

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350010

研究課題名(和文)高精度な位置合わせ機能を有する景観検討用ARシステムの構築に関する研究

研究課題名(英文)A Marker-less Augmented Reality System for Landscape Simulation

研究代表者

福田 知弘 (Fukuda, Tomohiro)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80379114

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、身近なモバイル端末を用いて、景観を屋外で正確に重畳可能なAR (Augmented Reality: 拡張現実感) システムを構築した。景観予測に必要な距離や移動に対応可能な、マーカレス型ARシステムである。提案システムは、局所特徴量による画像マッチング技術、そして、複数の写真に基づく3次元仮想モデル構築手法を応用した。ケーススタディとして、大阪大学研究棟の仮想改築プロジェクト、大阪市内の事務所ビルの新築プロジェクト等に適用した。ケーススタディを通じて、画像マッチングによる位置合わせとトラッキングの性能が検証され、本手法の有用性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, Augmented Reality (AR) system is proposed to be used for outdoor landscape simulation. The research proposes an outdoor marker-less AR system that considers the mobility of users and their long relative distance to target buildings where 3D virtual objects should be augmented on. The proposed system uses local feature-based image registration technology and Structure from Motion (SfM) which reconstructs 3DCG models using photographs from multiple viewpoints. Case studies have been performed for a research building renovation scenario at Osaka University and newly-built office building project in Osaka City. The case study verified the performance of image registration and tracking, and confirmed the applicability of the method.

研究分野：環境設計情報学 デザイン学

キーワード：デザイン設計支援 建築・都市設計 景観 拡張現実感 シミュレーション フォトグラメトリ

### 1. 研究開始当初の背景

良好な景観形成を推進するためには、計画・設計・施工・維持管理の各段階で、多様な利害関係者による合意形成が求められる。そのため、検討会議では、景観予測内容をわかりやすく伝達する手法が求められ、伝統的な模型や手書きパースに加え、コンピュータを用いた3次元CG静止画、バーチャルリアリティ(VR)が実用化されてきた。しかしながら、これらの手法は、周辺環境を含む全ての情報を3次元モデルとしてコンピュータに定義するために多大な労力が必要とされてきた。そこで、現実空間と3次元モデルとを重畳表現するAR (Augmented Reality: 拡張現実感) 技術を景観予測手法に応用する研究が進められている。ARでは、実写映像を周辺環境表現に利用するため、3次元モデルを構築する工数と手間、データ量の増加を回避できる。

一方、景観予測手法としてのARの現状は、用途や対象が限定的である。重要な課題は、現実空間と3次元モデルとの位置合わせ手法である。位置合わせ手法は、ロケーションベース型、ビジョンベース型に区分される。ロケーションベース型として、RTK-GPSや3Dセンサなどを用いると高精度な位置合わせが実現できるが、特殊な機材を準備する必要があり実用化に課題が残る。ビジョンベース型として、人工マーカを用いた手法はマーカがAR仮想カメラから常に見えている必要があり、検討者の可動範囲に限界がある。また、高精度を実現するために大きな人工マーカを用いると肝心の景観が隠れてしまう。

### 2. 研究の目的

景観検討に資する高精度な位置合わせを実現するためには、実写映像と3次元モデルとを重畳させる際の基準点(以下、基準面、基準対象物も同義)の設計が重要である。基準点は、ロケーションベース型の場合はセンサ位置、ビジョンベース型の場合はマーカ位置となる。この基準点と3次元モデルとの距離が小さいほど位置合わせ精度は一般に高くなる。景観検討の場合、既往手法では、基準点と3次元モデルとの距離は概ね10m~数kmと大きく、精度は低下してしまう。

そこで本研究は、身近なモバイル端末を用いて、屋外で過去や将来の景観を正確に重畳可能なARシステムの開発を目指した。高精度の景観検討用ARを実現するため、ビジョンベース型のひとつ、マーカレス型ARシステムの概念を応用し、3次元モデルの近傍に基準点を設置する手法を開発することを目的とした。

### 3. 研究の方法

研究の方法として、提案するマーカレス型ARの仕様検討、設計、実装、検証を実施した。

仕様検討ではまず、既存のマーカレス型ARライブラリが本研究対象に適用可能か、プロトタイプシステムを構築して検証した(マーカレスAR01;図1)。そして、既存のマーカレ

ス型ARライブラリの限界を確認した上で、局所特徴量抽出、画像処理、点群などの技術を検討し、新たなマーカレス型ARの設計と実装を実施した(マーカレスAR02;図2)。

