

DroneAR の開発

小林 礼 影嶋 宏一
山本 新吾

概 要

近年、建設分野において拡張現実（Augmented Reality : AR）による重畳表示技術の有用性が示されたことを背景に様々なシチュエーションでARアプリケーションの開発・利用が活発になっている。社内利用が拡大するにあたり高層建築物の高層階からの眺望や、計画敷地内での様々な角度からの俯瞰をARで実現したいという要望の他に、山岳地帯といった人間の立入りが困難なエリアでの事前シミュレーションとしての活用ができないかという要望も増えてきている。そこで本報告では、建設現場での写真測量やインフラ点検で活用されているドローンとセンチメートル級で自己位置推定可能なRTK-GNSSを用いることで、広大な敷地や上空からの3Dモデルの重畳表示を実現する「DroneAR」の開発を行った。

現場検証の結果から、ドローンのカメラ映像と3Dモデルがリアルタイムでセンチメートル級精度で重畳表示できることが示され、上空から建物を俯瞰し、高層階の建物内部からの景観を視認することが可能になった。これにより、人間の立入りが困難なエリアでの事前シミュレーションへの適応性が示唆された。

DroneAR Development

Abstract

In recent years, the usefulness of augmented reality (AR) overlay technology in construction has been demonstrated, leading to the active development and use of AR applications in various scenarios. As internal usage expands, there have been increasing demands to use AR for visualizing views from the upper floors of high-rise buildings, overhead perspectives of planned sites from various angles, and preliminary simulations in inaccessible areas such as mountainous regions.

In response, this report introduces the development of “DroneAR,” a system that combines drones, commonly used for photogrammetry and infrastructure inspections, and RTK-GNSS capable of cm-level self-position estimation to achieve the real-time overlay of 3D models over vast sites or from aerial perspectives.

Field verification results confirmed that 3D models could be superimposed on drone footage in real-time with centimeter-level precision. The system allowed for bird’s-eye views of buildings from above and visualization of interior views from the upper floors of high-rise buildings.

Additionally, the system showed potential for use in preliminary simulations of areas that are challenging for humans to access.

キーワード：ドローン、AR、RTK-GNSS

§1. 背景

近年、建設分野においても拡張現実（Augmented Reality：AR）による重畳表示技術の有用性を示されたこと¹⁾が背景に様々なシチュエーションでARアプリケーションの開発・利用が活発になっている。特に新たに建築する構造物の景観を現地確認できる活用は、関係者との合意形成という観点から非常に有効な技術となっている他に、生産性向上・業務の効率化の側面から、直接目視不可能な地中埋設されているインフラ設備の可視化^{2) 3)}、部材干渉といった施工性の確認⁴⁾等での活用がされている。

建設分野における計画・設計・施工・維持管理の全ての工程で活用されている中で、社内利用が拡大するにあたり、構造物の景観の合意形成に注目すると、高層建築物の高層階からの眺望や、計画敷地内での様々な角度からの俯瞰をARで実現したいという要望の他に、山岳地帯といった人間の立入りが困難なエリアでの事前シミュレーションとしての活用ができないかという要望も増えてきている。

ARには、ビジョンベースARとロケーションベースARの大きく2種類⁵⁾に分かれており、さらにビジョンベースARはマーカーを用いるマーカー型とマーカーを用いないマーカーレス型がある。ビジョンベースARは現実空間の世界座標とCG空間の座標を一致させるため、マーカー型は専用マーカー、マーカーレス型はVisual-SLAMや各種センサを用いた空間認識技術を活用し、座標一致させて現実空間とCG空間上の自己位置推定を行っている。この際、ARの利用者が様々な角度や位置から重畳表示結果を確認する際、周囲環境の特徴量に依存するため、場所によっては精度が変動しやすく、また、広範囲にわたる移動が伴うことで、その精度をさらに低下し、位置ズレが発生する。また、マーカー型ではマーカーを設置する際に基準点が必要となるが、既存構造物の影響によって正しく設置することが困難な場合もある。

ロケーションベースARは地上での現在位置を測位するため、GPSやみちびきなどの全地球測位システム（GNSS）を利用して自己位置推定を行い、CG空間との座標を一致させている。一般的に、GNSSによる自己位置推定は、衛星から送られる信号を1台の受信機による単独測位を行うため、周辺環境の影響を受けやすく、約10m程度の計測誤差が生じて位置ズレが発生する。しかし、GNSS測位の中でも測量等で用いられているリアルタイムキネマティック-GNSS（RTK-GNSS）方式を用いることで、センチメートル級の誤

差でリアルタイムに位置測位することが可能であり、タブレット端末に測位可能な機器を後付けした製品や研究が報告されている。^{6) 7)}

このような観点から、従来用いられているタブレット端末型によるARでは、上空や広大な計画地内の様々な角度での合意形成は人間の移動量・マーカーの設置等を考えると難易度が高く、そもそも人間が立ち入れない場所においては物理的に不可能である。

