

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12681

研究課題名（和文）ディープラーニングを用いた環境推定が可能な環境設計支援複合現実感システムの開発

研究課題名（英文）Development of an environment design support mixed reality system capable of estimating the environment using deep learning

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） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、都市・建築分野を対象に、環境設計の3次元仮想モデルを現実世界と融合させて可視化すると共に、環境を自動的に推定することで関係者が客観的に検討可能なMR（複合現実）の実現を目指した。そのため、現実空間をオブジェクト毎にMRオクルージョン（仮想モデルと現実世界との前後関係の正確な表現）する方法、空中視点からのMRを可能にするドローンとMRの統合システムの開発、現実世界を仮想除去するDR（隠消現実）の高度化、水辺でのMR検討のための反射表現法、建物を対象とした深層学習用データセット自動生成法を開発、実装し、有効性を検証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、Society5.0すなわち「超スマート社会」の構築に向けて、深層学習とMRの統合を中心として現況と将来の環境認識と設計検討を高度に可能とするシステムを新たに開発した。研究を進める中で、ドローンとMRの統合や深層学習のデータセット生成法の開発へと発展させた。建築・都市設計分野では、正確な情報公開や説明責任、参加型まちづくりへのニーズは益々高まっており、建設DX（デジタルトランスフォーメーション）の中で、計画・設計内容を直感的、客観的に評価でき合意形成のコストを低減するシステムは必要とされており、本研究の意義は高い。

研究成果の概要（英文）：This research aimed to realize mixed reality (MR) for the urban and architectural fields, in which 3D virtual models of environmental design are visualized by merging them with the real world, and the environment can be automatically estimated and examined objectively by the stakeholders. To this end, this research achieves that the methods of MR occlusion of real space for each object (accurate representation of the back and forth relationship between the virtual model and the real world), an integrated drone and MR that enables MR from the sky, advanced DR (diminished reality) that virtually eliminates the real world, a reflection representation for MR to design near water, and an automatic sample generation for deep learning of building planes and facades were developed, implemented, and validated.

研究分野：環境設計情報学

キーワード：設計支援 複合現実 深層学習 動的オクルージョン処理 ドローン 隠消現実 景観シミュレーション インスタンスセグメンテーション

1. 研究開始当初の背景

魅力的な都市景観の形成には、事業に携わる関係者間で合意形成を図り、相互連携して事業を進めることが必要である。利害関係者には、行政機関や専門家だけでなく、住民や一般利用者も含まれるため、様々な専門性や知識レベルの差が予想される。そのため、事業前後の環境変化を計画設計段階から可視化し、利害関係者全体で事業内容を適切に共有して、合意形成を図ることが求められる。

設計検討方法として、拡張現実（AR: Augmented Reality）を用いた方法が着目されている。ARは実世界に情報を重畳する技術であり、視覚的なARはカメラから取得された実世界のライブ映像に3D仮想モデルをリアルタイムに重畳することで実現する。ARによる景観検討は、新設構造物の周辺環境を実写映像で表現するため、仮想現実（VR: Virtual Reality）の課題である周辺環境のモデリングの手間やコストを削減できる。さらに、実空間との繋がりを保持できる。事業予定地で新設構造物の3D設計仮想モデル（以下、3Dモデル）を実際のスケールで重畳させて確認するため、会議室での検討と比較して、より臨場感のある景観検討を可能にする。