屋外で景観検討する際には、モバイル端末の液晶ディスプレイでは外光の影響を受けて画面が見づらいという課題が残る。そこで、新たなマーカレス型ARシステムでは、ソフトウェアの開発に加えて、ARディスプレイを検討した。外光の影響を抑えつつAR体験が可能と考えられる2種類のヘッドマウントディスプレイ(HMD)、ビデオ透過型HMD、光学透過型HMDを検討した。

開発したシステムの検証は、研究室のみならず、社会実験を通じて一般市民により評価されることを目指した。そのため、マーカレスAR01では、戸建住宅の新築プロジェクトに適用して有用性を評価した。また、マーカレスAR02では、大阪大学研究棟の仮想改築プロジェクト、事務所ビルの新築プロジェクトに適用してシステム性能と有用性を評価した。システム利用シーンは、当初想定していた計画設計段階に、運用段階を加えた。



図1 マーカレスAR01の概要

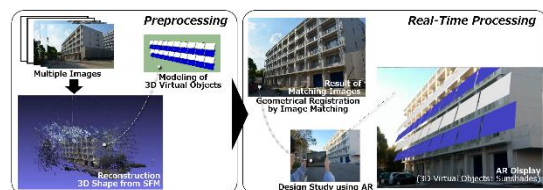


図2 マーカレスAR02の概要

### 4. 研究成果

#### (1) マーカレスAR01: 概要

マーカレスAR01は、ARオーサリングツール(Metaio Creator 3.5)をプラットフォームとした。事前撮影した写真をマーカ(基準面)として、BIMソフトウェアで作成した3次元建物モデルをマーカに対する適切な相対座標で配置した。複数のデザイン案を比較検討できるようにGUIとスクリプトを作成した。マーカレスAR01は、ノートPCの液晶ディスプレイに加えて、ビデオ透過型HMD(Vizux WRAP 1200DXAR)により検討可能とした。

#### (2) マーカレスAR01: 検証

マーカレスAR01の検証実験は、茨城県潮来市で進行中の戸建住宅の新築プロジェクトで実施した。施主と設計者が、マーカレスAR01

を使用して、建物完成後の外観ボリューム、駐車場の配置などを計画対象地で検討した。結果、マーカレス AR01 を使用しての建築設計検討の有用性を確認することができた。

一方、技術面の課題が散見された。ひとつは、本対象地のような郊外の場合、マーカとする写真の特徴量が不足してしまうことが多く、正確な位置合わせが困難であった。このため、コーンや自動車などを写真に含めることで特徴量を増やす必要が生じた。もうひとつは、使用したビデオ透過型 HMD の視野角(斜め 35 度)が狭く、肉眼で眺めた場合と比べて違和感があることを確認した。そのため、以降はより広視野角表示が可能なビデオ透過型 HMD (Oculus Rift DK2+Ovrvision) を検討した。

### (3) マーカレス AR02 : 設計

マーカレス AR02 は、局所特徴量による画像マッチング技術を用いた位置合わせ、及び複数枚の画像から 3 次元形状を復元する SfM (Structure from Motion) を応用して開発した。マーカレス AR02 は、事前に行う前処理とリアルタイムで行う本処理の二つのプロセスで構成される (図 3)。

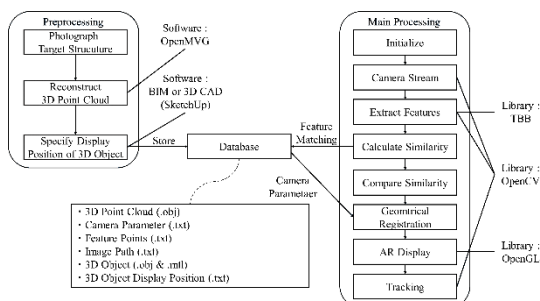


図 3 マーカレス AR02 のフロー

前処理では、まず、SfM 法を用いて、既存建物等位置合わせの基準対象物となる 3 次元モデルを復元する。SfM 法により、3 次元モデルの復元と同時に、使用した写真の撮影カメラ位置・姿勢情報を取得する。復元した 3 次元モデルと撮影カメラ位置・姿勢情報をデータベースに保存する。次に、AR で重畳する新築建物などの 3 次元モデルの描画位置を、SfM 法により復元した 3 次元モデルに対する相対座標で決定し、新たな三次元形状モデルとその描画位置をデータベースに保存する。最後に、SfM 法による 3 次元モデル復元に用いた写真データベースから、各画像の特徴点と特徴量を SURF (Speeded-up Robust Features) により抽出してテキストファイルに出力する。各画像のファイルパスも同様に別のテキストファイルに出力する。

