

令和元年5月29日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00707

研究課題名(和文) 緑視率や温熱環境などの現況環境認識を含む拡張現実感システムの構築

研究課題名(英文) Development of an augmented reality system that includes the estimation functions of the current environment

研究代表者

福田 知弘 (Fukuda, Tomohiro)

大阪大学・工学研究科 准教授

研究者番号：80379114

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で構築した、建築・都市分野でのAR (Augmented Reality: 拡張現実) システムは、設計対象である3次元仮想モデルをライブ映像と同じ視点から重ね合わせて表示するだけでなく、現状の環境認識機能が付与されたものである。具体的には、3Dモデルとライブ映像との光学的整合性、緑視率などの自動推定、3Dモデルとライブ映像との正確な前後関係(オクルージョン)処理などを画像処理や深層学習を用いてARシステムに実装した。開発したARシステムを大阪大学吹田キャンパス内の仮想プロジェクト等に適用した結果、その有用性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建築・都市分野では、設計対象など現存しない3次元空間や、視野に含まれる緑の量など視認が困難な対象が含まれる。本研究は、これら肉眼では見えない情報を、より高精度・高機能な状態で実現可能なAR(拡張現実)システムを開発したものである。ARは、ユーザーがAR体験している現実空間とつながりを保ちながら、見えない情報を現実空間に重ね合わせることができるため、設計対象地や建設現場などの現実空間で、高い臨場感の中で建築・都市の検討が可能となる。

研究成果の概要(英文)：In this research, an AR (Augmented Reality) system for architectural and urban field was developed which consists of estimation functions of the current environment in addition to overlaying 3D virtual model on live video via the same viewpoint. To realize this challenge, an automatic estimation of green view index, and an optical integrity and occlusion processing between 3D virtual model and live video were implemented using image processing and deep learning technology. After prototype systems have been applied virtual projects in Osaka University Campus, were confirmed the applicability of the system.

研究分野：環境設計情報学

キーワード：デザイン設計支援 拡張現実感 景観 シミュレーション 複合現実感 環境推定 緑視率 深層学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

本研究は、建築・都市分野において建設予定地や都市空間などの屋外での利用を含む AR (Augmented Reality: 拡張現実) を開発する。現場での AR 利用は、建物等の 3 次元仮想モデル (3D モデル) を 1/1 スケールで重畳させることができるため、高い臨場感での検討が可能になる。そのため、計画・設計 (新築、改築の設計検討など)、施工 (施工シミュレーションなど)、維持管理運営 (点検・修繕状況の把握など) の各段階で多様な応用が期待されている。

ユーザが屋外現場で移動しながら、建築土木分野の実スケールで AR 検討するシーンを考えた場合、現実世界と 3D モデルとの高精度で連続的な位置合わせが課題である。そこで申請者らは、既往のセンサベース法 (位置合わせ基準: GPS や 3D センサ等)、ビジョンベース法 (同: 人工マーカ等) での課題を解決するため、ビジョンベース法で 3D モデルの近傍に位置合わせ基準を設置することを目指し、局所特徴量による画像マッチングと Structure from Motion (SfM) 技術を用いた位置合わせ手法によるマーカレス AR システムを開発した (「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」平成 25~27 年度 科学研究費補助金 基盤研究(C) 課題番号 25350010)。

一方、実現した AR システムは、現実空間に 3D モデルを重畳させて、設計段階での設計案表示、維持管理段階でのラベル表示など、視覚化の実現に留まっている。そのため、現実空間の環境情報をコンピュータが認識した上で、その環境情報を設計者が適宜参照しながら、新たな空間を検討するためのツールとしては使用できず、設計検討ツールとしての適用範囲に限界がある。例えば、現状空間の緑視率 (人間の視界の中に占める緑の割合) をコンピュータがまず推定して、現状の緑視率を改善するために新たな街路樹や壁面緑化等の 3D モデルを重畳させて、設計後の意匠と緑視率の変化を同時にシミュレーション可能な AR システムは実現していない。

2. 研究の目的

本研究は、緑視率などの現状の環境を推定して数値化した上で設計検討が可能な AR システムを開発した。AR ユーザは、構築するシステムを用いて、建設予定地や都市空間などの屋外・屋内現場で移動することを含めて、建築土木分野の実スケールで検討することが可能である。加えて、例えば、緑視率の場合には緑化状況の改善を推進する際に、設計案に対して、視覚化による定性的な評価のみならず、数値に基づく客観的な評価が期待できる。

