

## 第 7 回研究発表講演会 アブストラクト集

### Session1

#### S1-1 NLOS 検知と Factor Graph 最適化を用いた測位精度向上に関する研究

○谷村晴生, 辻井利昭 (大阪公立大学)

都市部では、ビル等からの GNSS 反射波を受信することで測位精度が低下するという課題がある。本研究では、反射波のみを受信している NLOS を検知し、測位演算から除外した。これにより、反射波に起因する測位解の大きなずれを解消することができた。また、更なる精度向上や安定した測位を目指し、Factor Graph 最適化を用いた GNSS/IMU 複合を実装した。これにより、ばらつきの少ない滑らかな測位解を得ることができた。以上 2 つの手法を用いることで、高精度で安定した測位が実現できると考える。

#### S1-2 市街地における意図しないジャミングに対するアレイアンテナを用いた対処手法の検討

○森貫喬, 辻井利昭 (大阪公立大学)

GNSS は、衛星から地上へ届く信号が極めて微弱であるため、妨害波に対して脆弱であるという根本的な課題を抱えている。妨害波の代表例としてジャミングやスプーフィングが挙げられるが、特にジャミングは意図的なものだけでなく、様々な電子機器等から偶発的に放射される意図しないジャミングも多く存在する。

実際に、大阪公立大学中百舌鳥キャンパスでは、見通しの良いオープンスカイ環境にもかかわらず、GNSS の受信状況が異なる地点が確認されている。これらの地点は距離が大きく離れていないこともあり、周辺環境に由来する意図しないジャミングの存在を示唆しており、同様の状況は日本の市街地の至る所で発生していると考えられる。

このように、GNSS が社会インフラとして広く利用される現在、その耐ジャミング性能を向上させることは、多くのユーザーの安全・安心な日常生活を支える上で極めて重要な課題である。

そこで、こうした意図しないジャミングが存在する環境において、アレイアンテナを用いた CRPA (Controlled Reception Pattern Antenna) 技術を適用し、妨害波の影響を効果的に排除することが可能かどうか、現在も検討を進めている。本発表では、その概要を報告する。

#### S1-3 GNSS 測位における MADOCA-PPP の収束速度向上手法に関する一考察

○東奥航志郎, 桑原大空, 久保幸弘 (立命館大学)

GNSS (全球測位衛星システム) は人工衛星からの電波を利用した測位システムであり、

GPS や QZSS などが代表的である。航法支援や測量、カーナビなど幅広く利用され、半世紀にわたり発展してきた。測位方法には相対測位や単独測位、精密単独測位 (PPP) があり、特に PPP は数 cm~数十 cm の精度を低コストで得られることから注目されている。日本の QZSS は MADOCA-PPP により衛星関連の誤差補正を提供しているが、電離層・対流圏遅延の補正は含まれず、受信機側で推定が必要となる。そのため水平方向 30cm 精度を達成するには収束に約 30 分を要する点が課題である。従来の PPP では受信機位置や時計誤差、整数値バイアス、電離層遅延、対流圏遅延を同時にカルマンフィルタで推定していたため収束が遅い。本研究では推定を二段階に分け、まず電離層フリー線形結合で位置や時計誤差、バイアス結合、対流圏遅延初期値を推定し、その結果を基に電離層・対流圏遅延を求める (KF1)。次にこれを用いて再度位置や時計誤差を推定 (KF2) し、両者を交互に繰り返す。これにより一度に推定すべき未知量を減らし、MADOCA-PPP を用いた PPP における収束の高速化が期待できる。

## Session2

### S2-1 観測点の既知および未知の場合の対流圏遅延の推定精度の評価

○中川豊，東野武史，岡田実（奈良先端科学技術大学院大学）

GNSS 測位では対流圏遅延等が観測点の位置と同時に推定され、対流圏遅延は測位や気象予測の信頼性向上に欠かせない。観測点の既知と未知の場合で対流圏遅延の推定精度に定量的な相違が見込まれる。本研究では、国土地理院の解析値を真値とし、対流圏遅延の位置が既知と未知の場合の対流圏遅延の推定精度を比較し評価する。位置が既知の場合は対流圏遅延モデルの妥当性を確認でき、対流圏遅延の精度向上が期待され、気象予測等災害対策や科学研究への貢献が可能になり得る。このアプローチは、測位および気象予測等地球環境の理解を深めるための一歩と考えられる。