本処理では、まず、前処理で出力した二つのテキストファイルを入力する。次に、AR で表示するリアルタイムのカメラ画像から SURF 特徴量を抽出し、その全特徴量と、前処理で作成済みの、SfM 法による 3 次元モデル復元に用いた各画像の特徴量をそれぞれ比較して、

類似画像を選定する。そして、AR 重畳させる新たな 3 次元モデルを、その類似画像を撮影したカメラの位置・姿勢を利用して、3 次元モデルを描画する。この際、トラッキングに利用する点を描画モデル周辺に配置し、同様の位置・姿勢情報を利用しスクリーンに描画する。3 次元モデルを重畳した後、AR カメラの移動・回転に伴うスクリーン上での移動ベクトルを計算する。そして、トラッキング対象点の移動後の座標と 3 次元空間上での座標、及びカメラの内部パラメータを元に算出した位置・姿勢情報を利用し、再描画を繰り返すことでトラッキングを行う。

### (4) マーカレス AR02 : 実装

実装は、C++を用いた。前処理では、SfM の実行には OpenMVG (Ver. 0.7) を利用した。本処理では、リアルタイムカメラ画像の取得及びマッチングを行うために、画像処理ライブラリ OpenCV (Ver. 2.4.9) を利用した。並列処理を行うために、TBB (Ver. 4.4) を利用した。3 次元モデル描画のために、OpenGL のためのツールキット freeglut (Ver. 2.8.1) を利用した。

本処理ではリアルタイム処理を行うため、類似画像選定の際に計算を高速化する必要がある。そのため、近似手法を用いた類似度計算、画像のトリミングの処理を実装した。また、実写映像と 3 次元モデルの前後関係を正確に表示するためにオクルージョン処理を実装した。

### (5) マーカレス AR02 : 性能検証

画像マッチング時間と精度を評価するため、解像度、トリミング比率、クエリ画像を変更しながら、マッチング時間と精度を測定した。結果、画像に占める対象構造物の割合が大きい場合、高精度でのマッチングが可能であった。一方、画像に占める対象構造物の割合が小さい場合、トリミングを行いノイズを除去する必要があることを確認した。現状では、最適なマッチング画像を得るためにコンピュータによりマッチング画像を自動抽出した後、ユーザが画像を正誤判定できる機能を加えている。

位置合わせの精度検証を行うため、2 つの視点において、位置合わせを行った際のリアルタイムカメラ画像とマッチング後の選定画像とをそれぞれ抽出し、画像上の同一点のずれの状況を測定した。結果、描画スクリーン (960×720 pixels) に対する誤差の割合は、水平方向、垂直方向、いずれも 5%未満であった。結果、画像マッチングによりリアルタイム画像と類似するデータベース内の画像が選定可能であれば、高精度な位置合わせは可能であることが示唆された。

### (6) マーカレス AR02 : 有用性検証 (設計段階)

建物設計段階での有用性検証のため、大阪大学研究棟の仮想改築プロジェクト、大阪市



内の事務所ビルの新築プロジェクトにマーカレス AR02 を適用した。

研究棟の仮想改築プロジェクトでは、研究棟南側へのオーニング設置検討を利用シーンとして想定し、プロトタイプを開発した。前処理として、まず、研究棟を基準対象物として、複数の写真撮影、そして、SfMにより3次元復元モデルを構築した(図4)。次に、SfMによる3次元復元モデルを用いて、新たなオーニングモデルの配置座標を決定した。本処理では、AR描画されたオーニングをユーザ操作により、色及び設置角度を適宜変更した(図5)。結果、リノベーション検討用の3次元モデルを事前に作成する条件下にて、マーカレス AR02 を用いて、様々な視点からのARリノベーション検討がリアルタイムに可能であることを確認した。

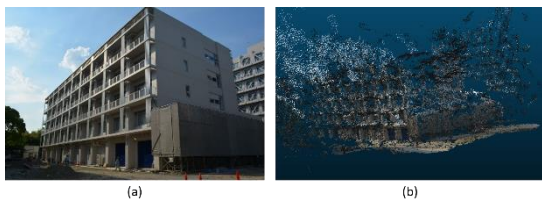


図4 SfMによる復元結果(a:対象構造物, b:復元モデル)



図5 オーニング設置検討時のARキャプチャ

事務所ビルの新築プロジェクトでは、既存の2階建てビルを取り壊して、新たに3階建てビルを計画している。施主、設計者が完成後の外観ボリュームを検討するため、プロトタイプを開発した。前処理として、まず、既存の2階建てビルを基準対象物として、複数の写真撮影、そして、SfMにより3次元復元モデルを構築した(図6)。次に、SfMによる3次元復元モデルを用いて、設計者が作成した新たな事務所ビルモデルの配置座標を決定した。特記事項として、トラッキング時の通行人等の影響を避けるため、トラッキング対象点は建物2階以上の面に配置した。