景観検討用ARの課題として、実世界と仮想モデルの前後関係を正しい順番に表現できないオクルージョン問題がある。ARはカメラから取得した実写映像上に3Dモデルを重畳し表示することで実現するため、手前側に存在するはずの実物体が合成された3Dモデルに隠れてしまう。オクルージョンは奥行き情報を示す重要な指標であり、正確に表現することが求められる。申請者は既に「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（平成28—30年度 科学研究費補助金 基盤研究(C) 課題番号 16K00707）」において、ARと隠消現実（DR: Diminished Reality）による景観検討システムPhotoAR+DR2017を開発した。DRは実世界に存在する物体に対し、裏側の背景（以降、隠背景とする）を重畳することで視覚的消去を実現する技術である。PhotoAR+DR2017では、再開発事業などに適用可能とするため、複数の写真群から3Dモデルを復元するStructure from Motion (SfM) 技術により隠背景モデルを作成し、既設構造物を仮想除去することで、既設構造物の解体撤去前でもARによる正確な景観検討を可能にした。このシステムでは、ARにおけるオクルージョン問題に対し、SfMを用いて事前にオクルージョン表現を行う実物体モデル（以降、オクルージョンモデルとする）を作成し、ARモデルに隠れる部分についてARモデルのレンダリング対象から外すことで、オクルージョン表現を実装している。しかしこの方法では、木々のように実物体が時間や天候によって変化する場合、オクルージョンモデル作成時とシステム実行時のタイムラグにより、仮想モデルと実物体の形状に差が生じ、正確なオクルージョン表現が難しい。また、ARシミュレーション中に歩行者や車がカメラ前方を通過した場合、事前にオクルージョンモデルを作成することは困難であるため、オクルージョン表現は不可能である。したがって、動的オクルージョンが課題として残る。

一方、景観評価指標の例として緑視率がある。緑視率は、視界の中に占める自然の緑の割合を示す指標であり、視覚的な実感に近い指標であるため、都市景観の良好さと関連があると期待される。近年では、新築や増改築する場合において、景観形成基準の一つとして緑視率の基準を定めた自治体もある。

実用化されている緑視率測定方法は、緑視率を計測する視点場から写真撮影した後、画像処理ソフトウェアを用いて、緑視部を手動でマスキングして、抽出された領域の画素数を全体の画素数で除して、緑視率を測定する。しかし、この方法は、マスキング作業に時間を要すること、測定者により測定値にバラつきが生じることが課題である。そこで、緑視率を自動測定する方法として、申請者は、平滑化、拡大縮小、モルフォロジー、色相による緑色抽出などの画像処理アルゴリズムを組み合わせたリアルタイム緑視率推定機能を開発しPhotoAR+DR2017に統合化した。しかしこの方法では、緑色をした人工物が抽出されてしまうこと、木の幹や枝など緑色以外の樹木要素を抽出できないこと、などが課題として残った。

2. 研究の目的

本研究は、建築・都市分野を対象に、現状や将来の環境変化を推定しながら直感的、客観的、科学的に設計評価を行える複合現実（MR: Mixed Reality）システムの開発を行うことを目的とした。MRは、1章で述べたARと似た概念・技術である。

本研究では、上述した、動的オクルージョン処理を行うこと、緑視率などの環境評価指標をより高精度にリアルタイム推定することを実現するために、ディープラーニング（深層学習）におけるセマンティックセグメンテーション技術に着目する。セマンティックセグメンテーションは、画像に対し画素単位で識別、ラベル付けを行う技術であり、例えば、自動運転分野などにおいて走行領域や物体領域の抽出のために技術開発が急速に進められている。本研究は、セマンティックセグメンテーション技術とMRシステムの開発を行い最終的に統合し、さらにネットワーク対応とすることで、現況と将来の環境認識と設計検討を高度に可能とするシステムを新たに開発する点に独自性を有する。

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。尚、研究を進める上で、当初の目的を達成しようと推進した結果、新たな課題を得たので、実施したアプローチを含めて記載する。

4. 研究成果

- (1) 実世界をオブジェクト毎に MR オクルージョンするとともに現状と将来景観を定量的に推定可能なシステム

オクルージョンとは、仮想モデルと実世界との前後関係の正確な表現を指す。前章までに示した、動的オクルージョンを実現するために、実世界に存在するオブジェクトの輪郭をリアルタイムに検出可能なセマンティックセグメンテーションのネットワークモデルを MR で実行可能とするシステムを開発した。さらに、緑視率推定機能により、現況と将来景観を定量的に推定可能なシステムとした。セマンティックセグメンテーションのネットワークモデルを高速に処理するためには、屋外現地で使用するノート PC のスペックでは不満足でデスクトップ PC が必要となる。そこで、屋外現地で使用するノート PC とセマンティックセグメンテーションを処理するデスクトップ PC をネットワークで接続するリモート機能を開発した (図 1-1)。

一方、セマンティックセグメンテーションでは、同じクラスに含まれる複数のオブジェクトは同一クラスとして検出されてしまう。実世界のある車と別の車の間に、3D モデルを挿入するような MR オクルージョンは実現できない。そこで、インスタンスセグメンテーションのネットワークモデルを MR に統合し、オブジェクト毎に MR オクルージョンを実現する方法を開発した (図 1-2)。