近年、事業者や設計者が施主・利用者・国民に説明責任を果たす上で、Evidence-Based Design など設計内容の定量的評価が求められるようになってきているが、本システムは、このニーズを支援するものであり、可能な限り直感的、客観的、科学的に設計評価を行えるシステムを提供することに本研究の意義がある。

3. 研究の方法

以下の項目について、ニーズ、並びに、システム構築の検討を行い、順次実装し、テストした。システムは、汎用的なプラットフォームであるゲームエンジン上に開発した。

- ① AR/DR 光学的整合性: AR では 3D モデルとライブ映像を重ね合わせてリアルタイムに描画するが、3D モデルで表現する光の効果 (陰影の向きや濃さなど) と、ライブ映像の光の効果の違いにより、両者の境目が明らかになってしまい、臨場感が損なわれてしまう。また、DR (Diminished Reality: 隠消現実) は、AR と似た技術であるが、実在する空間や物体を仮想的に消す技術である。DR を AR に包含すれば、実在する建築物を解体撤去して新しいビルに建替える際の景観シミュレーションや、建物をリノベーションやコンバージョンする際には壁などの既存物を除去して新たな空間デザインを検討することが可能となる。一方、DR で仮想的に消去した物体の背景に現れる 3D モデルと実写映像との光学的整合性の実現は課題となる。この課題解決のため、特に違いの大きい「空」に着目して、3D モデルとライブ映像の空の光学的整合性の実現を検討した。
- ② マーカレス AR: AR で 3D モデルとライブ映像との位置・角度を正確に重ね合わせるために、システム起動後、ユーザ (AR カメラ) の移動・回転に応じて、3D モデルが正確な位置・向き・大きさで 3D 描画されるように、幾何学的整合性 (位置合わせ) を実現する必要がある。位置合わせ手法として、事前準備の少ないマーカレス AR が主流となりつつあるため、その動向を調査し、システム実装を通じて性能を検討した。
- ③ 緑視率推定機能: 現状環境を推定する対象として、カメラから取得するデータに着目した。そのため、緑の領域を自動的に抽出し、その緑量 (緑視率) を推定するシステムを検討した。
- ④ 天空率推定機能: ③に続いて、空の領域を自動的に抽出し、天空率を推定するシステムを検討した。③との違いは、③は通常のカメラで取得する映像であるのに対して、④は 180 度カメラで取得した映像であることが挙げられる。
- ⑤ オクルージョン: 3D モデルとライブ映像との正確な前後関係 (オクルージョン) 処理を検討する。例えば、ライブ映像の背景に、設計対象である 3D モデルを配置して、その前景 (カメラ再近傍の位置) にライブ映像が正確に表示される、という表現をリアルタイムに描画する。
- ⑥ テレプレゼンス: 現状環境認識の対象を、会議に参加している人やモノ (模型など) とすれば、システムの思想は遠隔会議に適用できるのではないかと考えた。近年では、スマートフォン/タブレット/PC 上でテレビ会議システムは実用段階であるが、2D 映像である。3D

モデルをリアルタイムに伝送し、遠隔の会議参加者が 3D で共有することができれば、ユーザは、より臨場感の高い状態（テレプレゼンス）で参加することが可能になる。

- ⑦ AR カメラの自由移動：通常、AR カメラは PC に接続された Web カメラやスマートフォン／タブレットに付属したカメラを使用しており、AR ユーザの近傍の映像のみを撮影することになる。ライブ映像撮影の自由度を高めることができれば、上空からなど、より様々な視点から AR による設計検討が可能になる。

4. 研究成果

- ① AR/DR 光学的整合性：DR で仮想的に消去した物体の背景に現れる空領域をテクスチャマッピングで表現する際に、ライブ映像の空表現と近づけるために、まず、深層学習システムを構築して、数多くの空画像を事前学習させた。そして、DR システム稼働時にライブ映像の空領域と近い画像を自動的に生成させた。さらに、画像処理を加えることで、現実により近い空画像を作成し、3D モデルの空領域にテクスチャマッピングすることで実現した（図 1）¹¹⁾。

