



GNSS 測位情報による大規模 Location-Based AR の高精度化の検討

Investigation of large-scale Location-Based AR using GNSS positioning information

渡辺 雄大¹⁾, セレスタ プラギャン¹⁾, 謝 淳⁴⁾, ジャン ヒョンドウ²⁾, 川村 洋平³⁾, 北原 格⁴⁾

Yudai Watanabe, Pragyan Shrestha, Xie Chun, Hyongdoo Jang, Yohei Kawamura, and Itaru Kitahara

1) 筑波大学 大学院システム情報工学研究群 (〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1,

{watanabe.yudai, shrestha.pragyan}@image.iit.tsukuba.ac.jp)

2) MINARVIS Pty. Ltd. (tom@minarvis.com)

3) 北海道大学 (〒 060-0808 北海道札幌市北区北 8 条西 5 丁目, kawamura@eng.hokudai.ac.jp)

4) 筑波大学 計算科学研究センター (〒 305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1, {xiechun, kitahara}@ccs.tsukuba.ac.jp)

概要: バーチャル物体を現実空間に 3 次元的に重畳提示可能という AR (Augmented Reality) の特長を活用した作業支援システムに関する研究開発が活発に行われている。特に、観察位置姿勢に応じて適切な情報を選択して提示する Location-Based AR に注目が集まっている。AR デバイスの位置姿勢推定は Location-Based AR の基盤となる重要な処理であるが、採掘現場のように” 広大 “で、” シーン中に画像特徴量となるような物体が乏しく、” 時間の経過に伴いシーン形状が変化する ” 空間では、従来の AR で採用されている、事前に計測した点群データに基づいて位置姿勢を推定する VPS (Visual Positioning System)、画像特徴点に基づくカメラキャリブレーション、ビジュアルマーカなどによる位置姿勢推定が困難である。本研究では、GNSS 測位情報によって AR デバイスの位置姿勢を定期的に補正することにより、その位置情報を高精度化する手法について検討する。

キーワード: Augmented Reality, Location-Based AR, GNSS, デジタルツイン

1. はじめに

拡張現実 (Augmented Reality, AR) 技術は、コンピュータの処理能力の向上、5G をはじめとする高速通信インフラの整備、AR デバイスの価格低下といった要因を背景に、社会的認知度の高まりとともに、様々なシーンで活用されつつある [1][2]。例えば、建築・土木分野での作業支援としては、作業効率や安全性の向上を目的として、AR 技術による設計図面の 3 次元可視化や作業手順の表示、施工管理や配管・配線の可視化などが実現されている [3]。また、製造業の分野では、組み立て作業支援や品質検査、メンテナンス作業への応用が拡大している [4]。本研究では、AR 技術の新たな導入シーンとして採掘現場に着目した。採掘現場関係者へのインタビューを通じて、現場で求められる機能 (AR 提示) を調査した結果、以下に述べる三つの応用ケースがあることが確認された。

一つ目は、地下に埋蔵されている鉱物の可視化である。掘削前に地中の鉱物分布を半透明表示により確認することで、効率的な採掘計画の立案を支援する機能である。二つ目は爆破穴の位置管理システムである。採掘作業では爆薬を埋設した箇所を正確に把握する必要があり、各爆破穴を ID 情報とともに AR 表示することで、安全性の向上と作業効率

の改善が期待される。三つ目は採掘現場の将来計画の可視化である。マネージャーが今後の採掘方針を検討する際に、ワイヤーフレームや 3D モデルを現場に重畳表示することで、より直感的で効果的な意思決定の支援が期待できる。図 1 にイメージ図を示す。

1.1 Location-Based AR の自己位置推定方法と採掘現場における課題

採掘現場のような特殊な環境において既存の AR 技術を適用するには、いくつかの問題が存在する。最も大きな課題は地形 (シーン形状) の変化である。採掘作業の進行 (時