### S2-2 仰角フィルタリングを導入した GNSS 天頂全遅延の降雨前増加速度の評価

○近藤大和，小野安季良（香川高等専門学校）

GNSS の精密測位の計算過程で得られる天頂全遅延 (ZTD: Zenith Total Delay) は、大気中の水蒸気量と相関があるため、降雨予兆のモニタとして使用できる。従来は観測地点から見て可能な限り広範囲の方位と仰角から到来する衛星の受信信号を用いて拡張カルマンフィルタによって逐次的に ZTD を更新していた。その結果、全仰角の観測情報が ZTD 算出に反映されるため、局所的な空間に集中する水蒸気の検知には不向きであった。特に、予測に用いる場合には高仰角域の遅延が現れる前に、高仰角域を除いた衛星信号から局所的な水蒸気増加を検知する必要がある。そこで、本研究では、あらかじめ定めた仰角範囲内の衛星の受信信号のみを用いて ZTD を算出し、降雨前の時間変化率を評価することで、仰角範囲指定と降雨の関係を調査した。

## S2-3 GNSS-SAR 画像化に向けたシミュレーション検討

○北村章人，辻井利昭（大阪公立大学）

本研究の目的は，GNSS 散乱波を用いた高分解能な地球観測を実現する GNSS-SAR 画像化技術の信号処理アルゴリズムを開発し，その有効性をシミュレーションにより検証することである．GNSS-SAR が有する微弱な信号強度，複雑なバイスタティック観測ジオメトリ，航法メッセージによる干渉という課題に対し，レンジ・ドップラー法を基盤とした画像化アルゴリズムを構築した．理想的な環境と，ノイズ等を加えた実環境を模した 2 段階のシミュレーションにより，提案手法が，困難な条件下でも頑健に機能することを確認した．本研究はアルゴリズムの基本的な有効性を実証し，今後の実データ検証への基盤を提供するものである．

## 特別講演

「LocationMind 株式会社の信号認証技術について ～日本の衛星測位の安心・安全を目指して～」

千野孝一氏（LocationMind 株式会社 R&D Division）

LocationMind 株式会社は 2019 年 2 月創業設立 6 年半のスタートアップカンパニーです．事業領域は『宇宙 x A I』です．会社のコアコンピタンスである宇宙に関する知財を有しており，その日本国 特許第 5400529(登録 2013 年 11 月 1 日)【筆頭発明者：千野孝一】は日本の準天頂衛星 Q Z S S（みちびき）に搭載の信号認証技術(SAT:Signal Authentication Technology)に採用されています．

その知財で開示した「秘匿された暗号コードを用いた位置情報認証方法および位置情報認証システム」についてご説明致します．

世の中で当たり前になっているインフラの一つである位置情報は現在社会生活に欠かせない技術バックボーンです．位置情報はアメリカ G P S に代表される世界各国で運用している GNSS(Global Navigation Satellite System)による測位衛星からの測位信号によって現在位置が瞬時に決まりますが，ICD(Interface Control Document)により仕様がオープンの為，改ざん・なりすましと言った脆弱性が叫ばれています．

我々が提唱する[位置情報認証技術]は測位信号の安心・安全を担保するための技術です．[位置情報認証技術]は媒体が GNSS 衛星に限らず，インターネットでも，LEO 衛星でも，通信インフラでも適用が可能です．その技術的に肝となる暗号技術・公開鍵技術・ナビゲーションコードへの電子透かし技術をご紹介します．

さらに，本技術を ISO 国際標準化活動に寄与すべく，千野は ISO TC20(航空宇宙) SC14(宇宙システムと運用) WG8(宇宙利用サービス)のエキスパートとして活動を行っています．

## Session3

### S3-1 カルマンフィルタを用いた UWB 屋内動的測位の精度評価

○原田知幸, 東野武史, 岡田実 (奈良先端科学技術大学院大学)