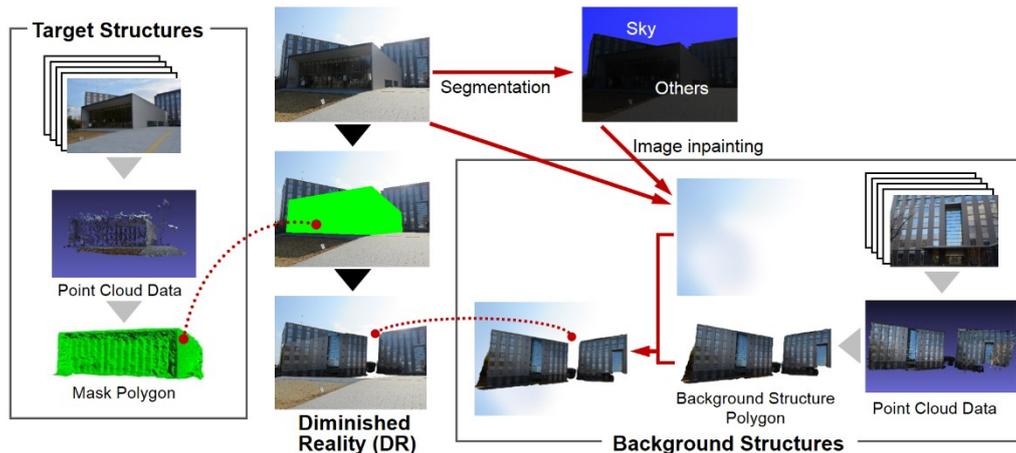


図 1 光学整合性を含む DR システムのフロー

- ② マーカーレス AR：カメラが眺める映像を基に自己位置推定と環境地図作成を行う SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術は事前準備が少なく、期待できる。そこで、SLAM に基づいた SDK (Software Development Kit) をゲームエンジンに組み込むことで、SLAM で位置合わせを行うマーカーレス AR を実装した⁹⁾¹²⁾¹⁴⁾。実験の結果、事前準備のコストダウンが図れるものの、屋外環境の位置合わせはそれほど安定的でないことを確認した。そのため、筆者らが以前に開発したマーカーレス AR (基盤研究(C) 課題番号 25350010) のトラッキング機能を改良して、屋外環境で利用可能な AR システムとした（図 2）⁸⁾。

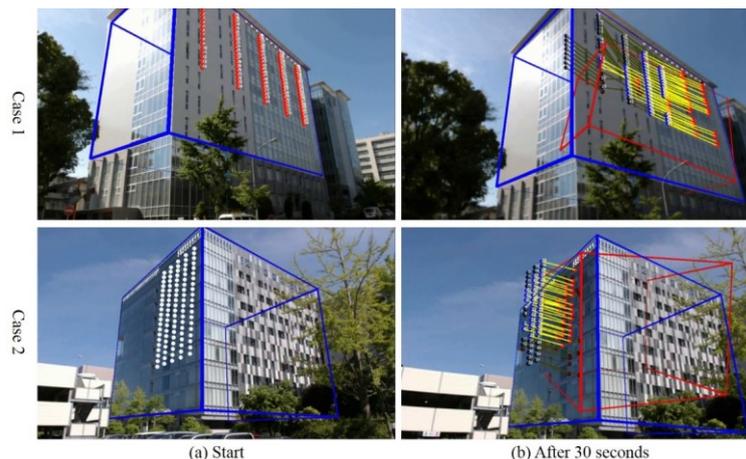


図 2 トラッキングの比較（青枠：新しいトラッキング機能，赤枠：既存のトラッキング結果（30 秒後には建物のアウトラインと一致せずトラッキングが破綻している））

- ③ 緑視率推定機能：まず、カメラから取得した画像に対して、画像処理（平滑化、クラスタ分析、色相・彩度抽出など）により画像中の緑色の領域を抽出するシステムを開発した（図 3）⁸⁾¹⁰⁾¹³⁾。しかしこの手法では、樹木の幹など緑色でない領域は抽出できない。そのため、深層学習システムを構築して、数多くの樹木画像を事前学習させ、システム稼働時に樹木領域を自動的に抽出するシステムを開発した（図 4）⁵⁾。尚、このモジュールは、現状のライブ映像への対応は可能であるものの、AR システムへは未実装である。