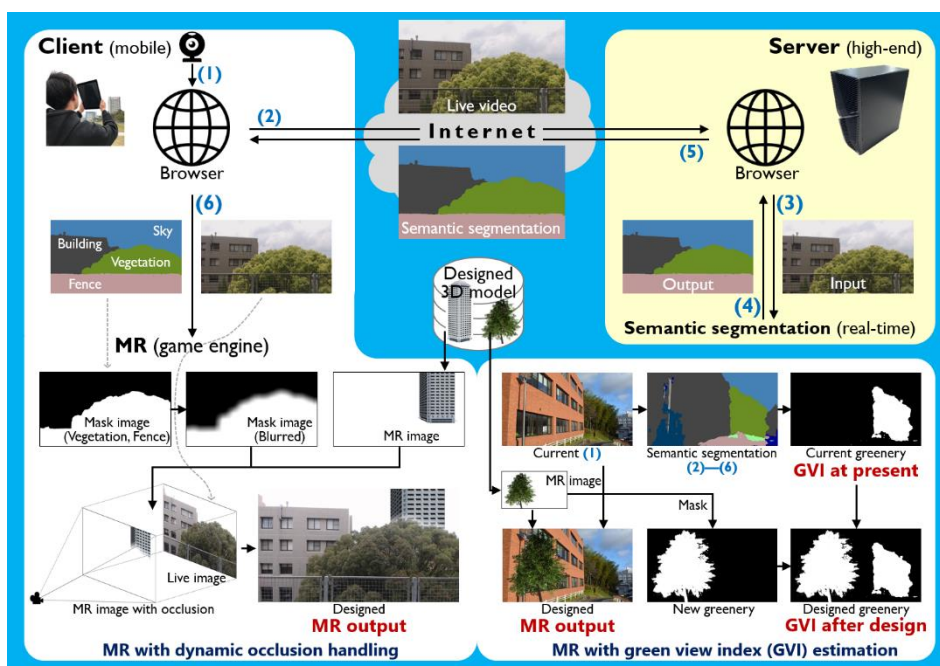


図 1-1 実世界のクラス毎に MR オクルージョンを可能にするとともに現状と将来の緑視率を自動推定するためのセマンティックセグメンテーションと MR の統合

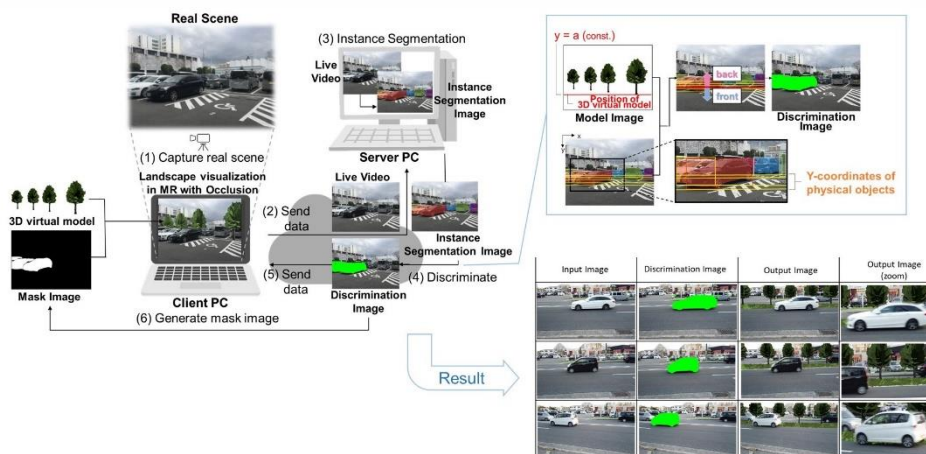


図 1-2 実世界のオブジェクト毎に MR オクルージョンを可能にするためのインスタンスセグメンテーションと MR の統合

(2) ドローンと MR の統合システムの開発

MR は通常、ユーザが携帯する端末で実行するため、MR で景観検討可能な視点は限られてしまう。空中など、より自由な視点からの MR を実現するために、ドローンと MR を統合した。