到着時間差(TDoA)を計測可能な UWB (Ultra WideBand)モジュールは, 消費電力の観点から有望視されている. このような短距離無線を用いた Realtime location system (RTLS)では, 位置が既知のアンカーから送信した信号の時刻と位置が未知のタグが受信した時刻との差などを用いて位置を推定する. 観測した距離から位置を同定する方法として, 誤差関数の微分にもとづくガウス・ニュートン法をはじめ, 静的測位を滑らかにつなぐスモーキングフィルタ, 動的測位を目的とした拡張カルマンフィルタ(EKF)や UKF などが提案されている. 様々な測位処理方式がこれまでに提案されているが, 平面上の誤差評価や高さ方向を固定した評価しか行われていない. 特に屋内空間においてアンカー配置を検討する際, 水平方向にアンカー間距離を広げることで容易に感度を高められるが, 天井高など制約のある高さ方向には容易に感度を高めることができない. そこで本稿では, 高さ方向のアンカー配置と感度に着目し, これまでに提案された測位方法の精度を比較したので報告する.

### S3-2 LoRa 通信における RSSI を利用した測位に関する検討

手塚壮哉, ○Muyuan Yang, 久保幸弘 (立命館大学)

屋内測位や建物周辺での測位には, 従来から Wi-Fi や Bluetooth Low Energy (BLE) を利用した研究が数多く報告されている. 本研究では, Wi-Fi よりも格段に長距離伝搬が可能であり, かつ BLE のような低消費電力性を備えた無線通信技術「LoRa」に着目した. LoRa の受信信号強度 (RSSI) と距離の関係式を用いて三点測位により位置を推定し, GNSS 測位との比較実験を行った. その結果, 屋外環境において約 50 m の精度で測位が可能であることを確認した. 今後は RSSI の他に, TDOA を利用した手法や GNSS と LoRa を組み合わせた複合測位技術の確立により, より広範囲かつ高精度な測位の実現を目指す.

### S3-3 ラズベリーパイで実現するソフトウェア月測位受信機

○海老沼拓史, 曾布川璃音 (中部大学)

LunaNet は, 月面およびその周辺空間における探査活動を支援することを目的として提案された, 次世代の通信・航法ネットワークである. LunaNet における主要なサービスのひとつが LANS (LunaNet Augmented Navigation System) による衛星測位であり, LANS が用いる代表的な測位信号が AFS (Augmented Forward Signal) である. 中部大学では, 将来の月面における利用実証に向けて, LANS AFS の受信機を開発中である. 2025 年 2 月に LANS AFS の仕様書の初版が公開されたが, まだ多くの項目が検討中のため未定となっている. そ



こで、本研究では、今後の仕様書の改訂に柔軟に対応できるよう、LANS AFS 受信機の実装にはソフトウェア無線を採用した。さらに、将来的な実証実験に向け、組み込みシステムとして実装可能なラズベリーパイでリアルタイムに動作する LANS AFS 受信機を実現している。

#### S3-4 衛星航法及び宇宙利用産業の国際ルール形成に関する研究

齋藤雅行，○浅里幸起（宇宙システム開発利用推進機構）

衛星航法（GNSS）は、交通・物流・防災・農業など多様な分野で社会基盤を支える不可欠なインフラであり、日本においては準天頂衛星システム「みちびき」を中心とする高精度測位サービスの高度化が進んでいる。本研究は、日本の産官学の戦略として、衛星航法分野における国際ルール形成の重要性を明らかにし、その実践例を示すものである。具体的には、測位精度や信号認証の国際的整合、GNSS への要求事項、宇宙天気やサイバーリスクへの対応といった安全・信頼性の確保策を検討する。また、衛星航法サービスの利用拡大は、宇宙利用産業の成長を促進し、衛星データ解析や位置情報を活用した新産業創出につながるため、国際標準化機関（ISO/IEC/ITU 等）や国際的な政策協議の場をリードする役割が不可欠である。本研究では、特に IEC61108-8 を基軸に国際標準化活動や各国制度動向を分析し、日本の産官学の戦略としてルール形成に積極的に関与する道筋を示すことで、衛星航法などの宇宙インフラを核とした産業競争力強化と国際的地位向上に資する方向性について述べる。