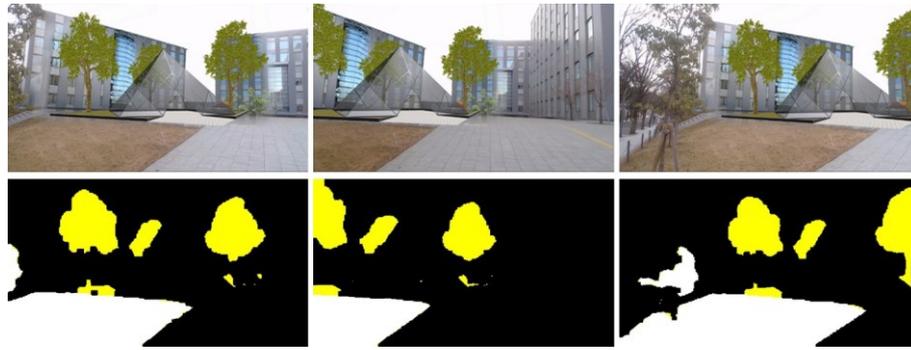


図3 AR/DRによるデザインシミュレーション（上段）景観シミュレーション，（下段）緑視率推定（白：現状，黄：計画）

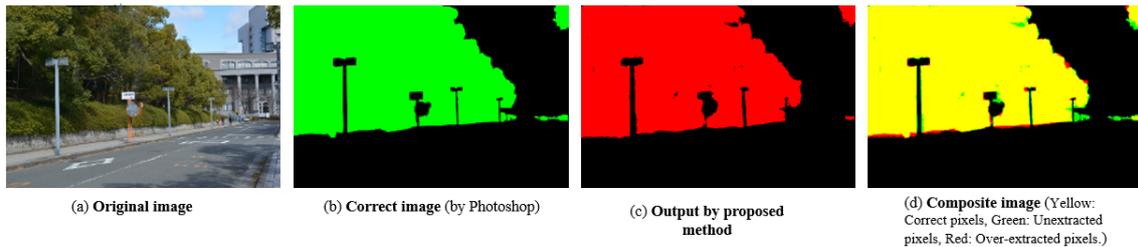


図4 (a) ライブ映像，(b) 正解画像，(c) 深層学習により推定した画像，(d) 合成画像（黄：正解，緑：未抽出，赤：過抽出）

- ④ 天空率推定機能：③の深層学習による成果を受けて，他の現状環境推定対象として，天空率の推定機能を深層学習により実装した．③と同じシステムを使用して，数多くの空画像を事前学習させたが，空領域を高精度に抽出することはできなかった．そこで，計算時間は要するものの高精細に抽出可能な他の深層学習エンジンを選択して，数多くの空画像を事前学習させることで，空領域を高精度に抽出することを確認した（図5）¹⁾．但し，計算時間を要するために，リアルタイム計算が求められるARシステムへは未実装である．