ドローンと MR を統合する際、仮想カメラやミラーリング技術を用いてドローンの機種に依存しない汎用的なシステム構成とした。さらに、4 章(1)で示したような MR オクルージョンを本システムで実現するために、深層学習のセマンティックセグメンテーションやインスタンスセグメンテーションによる処理を統合してみたものの、処理に時間がかかりすぎるため、MR で求められるリアルタイム性を確保できなかった。

そこで、都市デジタルツインの考え方を応用して、MR オクルージョンを実現した。まず、MR 検討を行う実世界と同じ仮想都市をゲームエンジン上に構築する。さらに、3D モデルを適切な位置に配置する。そして、3D モデル以外を、クロマキー処理できるように、単一色とする。そして、ドローンの飛行ルートと同じ飛行ルートを仮想都市に設定し、同期しながら描画すると、MR オクルージョンが実現できる (図 2-1)。さらに、景観検討用に MR 表示するのみならず、洪水シミュレーションの結果を MR 表示する機能も実装した。

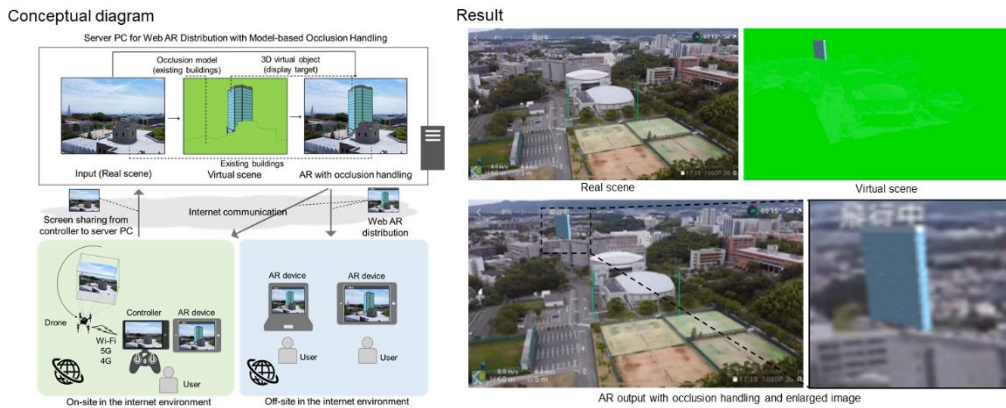


図 2-1 空中など、より自由な視点からの MR を実現するためのドローンと MR の統合

(3) 実世界を仮想除去する DR の高度化

DR 実行中に画面内に現れる移動オブジェクトを仮想除去するため、MR 実行中にリアルタイムに検出可能な機能を深層学習の物体検出モデルを用いて開発した (図 3-1)。

上記の段階では、仮想解体撤去する既存の建物と、検出した移動オブジェクトを仮想除去した後に現れる隠背景は、SfM より事前作成しておく必要があったが、事前準備コストを削減するためにこれらを MR 実行中に自動生成する方法を開発した。まず、解体撤去対象となる建物をセマンティックセグメンテーションで抽出する。抽出された領域をマスク処理する。マスク処理した領域に対して、敵対的生成ネットワーク (GAN: Generative Adversarial Network) により隠背景を自動生成する (図 3-2)。

