

第 6 回研究発表講演会 アブストラクト集

Session1

S1-1 LEO-PNT における都市部での低軌道衛星の可視性に関する考察

○高山洋史（古野電気），浦久保孝光（神戸大学大学院）

GNSS の代替技術または補完技術として，低軌道(LEO)衛星からの信号を用いた測位技術である LEO-PNT に関する研究開発が加速している。LEO-PNT では，中軌道以遠に位置する衛星を利用する GNSS とは異なり，軌道高度約 1,000km の低軌道に位置する衛星の信号から擬似距離やドップラ周波数を観測し，三角測量による測位やドップラ測位を行う。昨今の低軌道衛星の特徴として，Space X 社の Starlink に代表されるように低軌道衛星の数の多さとその動きの速さが挙げられる。本発表では，都市部での低軌道衛星の地上からの可視性について考察した結果を報告する。LEO-PNT の測位精度は，GNSS と同様に地上から見た衛星の幾何学的配置や可視衛星数に依存する。コンステレーションをなす衛星の数の多さから幾何学的配置の強化や可視衛星数の向上が期待される一方で，地球に近接した軌道を通るため地上から見た低軌道衛星の多くが低仰角に位置する傾向にあることを指摘する。特に都市部では，低仰角に位置する衛星までの視線が構造物により遮蔽されるため，可視衛星数は想定以上に少なくなることが懸念される。シミュレーションにより都市部での構造物による視線の遮蔽を再現し，実際に 6,000 機以上で構成される Starlink の可視衛星の数が GNSS/RNSS の可視衛星の数より少なくなる事例を紹介する。

S1-2 GNSS 反射法を用いた地表面特性推定と信号処理手法の改善

○北村章人，辻井利昭（大阪公立大学）

GNSS 反射法とは地表面や海面から反射した GNSS 信号を計測するリモートセンシング手法である。GNSS 衛星を利用するため，高い可用性と簡易性が利点として挙げられるが，地表に届くまでに GNSS 信号が減衰されてしまい，特に反射信号は直接信号と比べて非常に微弱であるという問題点がある。そこで本研究では，両円偏波アンテナを用いて取得した微弱な直接信号と反射信号に対して非コヒーレント積算処理を行い，さらに反射信号をアンプにより増幅させることで反射点における電力反射率と非誘電率を求めた。性質の異なる 4 地点における実験で得られた値を文献値と比較したが，一部表面では値が大きく異なっていた。そこで，実験環境の見直しや信号処理手法の改善を行い，より高い精度で地表面の特性を推定する手法の確立を目指している。具体的には，2bitIQ で行っていた処理を 4bitIQ で行うことでデジタル信号への正確な変換を試みている。

S1-3 LTE 信号による GNSS への電波干渉が引き起こす測位精度劣化現象の検証と報告

○東奥航志郎, 桑原大空, 梅村郁仁, 久保幸弘 (立命館大学)

著者らの研究室では, 立命館大学びわこ・くさつキャンパスの7階建て建物屋上において RTK 基準局を運用し, 学内ネットワークを介して, 学内の研究者が自由に活用できる環境を整えている. この基準局において, 明らかに捕捉衛星数の減少, FIX しない, さらには単純な単独測位の精度も安定しない状況が続いていた. この原因として, 基準局アンテナの近傍 (10m 程度) に開設された携帯電話基地局の LTE (1.5GHz 帯) 信号による干渉が考えられる. 対策としては, アッテネータの挿入, フィルタの挿入, 耐干渉性に優れたアンテナの使用等が報告された事例がある. 本報告では, 耐干渉性に優れたアンテナを使用する効果について調査し, 携帯電話基地局から 10m という至近距離であっても大きな効果が期待できることを実例により報告する.

Session2

S2-1 既知の基線解析に基づく NLOS 検出と移動体測位への応用

○林龍我, 久保幸弘 (立命館大学)

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. 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.