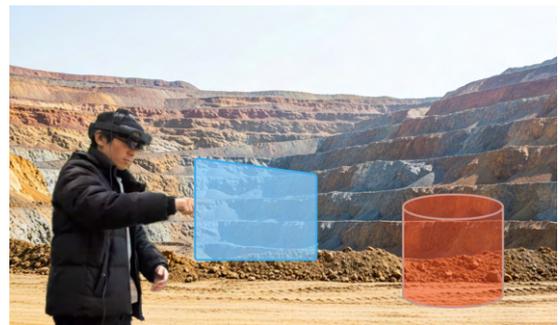


図 1: 屋外採掘現場でのシステム使用イメージ

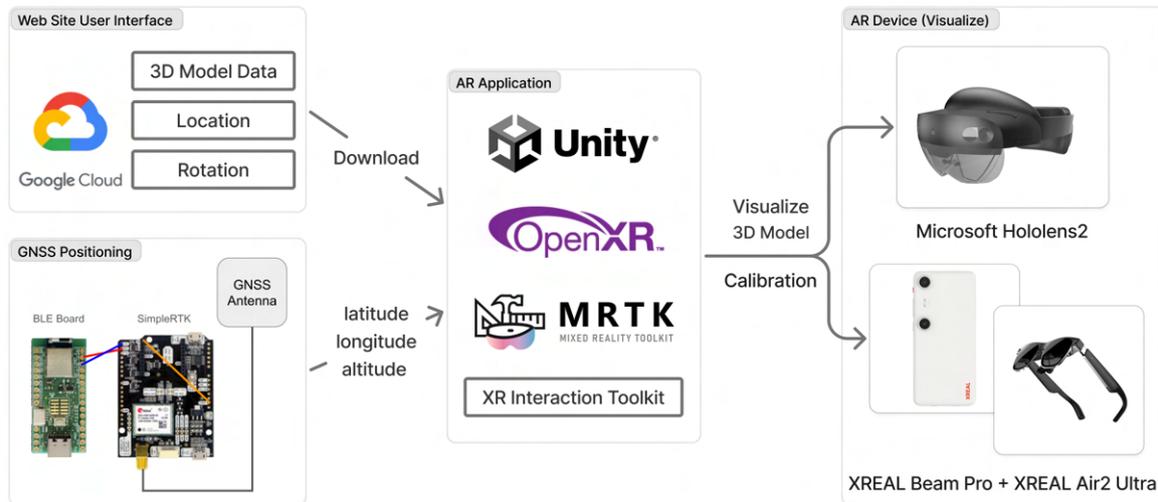


図 2: システム構成図。GNSS 測位情報とデバイスの位置姿勢情報を Unity 上で統合し、クラウド上のコンテンツを AR 表示するまで流れや使用機材・ライブラリ・通信内容の概要を示す。

間の経過)に伴い、現場の地形は変化するため、事前取得した画像や点群情報に基づく AR デバイスの位置姿勢推定は難しい。また、土砂や岩石が主体の鉱山現場では、視覚的な特徴点が乏しいため、画像ベースの位置推定が困難である。さらに、対象空間が広大であるため、ビジュアルマーカなどの利用も難しい。

VPS (Visual Positioning System) は事前に空間の点群データを詳細に取得し、カメラ画像との照合により高精度な位置推定を行う手法である。しかし、採掘現場への適用においては複数の問題が存在する。第一に、広大な採掘現場全体の詳細な点群データを取得・維持することは現実的でない。第二に、地形変化により事前取得データが継続的に無効化されるため、データの更新コストが膨大となる。第三に、リアルタイム処理に必要な計算リソースが大きく、モバイルデバイス単独での実装が困難である。

物理的なマーカを環境に配置する手法においても、実用上の課題が存在する。マーカの正確な位置・姿勢の計測と設置が必要であり、広大な採掘現場において精密な設置作業を行うことが困難である。また、マーカがカメラ視野から外れると位置推定精度が急激に低下するため、視野角制限による使用範囲の制約が生じる。さらに、屋外環境での長期間設置において、風雨や作業による破損リスクが高く、継続的なメンテナンスが必要となる。