検証実験風景を図7に示す。本実験の結果、新築建物モデルは正確な設計位置に描画された。また、形状のみならずテクスチャ及びマテリアルの表現質も施主より一定の評価が得られた(図8)。尚、実写映像をキャプチャするWebカメラが日射の影響を大きく受けて逆光状態になると画面上の輝度変化が大きくなり、トラッキングが困難になる。現時点では、逆光状態を避けてシミュレーションを行う必要があることを確認した。



図6 SfMによる復元結果(a:対象構造物, b:復元モデル)



図7 検証実験風景

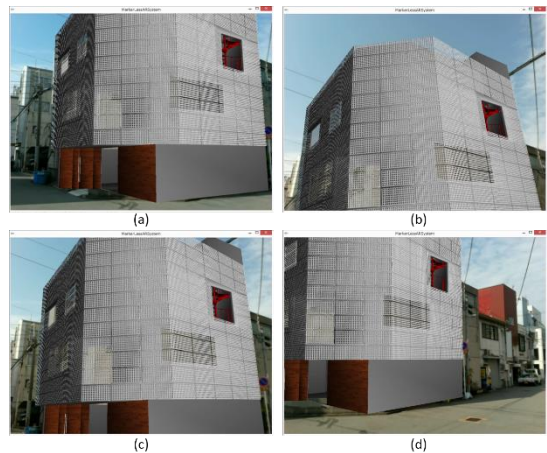


図8 位置合わせ及びトラッキング結果

(a:トラッキング開始後0秒経過, b:同10秒経過, c:同20秒経過, d:同30秒経過)

(7) マーカレス AR02:有用性検証(運用段階)  
建物運用段階での有用性検証のため、大阪大学研究棟に建築物環境性能評価制度(CASBEE)による評価ラベルをAR描画して、ユーザが建物性能を確認するシナリオを想定した。

本検証では、タブレットPCの液晶ディスプレイでのAR描画に加えて、光学透過型HMD(Moverio BT-200)でのAR描画を検討した。結果、液晶ディスプレイ、光学透過型HMD両方でマーカレス AR02 を描画できたことを確認した(図9, 10)。

一方、使用した光学透過型HMDでは、現実空間と3次元モデルとのコントラストの問題が明らかになった。すなわち、光学透過型HMDを構成するハーフミラー型ディスプレイは透過型であり、ユーザはこのハーフミラーで現実世界を見ることができる。一方、現実空間と3次元モデルのコントラストが低い場合には、3次元モデルを視認することが困難であ

った(図11)。外光抑制, コントラスト調整アルゴリズムなど, ハード, ソフト面での改良が望まれる。



図9 位置合わせ及びトラッキング結果  
(a: トラッキング開始後0秒経過, b: 同10秒経過,  
c: 同20秒経過, d: 同30秒経過)



図10 光学透過型HMDによる検証実験風景



図11 光学透過型HMDでのARキャプチャ

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 4 件)

- ① Miyake Munetoshi, Fukuda Tomohiro, Yabuki Nobuyoshi, Motamedi Ali and Michikawa Takashi, Outdoor Augmented Reality using Optical see-through HMD System for Visualizing Building Information, ICCBE2016 (16th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering), 査読有, 6-8 July 2016,

Osaka (Japan), 発表確定

- ② Sato Yusuke, Fukuda Tomohiro, Yabuki Nobuyoshi, Michikawa Takashi and Motamedi Ali: 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, 査読有, 30 March-2 April 2016, Melbourne (Australia), [http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?caadria2016\\_713](http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?caadria2016_713)
- ③ 佐藤佑亮, 福田知弘, 矢吹信喜, 道川隆士: 局所特微量による画像マッチング手法を用いた建物維持管理のためのマークレスARシステムの開発, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第38回情報・システム・利用技術シンポジウム論文集(報告), 157-160, 2015年12月10-11日, 建築会館(東京都港区).
- ④ Fukuda Tomohiro, Mori Keisuke and Imaizumi Jun: Integration of CFD, VR, AR and BIM for Design Feedback in a Design Process - An Experimental Study, Proceedings of the 33rd eCAADe Conference - Volume 1, 665-672, 査読有, 16-18 September 2015, Vienna (Austria). [http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?\\_id=eacaade2015\\_83](http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?_id=eacaade2015_83)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

- 出願状況(計 0 件)
- 取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.dma.jim.osaka-u.ac.jp/view?u=7273>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

福田 知弘 (FUKUDA, Tomohiro)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号: 80379114