そこで本報告では、建設現場での写真測量やインフラ点検で活用されているドローンとセンチメートル級で自己位置推定可能なRTK-GNSSを用いることで、広大な敷地や上空からの3Dモデルの重畳表示を実現する「DroneAR」の開発を行い、現場検証を行った結果について報告する。

§2. DroneAR の概要

2.1 アプリケーション概要

開発した「DroneAR」のシステム概要を図1に示す。本アプリケーションは3Dモデルを重畳表示したい構造物の計画地においてドローンを飛行させ、ドローンから得られるカメラ映像・位置情報・方位情報（カメラジンバル情報）をドローンの操縦機を介して、地上に設置しているPCに転送する。転送された各情報を基に、PC側ではCG空間上に取り込んでいる重畳表示する3Dモデルに対するドローンのカメラ位置を特定し、その位置から見える3DモデルのCG画像を生成する。生成されたCG画像とドローンのカメラ画像を重畳することで、ARを実現している。

2.2 詳細実装

フローチャートを図2に示す。事前準備として、図3に示すようにARによって重畳表示したいBIM/CIMをはじめとする3Dモデルを直行座標系で定義された任意のCG空間上の位置に配置する。この時、直行座標系は平面直行座標系（公共座標系）で定義されていても良い。定義後、ドローンの離陸位置（図3の㊸）がCG空間上のどの座標に対応するか設定しドローンを設置する。設置後に得られるドローンの位置情報（緯度経度高度）を平面直行座標系に変換した値は図3の㊸の座標となることから、CG空間上の直行座標系と現実空間の平面直行座標系を対応させることが可能となり、3Dモデルに位置情報が付与されていないデータであっても、CG空間と現実空間と位置合わせが決定する。なお初期状態のCG空間上が平面直行座標系として定義していた場合は、直行座標系と平面直行座標系の対応付けは不要となる。