S2-2 機械学習による NLOS 検知モデルの構築と移動体測位への適用に向けた検討

○谷村晴生, 辻井利昭 (大阪公立大学)

ドローンの都市部での自律飛行の実現により配送等での活躍が期待される. しかし, 都市部では反射波によって測位精度が低下するという課題がある. また, ドローンは安価で小型の機器の搭載が望ましい. そこで本研究では, 機械学習を用いて反射波を検知, 除外することで, 安価で一般的な機器でも都市部における測位精度を向上させることを目的としている. 教師データ作成には両円偏波アンテナを用い, 機械学習による NLOS 検知モデルを作成した.

これを静止体単独測位に適用したところ、測位誤差の低減が確認できた。次に移動体への適用に向け、衛星と移動体の方位角に関する特徴量の導入やより逐次的な NLOS の除外を行うコードの作成を行った。これらにより、周囲の状況が刻々と変化する移動体の特徴を反映したモデルになると期待される。今後は、逐次的な NLOS の除外に適した測位演算処理の検討や、移動体データへの適用による誤差の評価等を行う。

S2-3 アンカー配置を考慮した UWB 無線測位とカルマンフィルタによる精度改善

原田知幸, 中村康一郎, 徳永凜, 〇東野武史, 岡田実 (奈良先端科学技術大学院大学)

近年、超広帯域(UWB)無線通信を用いた屋内位置測位システムが検討されている。このシステムは、主に飛行時間(ToF)や到着時間差(TDoA)を用いて行うが、特に後者は複数のアンカーを用意し、測位対象のタグとの間の距離差を観測する。また、端末間の時間同期を不要とするため、消費電力を抑える特徴を持つ。これまでに筆者らは、測位アルゴリズムとして空間上の誤差勾配を規範とするガウス・ニュートン(GN)法を使用し、出力にカルマンフィルタ(KF)を適用して測位解を安定させる方法を提案してきた。しかし、この手法では観測雑音を低減させる効果がないため、測位精度に限界が生じる。本稿では、アンカーの配置と誤差勾配の形状について考察し、TDoA による測位に有利なアンカー配置法を調べる。さらに、TDoA 観測誤差を低減するために、KF の適用を提案する。提案方式を、計算機シミュレーションと概念実証によって評価を行った。

S2-4 ミューオン測位システムの諸性質

〇浅里幸起, 齋藤雅行 (宇宙システム開発利用推進機構)

素粒子の一つであるミューオンは、物体を透過する性質を持っており、測位システムに応用すると、従来の測位技術では、電磁波を用いた測距が遮蔽により妨げられるという致命的な限界を超えて、屋内・市街地・山間地・地下・地中・海中等における測位利用の幅を広げられる可能性を持っている。ミューオン測位システムについては、我が国で発明され、既に実証的な研究成果が発表されている段階にある。この研究は、ミューオン測位システムの諸性質について統合的な視点から明らかにし、我が国業界での研究開発を促進することを目的としたものである。

Session3 オーガナイズドセッション ～ 『生成 AI の活用』

S3-1 生成 AI の仕組み

〇一色浩 (数理解析研究所)

生成 AI では、人と AI が自然言語で対話できる。このことにより、人と AI の関係が異次元に飛躍したと思われる。人類の発展にとてつもない寄与が期待できる。そのような能力を

秘めた，生成 AI の仕組みを分かり易く説明したい。

S3-2 生成 AI による文章の作成と処理

○一色浩（数理解析研究所）

生成 AI の基本は，文章生成，文章変換，文章翻訳などの文書処理能力であろう．生成 AI でどのような文章処理が可能になるかを，具体例を通して，丁寧に分かり易く解説する．

S3-3 生成 AI による図，詩文，音楽などの生成

○金谷宏（KDP）

生成 AI の意外性は，そのユニークな図作成，詩文作成，音楽作成などの能力にある．それにより，頭の中のイメージが人と AI との対話を通して具体化される．しかし，イメージ通りの作品を作り上げるためには，適切な対話が要求される．具体例を通して，対話の作法を示したい．