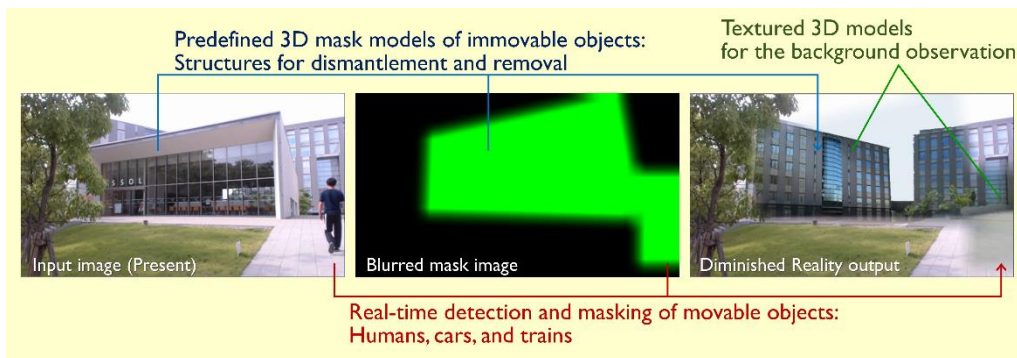


図 3-1 物体検出による移動オブジェクトの仮想除去を可能にする DR

Proposed method

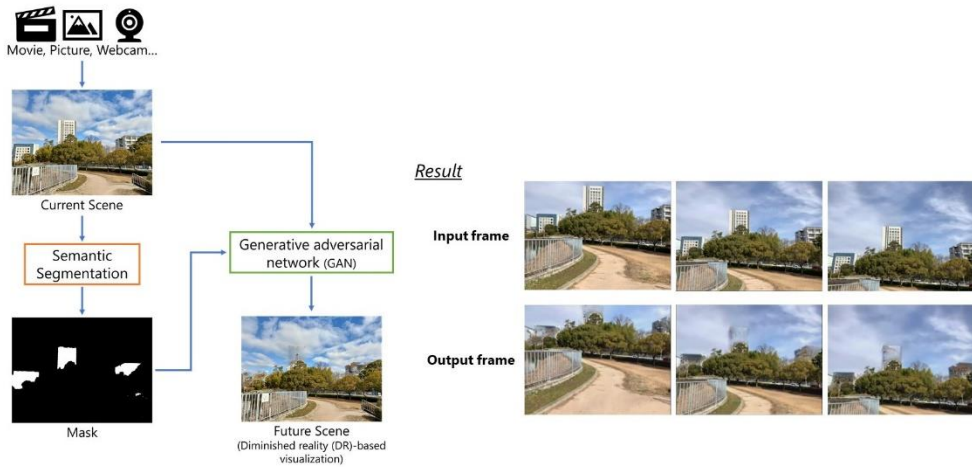


図 3-2 セマンティックセグメンテーションと GAN により仮想除去モデルと隠背景モデルの事前準備を不要にする DR

(4) 水辺での MR 検討のための反射表現

水辺を環境設計する際、例えば、3D モデルを水際に配置した際、その 3D モデルは、MR 画面上において、水辺に移りこんだ表現とはならず、正確性に欠けてしまう。

そこで、リアルタイムレイトレーシングのアルゴリズムを MR 環境に統合した。3D モデルをリアルタイムレイトレーシングにより、水面に反射する機能を実現した。

(5) 建物を対象とした深層学習用データセット自動生成法

深層学習を機能させるためには、膨大な学習サンプルを必要とする。実世界から建物を深層学習で検出したい場合、実世界の建物写真を大量に集めることと、その写真に含まれる建物領域（正解）を選択する膨大な作業が必要であり課題である。そこで、航空写真付き 3D モデルを利用して、建物の屋根などのマスク画像を含むデータセットを自動生成するシステムを開発した。さらに、航空写真に含まれる雲を GAN により自動除去する機能を実装した（図 5-1）。

