

建築デザイン検討のための SLAMを用いた屋外型ARシステムの開発

○三宅 宗俊*¹ 福田 知弘*²
矢吹 信喜*³ Ali Motamedi*⁴

キーワード：Outdoor Augmented Reality Simultaneous Localization and Mapping (SLAM) 可視化技術

1. はじめに

近年、AR (Augmented Reality: 拡張現実感) の利用が建築・都市分野において進められている。AR は現実世界に存在しない CG (Computer Graphics) などのデジタル情報を用いて現実世界を拡張するための技術であり、ビデオカメラなどをリアルタイム撮影した実写映像に3次元仮想モデルを重畳させることで実現する。

従来は屋内で主に行われていたARであるが、その屋外利用も徐々に研究され始めている¹⁾²⁾。屋外利用可能なARを建築分野で適用する場合、建物の新築やリノベーションにおける改築の検討などの計画・設計段階、鉄筋配置を事前にシミュレーションするなどの施工段階、既設建造物の点検・修繕状況の把握や建物性能の可視化などの維持管理段階などの建築プロセスの様々な段階での応用が期待される。この、屋外ARの利用シーンは、会議室での模型を用いた検討やディスプレイを通じた3DCGの表示といった検討シーンに比べて、3次元仮想モデルなどの建物情報を現地で実スケールでの確認が可能になるためより臨場感の高い検討ができるようになる。

ARの技術課題として、位置合わせの問題がある。これは、重畳させる3次元仮想モデルを如何に高い精度で現実世界へ配置するかという問題である。特に屋外環境において位置合わせを行う場合、ARシステムを使うユーザとARの対象となる建造物との距離が比較的大きくなるため、正確な位置合わせが難しい。位置合わせの基準点として、センサベースの位置合わせ³⁾ではGPSやジャイロスコープなどの位置・姿勢情報が使われる。この手法における課題はGPSを始めとする人工衛星を利用する手法では高層ビルが立ち並ぶ都市中心部でその精度が不安定なことである。またジャイロスコープなどの物理センサはドリフト誤差が位置合わせの精度に影響を及ぼす。これに対してカメラ画像から位置合わせを行うビジョンベースの位置合わせ手法の一つにマーカ型ARがある。これは物理的な幾何マーカを現実環境に配置しそれを基準に位置合わせを行うものであるが、マーカが常にARカメラから視認可能な距離・大きさである必要があり、設置場所の制約やユーザの可動範囲の制限を受ける。

一方で、幾何マーカやセンサを利用しない、マーカレスARシステムの開発も行われてきている。Yabukiら⁴⁾は事

前に取得した対象建造物の点群データと、現実に存在する対象建造物の自然特徴点を対応させて位置合わせを行った。しかし、ユーザによって選ばれた位置合わせに利用する自然特徴点が常にARカメラから見える必要があること、事前取得する点群データには3次元レーザスキャナを用いた大規模な前処理が必要なことといった課題が残った。また、Satoら⁵⁾は複数視点から撮影した画像を用いて3次元形状を復元するStructure from Motion (SfM)⁶⁾と画像中の局所特徴量を用いて位置合わせを行った。しかしながら、刻一刻と変化する日照量などの自然物の変化や、車や人などの移動する人工物の影響から、必ずしも3次元形状を復元するために利用した事前撮影写真と、ARカメラが捉えるリアルタイム画像とが一致しないという問題点があった。

そこで本研究では、Simultaneously Localization and Mapping (SLAM)⁷⁾を用いたマーカレスARシステムに注目した。SLAMは主にロボット工学分野で使われてきた技術であり、ロボットの自己位置の推定と、その周辺の環境マッピングを同時に行うことが可能である。本研究では特にこのSLAMをカメラからの画像情報からのみ行うvisual-SLAM⁸⁾を用いる。そして開発したシステムを建築物のデザイン検討に応用することを想定する。