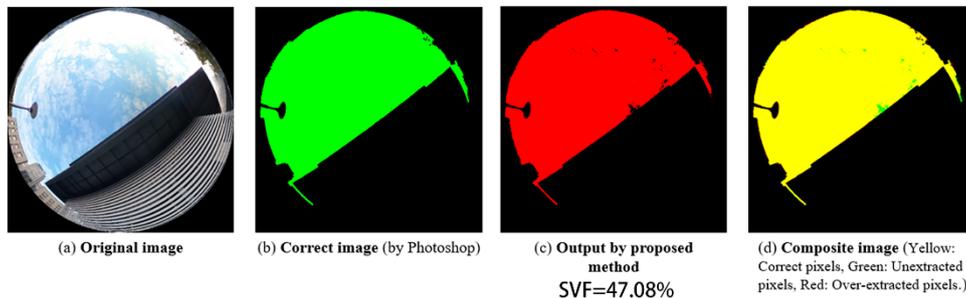


図5 (a) 空画像，(b) 正解画像，(c) 深層学習により推定した画像，(d) 合成画像（黄：正解，緑：未抽出，赤：過抽出）

- ⑤ オクルージョン：まず，数多くの写真から3Dモデルを高精細に作成可能なSfM（Structure from Motion）技術により前景（およびDR適用時の背景用3Dモデル）を作成し，ゲームエンジン上に事前定義することで，オクルージョンを実現することができた（図6）⁸⁾¹⁰⁾．この事前定義法では，ARシステム稼働中に変化しない構造物などは対応可能である．一方，ARシステム稼働中に画面内で変化する物体（動く人や車，樹木の揺れなど）をオクルージョンすることができない．この実現のためには，ARシステム稼働中にライブ映像中のオブジェクトをリアルタイムに抽出する必要がある．そこで，物体検出を高速に行う深層学習エンジンをゲームエンジンに組み込むことで，リアルタイムに変化する物体に対するオクルージョンを実現した．まずは，矩形抽出⁷⁾，次に，輪郭抽出により³⁾，オクルージョンをより正確に実現している（図7）．

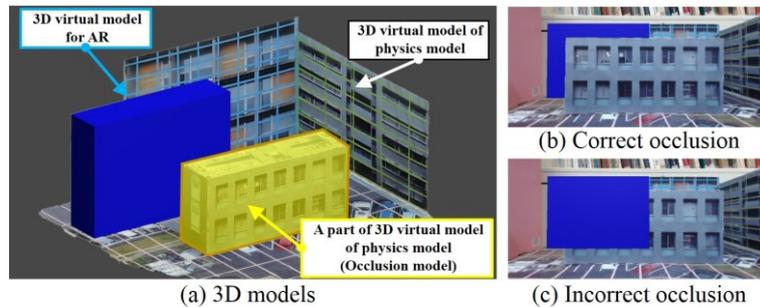


図 6 オクルージョンの実現

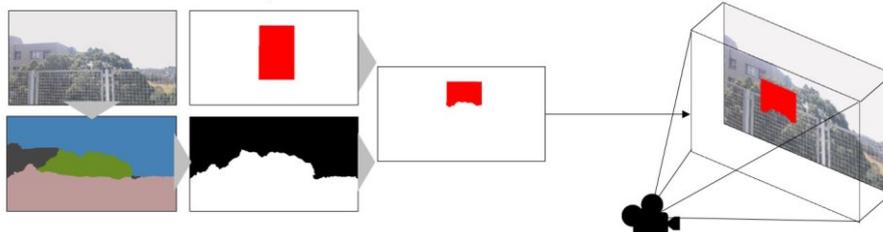


図 7 深層学習を用いた輪郭抽出によるオクルージョンの概念図

- ⑥ テレプレゼンス：RGB-D カメラを PC に接続して 3 次元モデル（動く人や模型など）をリアルタイムに取得し、ネットワーク伝送して、光学シースルー型 HMD（マイクロソフト HoloLens）を装着した別の場所にいる会議参加者が、3 次元モデルをリアルタイムに受信可能なテレプレゼンスシステムを開発した（図 8）⁶⁾。

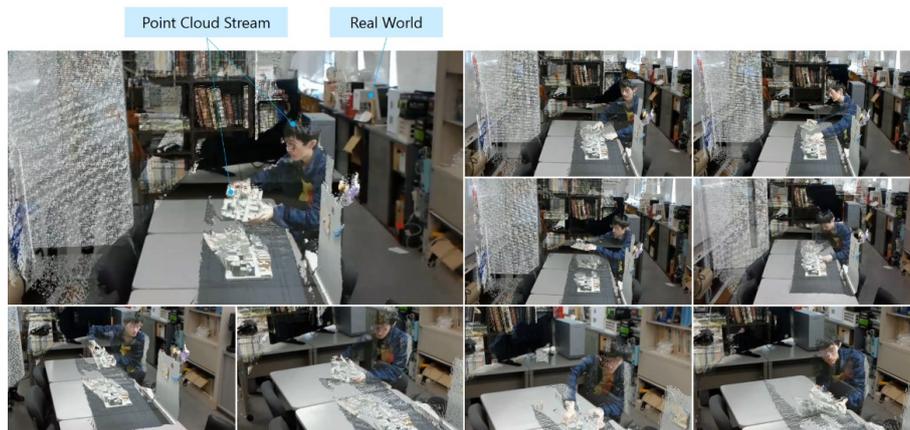


図 8 テレプレゼンスシステム（遠隔参加者の眺め）

- ⑦ AR カメラの自由化：ドローンに装着したカメラで取得したライブ映像を PC 上のゲームエンジンに伝送するためのシステムを設計した²⁴⁾。システムは未実装である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 0 件）