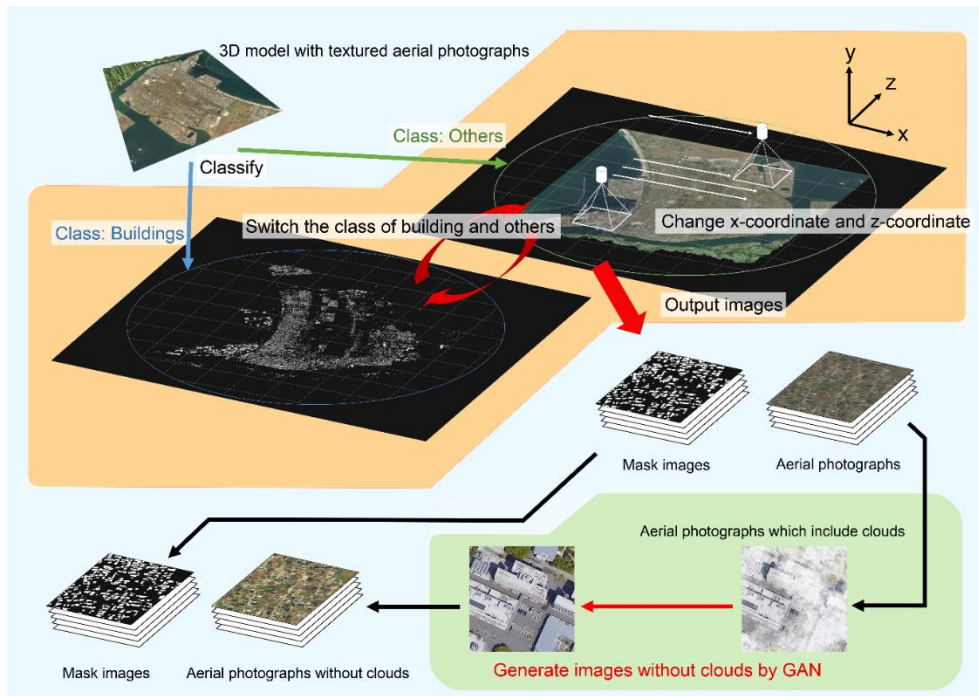


図 5-1 深層学習用データセット自動生成法：航空写真の薄雲を自動除去し 3D モデル等で高品質な建物マスク画像を生成する

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Kido Daiki, Fukuda Tomohiro, Yabuki Nobuyoshi	4. 巻 48
2. 論文標題 Assessing future landscapes using enhanced mixed reality with semantic segmentation by deep learning	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Informatics	6. 最初と最後の頁 101281 ~ 101281
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aei.2021.101281	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Kido Daiki, Fukuda Tomohiro, Yabuki Nobuyoshi	4. 巻 131
2. 論文標題 Diminished reality system with real-time object detection using deep learning for onsite landscape simulation during redevelopment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Modelling & Software	6. 最初と最後の頁 104759 ~ 104759
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.envsoft.2020.104759	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Ikeno Kazunosuke, Fukuda Tomohiro, Yabuki Nobuyoshi	4. 巻 50
2. 論文標題 An enhanced 3D model and generative adversarial network for automated generation of horizontal building mask images and cloudless aerial photographs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Engineering Informatics	6. 最初と最後の頁 101380
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.aei.2021.101380	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Zhang Jiaxin, Fukuda Tomohiro, Yabuki Nobuyoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Automatic Object Removal With Obstructed Facades Completion Using Semantic Segmentation and Generative Adversarial Inpainting	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 117486 ~ 117495
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3106124	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kikuchi Naoki、Fukuda Tomohiro、Yabuki Nobuyoshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Future landscape visualization using a city digital twin: integration of augmented reality and drones with implementation of 3D model-based occlusion handling	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Computational Design and Engineering	6. 最初と最後の頁 837 ~ 856
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/jcde/qwac032	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Zhang Jiabin、Fukuda Tomohiro、Yabuki Nobuyoshi	4. 巻 10
2. 論文標題 Development of a City-Scale Approach for Facade Color Measurement with Building Functional Classification Using Deep Learning and Street View Images	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ISPRS International Journal of Geo-Information	6. 最初と最後の頁 551
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ijgi10080551	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Kazunosuke Ikeno, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 Automatic Generation of Horizontal Building Mask Images by Using a 3D Model with Aerial Photographs Removed Thin Clouds by Generative Adversarial Network for Deep Learning
3. 学会等名 CAADRIA 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kazunosuke Ikeno, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 Automatic Generation of Horizontal Building Mask Images by Using a 3D Model with Aerial Photographs for Deep Learning
3. 学会等名 eCAADe 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daiki Kido, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 Mobile mixed reality for environmental design using real-time semantic segmentation and video communication: Dynamic occlusion handling and green view index estimation
3. 学会等名 CAADRIA 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohiro Fukuda
2. 発表標題 x-Reality for Architectural & Urban Design: Towards super-smart society
3. 学会等名 SIGraDi 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mizuki Nakabayashi, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 A Landscape Simulation Method with One-by-one Dynamic Occlusion Using Instance Segmentation in Mixed Reality: Image generation method focusing on the grounding for occlusion
3. 学会等名 日本建築学会 第43回情報・システム・利用・技術シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoki Kikuchi, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 Augmented Reality landscape Simulation System with Occlusion Handling that Allows free Movement by a Small Drone: Improved hardware dependency
3. 学会等名 日本建築学会 第43回情報・システム・利用・技術シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mizuki Nakabayashi, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 An On-site Landscape Simulation Method that Enables One-by-one Dynamic Occlusion in Mixed Reality with Instance Segmentation
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Naoki Kikuchi, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 A Landscape Simulation Method with Free-Viewpoints Using a Small Drone and Web-based Augmented Reality
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Daiki Kido, Tomohiro Fukuda, and Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 Development of a Semantic Segmentation System for Dynamic Occlusion Handling in Mixed Reality for Landscape Simulation
3. 学会等名 The eCAADe + SIGraDi 2019 Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Daiki Kido, Tomohiro Fukuda, Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 Integration of Real-Time Video Communication and Semantic Segmentation over the Internet Toward Dynamic Occlusion Handling in Mobile Mixed Reality for Landscape Simulation
3. 学会等名 日本建築学会 第42回情報・システム・利用・技術シンポジウム
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Daiki Kido, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2 . 発表標題 Mobile Mixed Reality for Environmental Design Using Real-Time Semantic Segmentation and Video Communication: Dynamic Occlusion Handling and Green View Index Estimation
3 . 学会等名 The 25th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Jiaxin Zhang, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2 . 発表標題 Image-based Cityscape Visualization with Automatic Object Removal and Facade Inpainting Using Semantic Segmentation and Generative Adversarial Networks
3 . 学会等名 12th annual Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design (SimAUD 2021) (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Hao Chen, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2 . 発表標題 Development of an Augmented Reality System with Reflection Implementation for Landscape Design Visualization using a Planar Reflection Method in Real-Time Rendering
3 . 学会等名 39th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1 . 発表者名 Takuya Kikuchi, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2 . 発表標題 Automatic Diminished Reality-Based Virtual Demolition Method using Semantic Segmentation and Generative Adversarial Network for Landscape Assessment
3 . 学会等名 39th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe 2021 (国際学会)
4 . 発表年 2021年