開発システムでは、位置合わせにはARシステムが搭載するカメラを利用し、センサ等の特殊な機材を必要としない。また、幾何マーカ等の物理的オブジェクトの設置を必要としないため、マーカが設置できないためにシステムを使えない、常にマーカをARカメラによって捉えなければならないといった制約が存在しない。加えて、SLAMによって3次元形状の復元をリアルタイムに行うため、周辺環境の復元とシステム利用の間の時間的ギャップがほとんど存在しない。そのため、使用環境で変化する自然物や人工物の影響を受けにくいといった利点がある。

2. システム開発

2.1. SLAMを用いたマーカレスARデザイン

近年SLAMは基礎研究レベルから産業への実用化へのレベルまで幅広く研究されている。特にカメラからの映像を通して主な処理を行うvisual-SLAMはARへの応用が期待される。SLAMを用いたARと他のビジョンベース型AR

との差異は処理のリアルタイム性にある。すなわち SLAM を用いた AR では、次々に更新されるフレームに対して Localization 及び Mapping の処理を次のフレームが来る前に行うため、環境の復元とカメラの位置姿勢を追跡するトラッキングとの間に時間的ギャップが存在しない。

SLAM を用いた AR の基本的な処理は、以下となる。

- ① カメラから得た断続的な画像フレーム中の点を追跡
- ② 追跡に用いた点を 3 次元空間に投影するための三角測量
- ③ カメラの位置姿勢を推定するために移動後の追跡点を推定

これらの処理は、画像中のトラッキング点を十分補足することで可能となる。また、従来の visual-SLAM では Stereo Camera が用いられてきたが、本システムでは単眼レンズによって実現する。

開発システムでは、3 次元モデリングソフトウェアなどを用いて表示させたい 3 次元オブジェクトを事前に作成し、システムに入力した後、visual-SLAM を用いたトラッキング手法により AR を実現する。

2.2. システムの実装

2.2.1. 使用ソフトウェア，ツール

A) Unity (Unity 5.4.0f3 64bit)

Unity は Unity Technologies が提供する統合開発環境を内蔵したゲームエンジンである。様々なプラットフォームに対応しており、3 次元仮想オブジェクトの描画を行う本研究の AR に応用できるためこれを用いた。

B) Kudan AR (Version 1.3)

Kudan AR は Kudan Limited が開発を行っている AR エンジンであり、Unity やスマートフォン向けに提供されている。テクスチャベースのマーカ型 AR のほか、マーカレス AR として SLAM を使用した開発キットが提供されており、本研究で開発する AR アプリケーション用のエンジンとして適しているため、これを用いた。

C) Android SDK (Version 2.2.012 for Windows)

タブレット端末へのシステム実装を行うために用いた。

2.2.2. 使用機材

本システムの実装にあたり、AR システムのプラットフォームとして Android タブレットを用いた。これは、本研究では屋外利用を想定しているため持ち運びが容易である必要があることによる。またタッチによる操作は PC などの機器に不慣れなユーザでも容易に扱うことができる。使用機材は Nexus9 (OS: Android 5.1.1) である。

3. 開発システムの検証

開発したマーカレス AR システムを建築物環境のデザイン検討に利用した際の有用性を検証するため、実在する屋外建築物に対して本システムを利用した実験を行う。

3.1. 実験概要

平成 28 年 10 月 7 日 13 時頃、Android タブレットに実装した AR システムを使用し、M3 棟を対象に 3 次元モデルが確認可能かどうかの検証を行った。また、開発システムが建物屋外環境のデザイン検討に対して有用かどうかの検証を行った。

環境デザインの検討シーンとして、M3 棟南面に新たに植栽を配置した場面を想定し、樹木の 3D モデルを開発システムによって表示できるかの実験を行った。3D モデルは 3dsMax 2016 によって作成を行い、FBX 形式でファイル出力したものをシステムに入力した。