2. 関連研究

神原ら [5] は、RTK-GPS と IMU (慣性航法装置) を組み合わせたハイブリッドセンサにより、屋外環境での AR システムを実装した。彼らの手法により、RTK-GPS による絶対位置情報と IMU による相対姿勢情報を統合することで、屋外環境での高精度な位置・姿勢推定を実現した。

Ling ら [6] は、RTK-GNSS と SLAM を組み合わせた屋外 AR システムを提案した。このシステムでは、RTK-GNSS によるセンチメートル精度の位置情報を AR デバイ

ス (HoloLens) に送信し、SLAM による相対位置推定と統合して AR コンテンツを描画する手法を採用している。システムは外部フレームワーク上に構成され、Multi RTK-GNSS ユニットを使用して最大 10Hz の位置出力を実現している。

Galvão ら [7] は、地理座標系と仮想 AR 座標系を正確に位置合わせするための包括的なフレームワークを開発した。この研究では、7パラメータ Helmert 変換を用いたキャリブレーション手法が提案され、50m 距離までの参照点を用いた精度評価が実施されている。

GNSS 測位情報を採掘分野に応用した事例として、石灰石採掘支援システムの実証実験が存在する [8]。住友セメント秋芳鉱山において、みちびきのセンチメートル級測位補強サービス (CLAS) を活用し、包括的な採掘支援システムが検証されている。

これらの既存研究と比較して、本研究には以下の特徴がある。第一に、採掘現場のような特殊環境への特化である。既存研究は主に都市部や一般的な屋外環境を対象としているが、本研究では画像特徴が少なく地形が継続的に変化する採掘現場という極めて困難な環境条件での適用を目指している。このような環境では、従来の VPS やマーカベース手法の導入が困難であり、GNSS 情報を用いる有用性があると考えている。第二に、定期的な GNSS 補正による動的精度維持機能である。従来研究では初期キャリブレーション後の精度劣化に対する対策が不十分であったが、本研究では定期的な GNSS 情報による補正を組み込んだハイブリッド手法により、SLAM の累積誤差や急激な精度低下を検出・修正する機能を提供している。

3. 高精度 GNSS 測位に基づく大規模 AR システム

1.1 で述べた課題を解決するため、本研究では RTK-GNSS (Real Time Kinematic Global Navigation Satellite System) によるセンチメートル精度測位を活用した大規模屋外空間における Location-Based AR システムを提案する。環



図 3: RTK-GNSS ベースステーション

境の視覚的特徴に依存せず、継続的に変化する大規模屋外環境において安定した AR 提示の実現を目的とする。

図 2 に、我々が提案するシステムの構成図を示す。まず、RTK-GNSS システムによって高精度位置情報を継続的に取得する。次に、取得された位置情報をリアルタイムで AR デバイスに送信する。受信した位置情報と内蔵 SLAM による相対位置推定を統合することで AR デバイスの位置と姿勢を推定する。最後に AR デバイスによって事前に位置を登録された AR コンテンツ（バーチャル物体）を提示する。

3.1 大規模 AR システムの実装

AR コンテンツを提示するデバイスは XREAL 社の XREAL Air2 Ultra を使用する。衛星測位システムの位置情報データ受信には u-blox 社製 RTK 受信用 IC「ZED-F9P」を搭載した「SimpleRTK」ボードを使用する。図 3 に、RTKGNSS におけるベースステーションを示す。ベースステーションとデバイスを装着するユーザの持つローバとの間で通信が行われ、より精度の高い位置情報が取得できる。取得した位置情報データは BLE(Bluetooth Low Energy) 通信を用いて XREAL Air2 Ultra 上のアプリケーションに送信する。

XREAL Air2 Ultra 上で起動するアプリケーションは AR 開発環境の Unity を用いて構築する。提示する AR コンテンツ（バーチャル物体）の制作には、ライブラリとして MRTK[9] と XR Interaction toolkit[10] を使用して制作する。これらのライブラリは、マルチプラットフォームに対応しているため、OpenXR に対応の Hololens2 等のデバイスでもアプリケーションを動かすことができる。