1. 発表者名 Naoki Kikuchi, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 Landscape Visualization by Integrating Augmented Reality and Drones with Occlusion Handling to Link Real and Virtual Worlds: Towards city digital twin realization
3. 学会等名 39th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mizuki Nakabayashi, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 Mixed Reality Landscape Visualization Method with Automatic Discrimination Process for Dynamic Occlusion Handling Using Instance Segmentation
3. 学会等名 39th International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, eCAADe 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hao Chen, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 Developing an Augmented Reality System with Real-Time Reflection for Landscape Design Visualization, Using Real-Time Ray Tracing Technique
3. 学会等名 27th CAADRIA Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoki Kikuchi, Tomohiro Fukuda and Nobuyoshi Yabuki
2. 発表標題 How a Flooded City Can Be Visualized from Both the Air and the Ground with the City Digital Twin Approach, System Integration of Flood Simulation and Augmented Reality with Drones
3. 学会等名 27th CAADRIA Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

〔産業財産権〕

〔その他〕

障害物を除去し建物ファサードの全景を効率的に復元する方法を開発：セグメンテーションで自動検出、除去領域をGANで補完
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210907_1
建物の機能分類（住宅・オフィス・商業施設等）と建物ファサードカラー測定による大都市スケールの空間分析法：ストリートビュー画像と深層学習モデルで定量的分析を効率化
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210906_2
航空写真の薄雲を自動で除去 深層学習用建物マスク画像の自動生成：GANと3Dモデルで効率的に高品質な建物マスク画像の生成を実現
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210820_1
景観シミュレーション用のDRに新技術：AIを統合して移動物体をリアルタイムに除去
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2020/20200617_1
景観シミュレーション用のMRに新技術：AIを統合して動的なオクルージョン処理と景観指標の推定を実現
https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210324_1
【まちづくりに応用可】大阪大学大学院 仮想空間から移動物体を除去する「DRシステム」開発
<https://www.kensetsunews.com/web-kan/467230>
CAADRIA 2021でBest Paper Award Runner-Upを受賞
<https://www.eng.osaka-u.ac.jp/ja/topics/researchresult/6282/>
「AIで現実のものを消し去る「DR」とは!?」子供の科学 2020年9月号
<https://www.seibundo-shinkosha.net/magazine/kids/47319/>
英国の雑誌「Impact」に紹介されました。
<http://www.see.eng.osaka-u.ac.jp/topics/media/4242.html>

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------