S3-4 生成 AI による飛行船の概念設計

○武藤康正（飛行体空間協議会）

現状の生成 AI の能力では詳細設計のレベルは難しいと思われるが，概念設計の段階では，工夫次第で，それなりに使えると思える．具体例を通して，生成 AI の有効性を示したいと思う．

特別講演

「月面基地建設への挑戦：土木工学・地盤工学が切り拓く宇宙開発」

小林泰三 氏（立命館大学工学部環境都市工学科教授）

漫画や SF で数多く語られてきた月面基地の建設が，いよいよ現実味を帯びてきています．そこでは，輸送機の離発着場，実験・居住棟，アクセス道路といったインフラ構築が求められますが，その実現には，地球上での建設プロセスと同様に，月面固有の環境や条件を理解するための測量や地盤調査が欠かせません．本講演では，現在開発中の月面地盤調査ロボットについて紹介するとともに，月面基地建設の実現に向けた技術開発の現状と課題，さらに将来に向けた展望を，土木工学・地盤工学の視点から探求します．

Session4

S4-1 統合測位受信機を搭載した自動車に対するスプーフィング実験の報告

○小林海斗, 久保信明, 鈴木翔 (東京海洋大学)

昨今 GNSS の Spoofing の脅威がますます増している。今回、時刻同期型 Spoofing に対して GNSS+IMU+車速センサーを搭載した移動中の自動車が影響を受けるかを実験した。時刻同期型 Spoofing とはライブの衛星と時刻が同期した Spoofing 攻撃のことでライブ信号を追尾している受信機を短時間で乗っ取ることができる。これを Siprent 社の機材を使用して行った。Spoofing 対象は統合測位受信機を搭載した移動中の自動車とした。対象受信機には ublox 社 F9R と Applanix 社 POSLVX125 を使用した。Spoofing シナリオは自動車の移動に合わせて約 15m ずらす設定とした。結果的に静止状態では成功した時刻同期型スプーフィングは移動中では F9R, POSLVX125 ともにスプーフィングを検知して騙されなかった。本発表ではこの実験方法や結果の考察を発表する。

S4-2 GNSS スプーフィング攻撃に対する GNSS/IMU 複合航法システムの脆弱性分析

○八杉尚樹, 辻井利昭 (大阪公立大学)

全地球測位衛星システム (GNSS) によって測定される位置、時刻情報はスマートフォン、自動車、船舶、航空機など多岐にわたる分野で利用されている。今後も GNSS の利用拡大が予測される中、外部からのスプーフィング (欺瞞信号) によって GNSS の精度と信頼性が脅かされる懸念は、技術の進歩に伴ってますます高まっている。著者は、スプーフィング対抗手法の研究のため、巧妙なコヒーレント攻撃が成功した実証データの取得を目的に実験を行った。攻撃対象の移動体はマルチコプターの FP29-10 (東京航空計器株式会社) を用いた。マルチコプターの運行用データの取得に加え、マルチコプターに GNSS 受信機と IMU センサを搭載し、スプーフィングの評価用データの取得も行った。本研究発表会では、GNSS 受信機や IMU の計測結果と GNSS/IMU 複合航法システムの計算結果についての分析を発表する。

S4-3 ソフトウェア GNSS 受信機による信号処理

○後藤啓輔, 久保信明 (東京海洋大学)

ソフトウェア GNSS 受信機 (GNSS-SDR) の紹介および GNSS-SDR を用いて移動体における DGNSS 測位を行った。擬似距離の出力における不正確さと多少マルチパスの影響を受けて水平方向で 10 m を超える誤差が散見されたが、ドップラ周波数による速度と擬似距離による位置との統合により誤差を数 m 程度にすることができた。しかし、最大の課題である搬送波位相の二重位相差が整数にならない問題があった。そこで、これまでのプログラムでは信号追尾の際に衛星のチャンネルごとに読み込む量を調節していたところ、同じ量だけ IF デー



タを読み込む方法にしてリアルタイムの受信機に近づけて搬送波位相を生成することにした。本発表では RTK 測位の結果も示す。今年度中の課題としては移動体でのデータでの RTK 測位、Galileo や BDS などの他の L1 帯に対応させる。