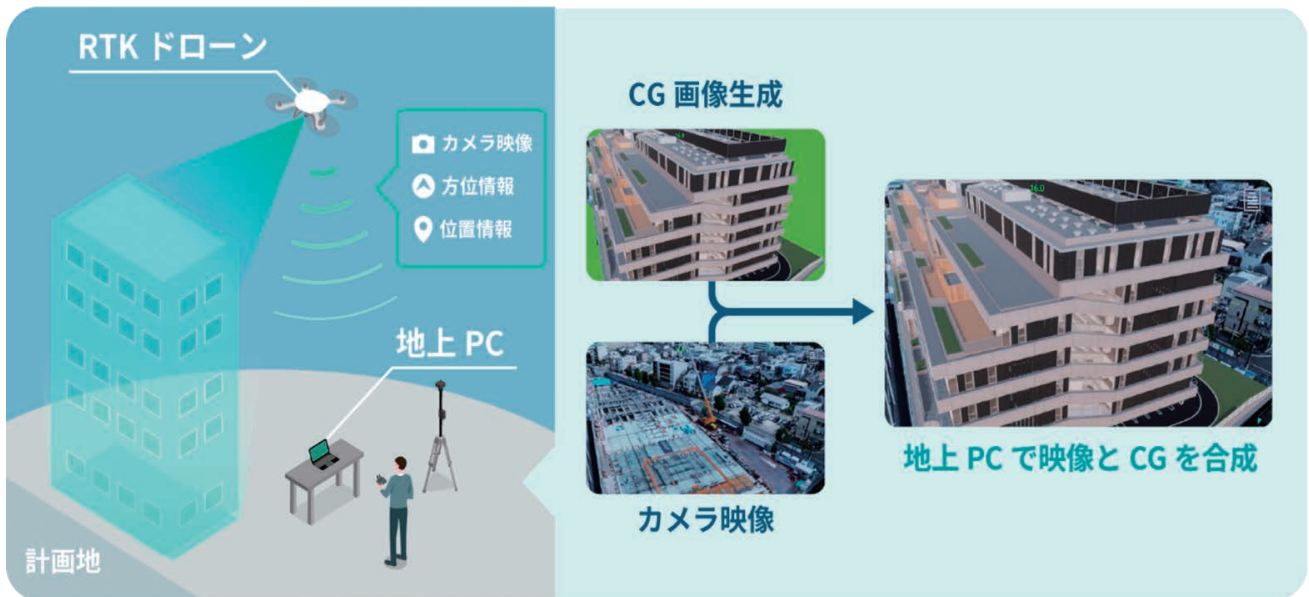


図1 システム概要

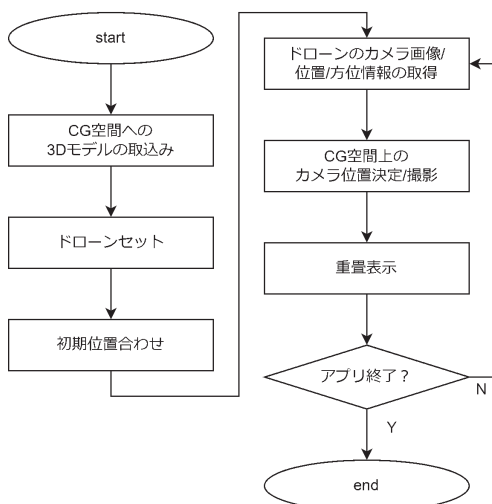


図2 フローチャート

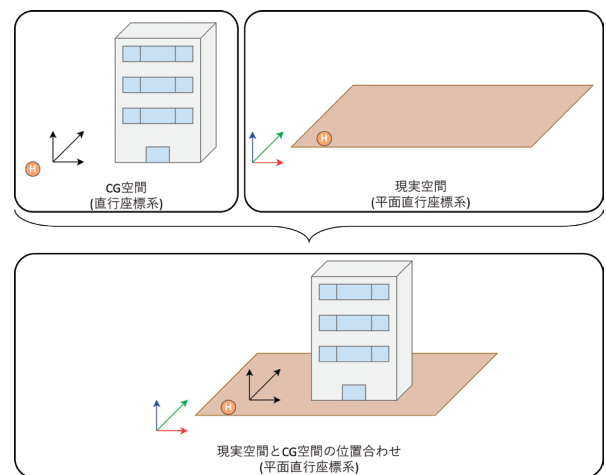


図3 位置合わせ

次に、ARによって3Dモデルを重畳表示したい計画地において、ドローンを飛行させる。飛行しているドローンからカメラ映像・位置情報・カメラジンバル情報を地上に設置しているコンピュータに転送する。コンピュータでは、CG空間上にドローンから転送されてきた位置情報を平面直行座標系に変換することで、CG空間上のカメラ位置が決まり、カメラジンバル情報からカメラのロール・ピッチ・ヨーをもとにカメラの3次元的に向いている方向が決まる。最後に、CG空間のカメラ位置から撮影したCG画像をドローンのカメラ映像に重畳表示することで実現する。

§3. 現場検証

開発したDroneARによる3Dモデルの重畳表示の評

価を行うために、建設予定地において、意匠モデルの重畳表示検証を行った。現実空間とCG空間の位置合わせには、ドローン飛行開始位置情報をCG空間上の任意の座標と対応させるため、現実空間上に通り芯を基準とした位置出しを行い、3Dモデルに登録されている通り芯情報から現実空間と対応するCG空間上の座標点を特定した。位置出しした地点にドローンを設置・離陸後のDroneARの描写について評価した。使用した機材を表1、固定局・位置出し状況を図4、重畳表示結果を図5に示す。

表示結果から、原寸サイズの3Dモデルがリアルタイムに重畳表示され、直感的に建築計画物をイメージすることができた。モデルの透過度を変更できる機能を実装しているため、現況とモデルの双方の確認がで

きる。また、ドローンを移動させることによって、モデル内部に入り込むことや上空からの視点といった任意の位置、角度からモデルを確認することができる。モデル内部に入り込んだ場合、窓ガラス越しに屋外の眺望が可能のため、例えばビル各階の高さからの景観

を現実的な目線でシミュレーションすることができる。

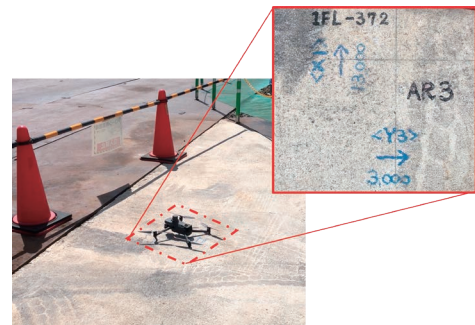
重畳表示精度については、RTK-GNSSが有効になっていた点と、図 5 (d) の敷地境界付近における、モデルの重畳表示結果からモデルと実空間の敷地境界部

表 1 使用機材

項目	型番・仕様
演算処理PC	MSI製 Katana-15-B13VGK-3603JP i9-13900H、GeForce RTX4070、RAM 32GB
ドローン本体	DJI製 DJI Mavic 3E
固定局	DJI製 D-RTK2