〔学会発表〕（計 14 件）

- 1) Rui Cao, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki: Quantifying Visual Environment by Semantic Segmentation Using Deep Learning, Proceedings of the 24th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2019), Volume 2, 71–80, 2019.4 (Full paper review).
- 2) Liang Yan, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki: Integrating UAV Development Technology with Augmented Reality Toward Landscape Tele-simulation, Proceedings of the 24th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2019), Volume 1, 423–432, 2019.4 (Full paper review).
- 3) 城戸大輝, 福田知弘, 矢吹信喜: Augmented Reality の動的オクルージョン解決に向けたリアルタイムセマンティックセグメンテーションシステムの開発, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第 41 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(報告), 31–34, 2018.12

- (査読無).
- 4) Liang Yan, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki : A Design of Landscape Tele-simulation System Using Unmanned Aerial Vehicle and Augmented Reality, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第41回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(報告), 35-38, 2018.12 (査読無).
 - 5) Rui Cao, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki : A Real-Time Visual Environmental Estimation System Using Image Segmentation: A Prototype for Green View Index, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第41回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(報告), 39-42, 2018.12 (査読無).
 - 6) Tomohiro Fukuda, Yuehan Zhu, Nobuyoshi Yabuki: Point Cloud Stream on Spatial Mixed Reality: Toward Telepresence in Architectural Field, Proceedings of the 36th eCAADe Conference, Vol. 2, 737-744, 17-21 September 2018, 2018.9 (Extended abstract review).
 - 7) Daiki Kido, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki: Development of Real-time Object Detection System with Diminished Reality for Landscape Design Simulation, Asian-Pacific Planning Societies 2018, p.223, 2018.8 (Abstract review).
 - 8) Kazuya Inoue, Tomohiro Fukuda, Rui Cao and Nobuyoshi Yabuki: Tracking Robustness and Green View Index Estimation of Augmented and Diminished Reality for Environmental Design - PhotoAR+DR2017 project, Proceedings of the 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2018), 339-348, 2018.5 (Full paper review).
 - 9) Yuehan Zhu, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki: SLAM-Based MR with Animated CFD for Building Design Simulation, Proceedings of the 23rd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2018), 391-400, 2018.5 (Full paper review).
 - 10) Tomohiro Fukuda, Kazuya Inoue, Nobuyoshi Yabuki: PhotoAR+DR2016: Integrating Automatic Estimation of Green View Index and Augmented and Diminished Reality for Architectural Design Simulation, Proceedings of the 35th eCAADe Conference - Volume 2, 495-502, 2017.9 (Extended abstract review).
 - 11) Tomohiro Fukuda, Yasuyuki Kuwamuro, Nobuyoshi Yabuki: Optical Integrity of Diminished Reality Using Deep Learning, Proceedings of the 35th eCAADe Conference - Volume 1, 241-250, 2017.9 (Extended abstract review).
 - 12) Munetoshi Miyake, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki, and Ali Motamedi: Outdoor MarkerLess Augmented Reality - A System for Visualizing Building Models Using Simultaneous Localization and Mapping, Proceedings of the 22nd International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2017), 95-105, 2017.4 (Full paper review).
 - 13) 井上和哉, 福田知弘, 矢吹信喜, Ali Motamedi : 環境設計支援手法としての緑視率測定と拡張現実機能を有する Diminished Reality システム, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第39回情報・システム・利用技術シンポジウム論文集(報告), 97-100, 2016.12 (査読無).
 - 14) 三宅宗俊, 福田知弘, 矢吹信喜, Ali Motamedi : 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, 日本建築学会・情報システム技術委員会 第39回情報・システム・利用技術シンポジウム論文集(報告), 137-140, 2016.12 (査読無).

[図書] (計 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?l=ja&u=7273>

6. 研究組織

(1)研究代表者

研究代表者氏名 : 福田 知弘

ローマ字氏名 : Fukuda Tomohiro

所属研究機関名 : 大阪大学

部局名 : 大学院工学研究科

職名 : 准教授

研究者番号 (8 桁) : 80379114