線を活用した月測位送受信機の開発と検証

○海老沼拓史, 曾布川璃音, 仁枝魁斗 (中部大学)

JAXA の LNSS (Lunar Navigation Satellite System) を始め, NASA の LunaNet や ESA の MoonLight など, 将来の月探査ミッションでの基盤技術となる測位衛星システムの研究開発が進められている. 福井大学, 東京大学, 中部大学は, 共同で超小型衛星を活用した月測位衛星システムの開発に取り組んでおり, 中部大学では測位送受信機の開発を担当している. 月測位信号の中心周波数や変調方式などは, NASA や ESA を中心に相互運用性を確保する方向で調整中であり, まだ詳細な仕様は確定していない. そこで, このような流動的な仕様にも対応可能なように, 月測位送受信機のアーキテクチャとして, 再構築可能な無線機を実現するソフトウェア無線 (SDR) を採用している. 衛星に搭載される月測位送信機の主要な機能は, MATLAB/Simulink によるモデルベースデザインで開発し, HDL Coder を利用した FPGA への実装を試みた. さらに, 月測位受信機の測位精度の検証のために, SDR を利

用した月測位信号シミュレータを開発した。本発表では、これら SDR を活用した月測位送受信機の開発と、測位性能の検証結果について報告する。

S3-3 船用 GNSS 受信機への妨害信号入力の実験と軽減対策について

○奥富雄司，久保信明（東京海洋大学）

船舶の安全運航において GNSS 受信機が果たす役割は大きく、ほとんどの船舶にとって装備が義務付けられている。しかし、衛星からの電力は微弱であり、他からの妨害電波を受ければ GNSS 受信機は測位不能となる恐れがある。また、偽の衛星信号（スプーフィング信号）が照射された場合は、船舶の位置が誤った場所に表示され、衝突や座礁のリスクを増大させる恐れがある。本研究ではこうした影響を軽減することを目的として、一般的な船舶が装備している GPS 受信機が妨害信号を受けた場合の挙動を調査し、結果を報告する。

S3-4 相対測位を応用した NLOS 衛星の検出

○林龍我，大久保亮志，久保幸弘（立命館大学）

近年、位置情報システムは様々なサービスに利用され、注目を集めている。その中でも、現在開発が進められている自動運転技術に関しては高精度な測位が必要となる。自動運転技術やその他のサービスで利用される位置測位システムの利用数は人口の集中する都市部で他地域と比較して多い傾向にある。しかし、測位衛星を利用した位置測位システムでは都市部における高層ビルなどの影響で測位精度が低下してしまうという課題がある。この原因は高層ビルなどの影響により、NLOS(Non-Line-Of-Sight)衛星が生じてしまうからである。直接波を受信することができず、反射波もしくは回折波のみを受信した衛星からのデータは測位結果に悪影響を与え得るものとなる。そこで本研究では、アンテナを二台利用した相対測位によって NLOS 衛星の検出・排除を行うことにより、測位精度の向上を目指す。検出方法として、二つのアンテナを車両の前後に設置して相対測位を行い、算出されたアンテナ間距離と事前に計測したアンテナ間距離との比較を行う。観測衛星内に NLOS 衛星が含まれている場合、測位精度が低下するため、実際の距離との間に差異が生じる。このとき、衛星の除外と測位演算を繰り返し行い、NLOS 衛星を特定する。さらに、NLOS 衛星であると考えられる衛星の排除を行うことで、測位精度の向上が可能であると考えられる。

Session4 座長：久保幸弘(立命館大学)

S4-1 新しい飛行船

○武藤康正（飛行体空間協議会），一色浩（数理解析研究所）

S4-2 SBAS の信号認証機能とサンプルメッセージ

○坂井丈泰（電子航法研究所）

GNSS 補強システム SBAS はリアルタイムかつ完全性を備えた航法を提供するもので、従前の L1 SBAS (日本では MSAS) に加えて、最近は二周波数及び複数コアシステムに対応した L5 SBAS が規格化されたところである。SBAS にはさらに信号認証機能を追加する検討が進められており、リアルタイムに送信者を認証できるメッセージ形式が提案されている。この認証メッセージの概要を述べるとともに、プロトタイプシステムを開発してサンプルメッセージを作成したので報告する。

S4-3 参照アーキテクチャーによる工学体系化と衛星測位システムへの応用

○浅里幸起(宇宙システム開発利用推進機構), 永島敬一郎(東京海上日動火災保険株式会社)

現代の工学システムとそのアプリケーションは、相互に異なる分野の技術を巻き込みながら、ますます複雑化しており、最適化するための難易度が高くなっている。この問題を解決すると期待されている方法に、参照アーキテクチャーがある。

参照アーキテクチャーは、システムの最上位設計において、工学分野の垣根を越えて共通のフレームワークを提供することを目指しており、異なる技術間の相互運用性を確保し、より高度なシステムを合理的に抜けや過剰がなく完全に構築することを意図したものである。

現在、参照アーキテクチャーは、情報システム、生産システム、電力システム、IoT その他で国際標準が策定され、その活用が推進されている。人工知能の発達とともに、その有効性がますます認識され、国際標準規格の開発が進められている。

宇宙システム分野では、2000 年代に米国の NASA ジェット推進研究所(JPL)と日本の宇宙航空研究開発機構(JAXA)が中心となり、宇宙データシステム諮問委員会(CCSDS)と国際標準化機構(ISO) TC 20/SC 13 委員会にて推進され、2010 年に宇宙データシステムを用途として ISO 13573 RASDS: Reference Architecture for Space Data Systems が発行された。

RASDS は、宇宙システムに関連する現在はこれを一般のシステムに拡張する RASDS++ の研究開発が行われている。本研究は、参照アーキテクチャーを衛星測位システムに適用し、その活用を図るため、その構造や意味、メリット等を検討するものである。