(a) 固定局



(b) 位置出し/発着位置

図 4 固定局・ドローン離陸位置



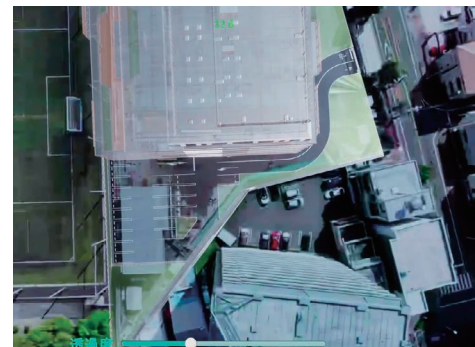
(a) 透過度0%



(b) 透過度25%



(c) 透過度100%



(d) 敷地境界

図 5 建物俯瞰・敷地境界における重畳表示結果

分における位置ズレが無く一致している点から、センチメートル級精度で実現できていると考えられる。一方で、飛行中のドローン位置については、真値と比較ができていないため、今後詳細な精度評価が必要となる。

また、ドローンの移動中における重畳表示では、ドローンのカメラ映像に対してモデルがスタッタリング（カクツキ）し、重畳表示ズレ・遅延が発生することを確認した。

これは使用している機材のRTK-GNSSの測位結果の更新頻度が仕様上 1 Hzで測位することが原因と考えられ、ドローンの移動速度を0.1m/sと 1 m/sを比較した際、0.1m/sにおいて重畳表示に違和感はなかったが、1 m/sにおいては顕著に発生していたことから、測位の更新頻度とカメラのフレームレートは視認上大きな影響を及ぼすという事が分かった。

ドローン移動時においては、RTK-GNSSの測位結果演算の更新頻度の影響を大きく受けることが考えられ、ドローンの移動量が大きい場合は、CG空間上の座標と現実空間の座標が瞬間的に完全に一致できず、モデルのスタッタリング・重畳表示ズレが発生するため、更新頻度の向上または、GNSSの測位周期間の自己位置推定の補完が求められる。

§ 4. まとめ

本稿では上空や広大な計画地内での様々な角度でARを実現するにあたってDroneARの開発について報告した。実験結果から、原寸サイズの3Dモデルをリアルタイムにセンチメートル級精度で重畳表示できることが確認された。

また、ドローンと組み合わせることによって任意視点で重畳表示することで建設前に高層建物内部からの眺望を体験できることや、従来のタブレット端末では実現できない人間の立入りが困難なエリアまたは広大な敷地での移動を必要としない事前シミュレーションが可能となった。

一方で、ドローンが高速に移動した際、GNSSの取得更新頻度が著しく低い点から重畳表示ズレが発生することが確認できた。重畳表示ズレは合意形成の観点から無くなることが望ましいため、GNSS以外の情報も活用して補完するような仕組みの開発が必要だと言える。加えて、重畳表示精度については、RTK-GNSSが有効になっている点のみで評価を行った。今後、ドローンの位置情報が現実世界とどの程度の誤差があるか検証が必要である。

参 考 文 献

- 1) 矢吹信喜, “土木建設分野におけるVR/ARの活用に関する研究と実務への適用”, 計測と制御, 2016, 55巻, 6号, pp483-488.
<https://doi.org/10.11499/sicejl.55.483>
- 2) 大懸崇一郎, 井上光貴, 小林一誠, 戸村豊明, 三井聡, 佐竹利文, 以後直樹, “水道管の可視化アプリケーション”, AI・データサイエンス論文集, 3巻, J2号, p.456-460, 2022.
https://doi.org/10.11532/jsceiii.3.J2_456
- 3) 洲崎文哉, 檜山和男, 琴浦毅, 石田仁, 吉永崇, “ARKitを用いた地下埋設物のAR可視化システムの構築と重畳の高精度化の検討”, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 77 (2), pp.I_131-I_139, 2021.
https://doi.org/10.2208/jscejcei.77.2_I_131
- 4) 山本竜一, 平野大希, 水口知樹, “ARを用いた鋼橋保全工事における現場施工性の確認方法の検討”, AI・データサイエンス論文集, 5巻, 1号, 2024.
https://doi.org/10.11532/jsceiii.5.1_184
- 5) 館暲, 佐藤誠, 廣瀬通孝, “バーチャルリアリティ学”, 日本バーチャルリアリティ学会, 株式会社コロナ社, 2011.
- 6) 鈴木雅大, 大川博史, 中祖諒大, 檜山和男, “小型GNSS受信機を用いた水域環境におけるAR可視化システムの構築”, 土木学会論文集, Vol.79, No.22, 22-2013, 2023.
<https://doi.org/10.2208/jscej.22-22013>
- 7) 株式会社ニコン・トリンブル, “サイトビジョン”, <https://geospatial.nikon-trimble.co.jp/sitevision/>, (最終閲覧日: 2024年10月30日)

ひとこと

ARの活用は、建設業界の生産性向上に大きく寄与すると考えられる。更なる普及と開発を推進したい。



小林 礼