実験手順を以下に示す。

- ① 事前にモデリングソフトウェアを用いて作成したデザイン検討用の 3 次元モデルを AR システムに入力した。図 1 に作成したモデルを示す。
- ② タブレット型 PC に搭載したマーカレス AR システムを初期化した。システムの利用位置の概況を図 2、図 3 に示す。
- ③ システム起動後、対象建築物の M3 棟が AR カメラによって捉えられるように位置取り、カメラを動かしながら SLAM による環境復元とカメラ位置の推定を行った。図 4 に実験の様子を示す。
- ④ 手動により 3 次元オブジェクトの配置を行った。
- ⑤ 3 次元オブジェクト配置後、ユーザの移動に対して 3 次元オブジェクトのトラッキングが可能かの確認を行った。
- ⑥ 開発したマーカレス AR システムの、建築物設計検討シーンでの有用性に関して評価を行った。

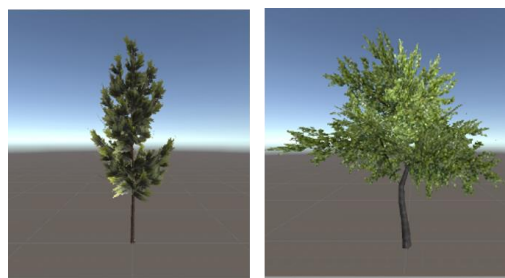


図 1 描画用 3 次元モデル



図 2 実験場所の位置図



図3 実験場所及び3次元モデルの描画位置



図4 実験風景

3.2. 実験の結果および評価

検証実験におけるシステム起動前の現況を図5、実験結果のキャプチャ画像を図6、ユーザの移動によるトラッキングの結果を図7に示す。実験の結果、開発システムの屋外利用が可能であることを確認した。また、ユーザの移動に合わせたトラッキングも可能であることを確認した。

本システムでは3次元モデルの配置をユーザの手動によって行ったため、位置合わせの精度がユーザの感覚に依存する。また、SLAMによってMappingを行う対象物の構造が複雑である場合や、対象構造物との距離が15m程度離れた場合も位置合わせが正確に行えなかった。

トラッキング処理においては、位置合わせが正確に行えていた場合、ユーザの対象構造物に対する前後左右の移動に追従することが可能であった。また、対象構造物の前を人が通るなどノイズが挿入した場合もトラッキングは正確に継続された。加えて、位置合わせを行ったのちにARカメラの視界から一度3次元モデルを除外し、再度視界内に入れた場合もトラッキングを継続できた。しかし、画面の大部分が手などによって隠れてしまったり、タブレットを素早く振る動作を行ったりするとトラッキングエラーを生じた。



図5 ARシステム起動前の現況



図6 ARによる描画結果（代替案比較）



図7 トラッキングの結果

3.3. 設計デザイン検討シーンでの利用

今回行った検証実験では、事前に作成した樹木の3次元仮想モデルを画面内に配置し建築物周辺環境のデザイン検討のためのAR利用を行った。しかしながら、本研究で用いたマーカレスARは他にも多様な利用シーンが考えられる。

一例として、建築物の3次元モデルを入力する際に単なる形状データではなくBuilding Information Modeling (BIM)データを用いることで表示オブジェクトの属性情報も同時に取得することが可能となる。そして建築物の3次元モデルにそれらの属性情報を重畳表示させることで、建築物の3次元モデルとその属性情報が同時に、現場で確認することが可能となる。これは、建築物の維持管理にも応用できると考えられる。

4. 結論と今後の課題

4.1. 結論

本研究で得られた成果を以下に示す。

- SLAM を用いたマーカレス AR を開発し、Android タブレットに実装した。
- 大阪大学吹田キャンパス M3 棟の周辺に植栽設計を行うことを想定して樹木の 3 次元モデルを AR によって描画し、位置合わせ及びトラッキングが可能であることを確認した。
- 開発した AR システムの都市建築環境での有用性について検討した。