図 4 に AR デバイス上に作業支援コンテンツを表示する処理フローを示す。コンテンツの重畳は、Unity 上で 3D モデル（バーチャル物体）を配置することによって実現するため、GNSS で測位した経緯度座標を Unity の平面直角座標系の座標に変換する。次に、表示する 3D オブジェクトとユーザ間の相対位置を計算し、剛体変換を施した後、AR デバイスで提示する。

図 5 に、本提案手法を実装した AR アプリケーションを

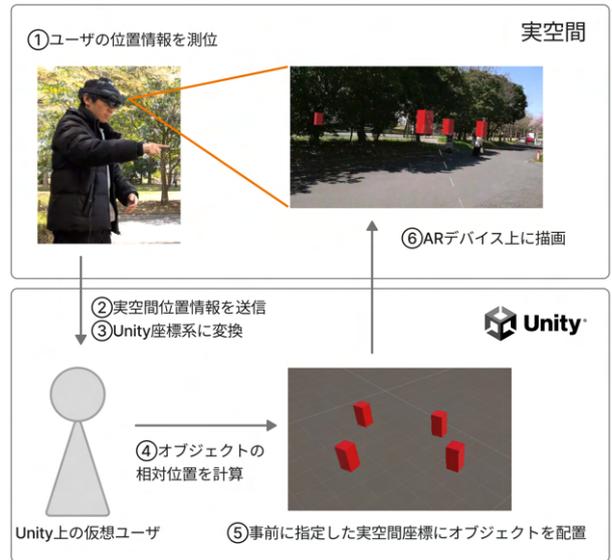


図 4: Unity 上の座標系・実空間の座標系間の変換

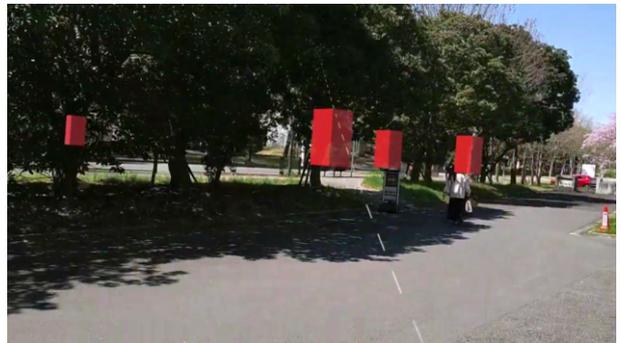


図 5: AR デバイスから見える映像

用いて、指定地点に AR オブジェクトを配置した様子を示す。今回、座標の指定は地理院地図（電子国土 WEB）を利用し、4 点の座標を取得し、その地点に赤い直方体を表示している。オクルージョンの機能がないため手前に浮かび上がって見えてしまっているが概ね事前に設定した位置に表示されたことが確認できた。厳密にセンチメートル単位の誤差までは行っていないため、今後の評価実験では実空間上にマーカとなるものを配置し、GNSS 測位情報のみを用いたマーカとの位置情報のズレから精度を定量的に評価する予定だ。

4. 位置情報の高精度化の検討

GNSS 測位情報のみを使用する場合、二つの重要な技術的課題が存在する。第一の課題は回転情報の欠如である。GNSS では位置情報（緯度，経度）は高精度で取得できるが、デバイスの向き（ヨー，ピッチ，ロール）の情報を得ることができない点である。第二の課題は、姿勢推定をデバイス内蔵の SLAM システムに完全依存することになり、SLAM の性能低下が直接システム全体の精度低下を招くことである。