4.2. 今後の課題と展望

最後に 3 章で示した実験結果をもとに開発した屋外マーカレス AR の課題と今後の展望を示す。

まず、開発システムでは 3 次元モデルの配置をユーザの手動によって行っていたため、位置合わせの精度がユーザに依存した。そこで、BIM か図面上で 3 次元モデルの配置位置を決定し、それを AR のスクリーン上へ自動的に配置する必要がある。一方で SLAM を用いたシステムでは対象構造物の 3 次元形状はリアルタイムに復元されるため、予め復元された 3 次元形状に対して、表示させる 3 次元オブジェクトの位置を定義することは困難である。しかし、デザイン検討のシーンでは必ずしも対象建築物に対してユーザの位置や姿勢が自由である必要はない。そのため、AR を利用する際の初期位置として視点を絞れば、事前にそれらの位置姿勢情報をシステムに入力することは可能である。

また、本研究では位置合わせ後のユーザの移動の際に、位置合わせの段階で 3 次元モデルが正しい位置に表示されないエラーが生じた。この 1 つの要因として、対象構造物の表面構造が複雑であることが挙げられる。SLAM を用いた AR では、復元した環境情報を参照して位置合わせを行うが、復元物の形状が複雑である場合、位置合わせに適した点を抽出することが難しい。一方で高精度な復元を行おうとすると計算負荷が高くなる。そのため、計算速度と復元の精度の最適解を模索する必要がある。

またトラッキングにおいても極端な輝度変化が起きた場合、本来ループ処理を行うべきトラッキングプロセスにおいて、輝度が異なるためにたとえ同じ位置であってもシステムは別の点として誤認識するといった問題が生じた。これを解決するには、単一のトラッキング手法ではなく、SLAM とセンサを組み合わせることで誤差を最小化するなどの手法を用いる必要がある。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K00707, JP26-04368 の助成を受けた。

[参考文献]

- 1) Ventura, J., Hollerer, T.: Wide-area scene mapping for mobile visual tracking. In: Proceedings of the IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 3-12 (2012)
- 2) Schubert, G., Schattel, D., Tonnis, M., Klinker, G. and Petzold, F.: Tangible Mixed Reality On-Site: Interactive Augmented Visualisations from Architectural Working Models in Urban Design, CAAD Futures 2015 Selected Papers, Communications in Computer and Information Science, 527, 55-74 (2015).
- 3) Watanabe, S.: 2011, Simulating 3D Architecture and Urban Landscapes in Real Space, CAADRIA2011, 261-270 (2011).
- 4) Yabuki, N, Hamada, Y and Fukuda, T.: Development of an accurate registration technique for outdoor augmented reality using point cloud data, 14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, (2012).
- 5) Sato, Y., Fukuda, T., Yabuki, N., Michikawa T. and Motamedi, A.: A Marker-less Augmented Reality System Using Image Processing Techniques for Architecture and Urban Environment, Proceedings of the 21st International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2016), 713-722 (2016).
- 6) Tomasi, C. and Kanade, T.: Shape and Motion from Image Streams under Orthography: a factorization method, International Journal of Computer Vision (IJCV), vol 9, 137-154 (1992).
- 7) Leonard, J., Durrant-Whyte, H.: Simultaneous map building and localization for an autonomous mobile robot, Intelligent Robots and Systems' 91, Intelligence for Mechanical Systems, Proceedings IROS'91, IEEE/RSJ International Workshop on, 1442-1447 (1991).
- 8) Engel, J., Schops, T. and Cremers, D.: LSD-SLAM: Large-scale direct monocular SLAM, European Conference on Computer Vision (ECCV 2014), vol 8690, 834-849 (2014).

-
- *1 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士前期課程 2 年
 - *2 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 准教授 博士(工学)
 - *3 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 教授 Ph.D.
 - *4 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 JSPS 外国人特別研究員 Ph.D.