本研究では、定期的な GNSS 情報による補正を組み込んだ手法を採用する。初回キャリブレーション方法は Galvão ら

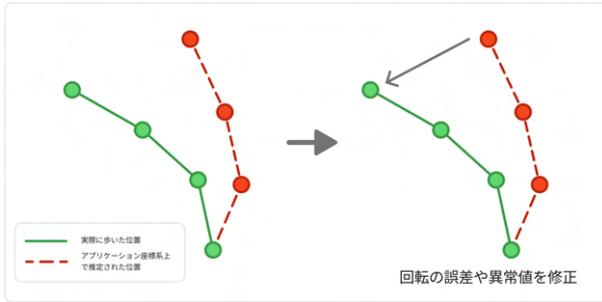


図 6: デバイスの自己位置推定精度低下時の補正手法

[7]の手法を参考に、GNSS情報による自己位置の補正について図6に示す。通常時はデバイス内蔵SLAMによって相対位置およびデバイスの方向を取得する。また、SLAMによって累積される誤差を補正するために定期的にGNSS測位結果による絶対位置補正を実行する。このとき、SLAMによる推定値とGNSS測位値の差分が事前設定した閾値を超えた場合、異常検出として即座に補正処理を実行する。これにより、長時間の連続使用においても高精度なAR表示を維持することが可能となる。

5. インターフェイスの設計と実装

5.1 コンテンツ管理システム

作業者が管理者が簡単にコンテンツを登録できるインターフェイスを提供する。このシステムでは、3Dモデルファイル（OBJ, FBX等の形式）、配置位置情報（緯度、経度、標高）、回転情報を統合的に管理できる。データの保存場所やダウンロードAPIにはGoogle Cloudを使用し、デバイスからデータのダウンロードやアップロードを行えるようにした。ARデバイス側からは3Dモデルの名前表示とモデルの表示非表示切り替えができるようになっている。

5.2 オフライン動作対応

現場での作業開始前に、必要なARコンテンツをデバイスに事前ダウンロード機能を実装し、採掘現場といったネットワーク接続が不安定な屋外環境においても安定した動作を実現する。一連の作業手順は図7に示す。



図 7: コンテンツ管理作業手順

6. まとめ

本研究では、特殊な屋外環境、特に採掘現場におけるLocation-Based ARシステムを提案した。GNSS測位情報によってARデバイスの位置姿勢を定期的に補正することにより、その位置情報を高精度化、画像特徴に依存しない安定したAR体験の実現を目指している。提案手法の有効性は、今後予定される採掘現場での実証実験を通じて評価する予定である。

参考文献

- [1] MarketsandMarkets, “Augmented reality market size, share, trends and industry growth analysis 2033.” [accessed 2025-07-15].
- [2] “Xreal - building augmented reality for everyone.” [accessed 2025-07-15].
- [3] “3D CAD / BIM / CIM ファイルのAR / MRみえる化ソリューション「mixpace」、iPad版に「埋設表現機能」を搭載 — 株式会社ホロラボのプレスリリース,” 5 2023. [accessed 2025-07-15].
- [4] E. Winick, “NASA is using HoloLens AR headsets to build its new spacecraft faster — MIT Technology Review,” 10 2018. [accessed 2025-07-15].
- [5] 神原誠之 and 横矢直和, “RTK-GPSと慣性航法装置を併用したハイブリッドセンサによる屋外型拡張現実感システム,” in 画像の認識・理解シンポジウム 講演論文集, 2005.
- [6] F. F. Ling, C. Elvezio, J. Bullock, S. Henderson, and S. Feiner, “A Hybrid RTK GNSS and SLAM Outdoor Augmented Reality System,” in 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp. 1044–1045.
- [7] M. L. Galvão, P. Fogliaroni, I. Giannopoulos, G. Navratil, M. Kattenbeck, and N. Alinaghi, “GeoAR: A calibration method for Geographic-Aware Augmented Reality,” vol. 38, no. 9, pp. 1800–1826.
- [8] “コア中四国カンパニー、みちびきを活用した石灰石の採掘支援,” 2021.
- [9] marlenaklein msft, “Mixed Reality Toolkit 3 開発者向けドキュメント - MRTK3 — Microsoft Learn.” [accessed 2025-07-09].
- [10] “XR Interaction Toolkit — 3.2.0.” [accessed 2025-07-09].