

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03273

研究課題名（和文）修復と観測の融合に基づく隠消現実感の高度化

研究課題名（英文）Advancement of diminished reality based on fusion of inpainting and observation

研究代表者

河合 紀彦（Kawai, Norihiko）

大阪工業大学・情報科学部・准教授

研究者番号：30610670

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、リアルタイムのカメラ映像から不要物を消去する隠消現実感を様々な環境でも実現するため、見えない背景を推定する画像修復による手法および実際に背景を撮影して合成する観測による手法をそれぞれ発展させるとともに、画像修復と観測を融合した隠消現実感の手法の開発を行った。また、隠消現実感を応用したシステムの開発を行った。開発した各手法の有効性を示すために、一般的なカメラで取得できる画像の他に、全方位カメラやRGB-Dカメラで取得できる多様なカラー画像・デプス画像や映像を用いて検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現実世界に新たなCGなどを追加し情報をよりわかりやすく提示できる拡張現実感や人間の能力をコンピュータによって拡張する人間拡張において、物体を映像から消去したり減衰させたりする隠消現実感が必要な要素技術であり、現実の様々なシーンで不要物を視覚的に違和感なく消去することが望まれる。本研究ではこの課題に対して、様々な手法の開発により、従来手法では難しかった様々なシーンにおいて、違和感のない物体の消去を実現し、今後の拡張現実・人間拡張の進歩に大きく貢献する成果を挙げた。

研究成果の概要（英文）：In this research project, in order to realize diminished reality that visually removes unwanted objects from real-time camera images in various environments, we developed methods of image inpainting that estimates the invisible background and methods of observation that actually photographs and combines the background, respectively. We also developed a method of diminished reality that combines image inpainting and observation. In addition, we developed systems that applies diminished reality.

In order to demonstrate the effectiveness of each developed method, we verified them using images that can be acquired by various cameras such as omnidirectional cameras that capture omnidirectional images and RGB-D cameras that acquire color and depth images as well as ordinary cameras.

研究分野：画像処理、コンピュータビジョン、拡張現実感、複合現実感、バーチャルリアリティ

キーワード：隠消現実感 画像修復 画像合成 不要物消去

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

ここ数十年の拡張現実感技術の発展に伴い、現実世界を撮影した映像中に仮想物体を重畳し、物体がまるでその場にあるかのようにユーザに知覚させるアプリケーションが普及してきている。具体的なアプリケーションの一つとして、建物や家具の仮想物体をリアルタイム映像中に重畳する景観・家具配置シミュレーションがある。これは、予め建物や家具等のCGを用意しておき、カメラの位置姿勢に合わせてそれらを映像中の正しい位置にリアルタイムで重畳することで、仮にその場に建物が建築された場合や家具が配置された場合の景観を可視化し、リアリティのあるシミュレーションを行うものである。このようなアプリケーションにおいて、これまでの拡張現実感の技術では、新たに仮想物体を加えることはできるが、現存する物体を取り除くことはできず、そのまま映像中に残ってしまう。このため、建物の建て替えや家具の買い替えで新たに加える物体の方が小さいときには利用が難しいという問題があり、現存物体の視覚的な消去が望まれる。また、人間拡張に関する研究も近年盛んに行われており、その中でも視覚の操作つまり提示画像の編集により、人間の感情操作や能力向上を試みている。このような視覚操作において大きな効果を生むためには特定物体の縮小や消去が望まれる。このように、拡張現実感を用いたシミュレーションや人間拡張において満足のいく効果を得るためには、様々なシーンにおいて自由に動くカメラ映像中から現実物体を視覚的に消去する隠消現実感（DR: Diminished Reality）技術が必要不可欠である。

2. 研究の目的

多様かつ現実的なシーンにおいて、現実空間を撮影したリアルタイムのカメラ映像からユーザの指定する実物体を視覚的に違和感なく消去する隠消現実感（DR）を実現するための基盤技術を構築することを目的とする。また、隠消現実感の応用システムを構築し、その有効性を検証する。

3. 研究の方法

隠消現実感を実現するための手法は、対象物体の背景を周辺のテクスチャを用いて背景画像を推定する画像修復（Inpainting）に基づく手法と、対象物体の背景を別の視点から撮影しそれを合成する観測に基づく手法に大別できる。本研究課題では、多様かつ現実的なシーンにも対応できる隠消現実感の手法を実現するために、それぞれの手法を発展させるとともに、修復と観測を融合する手法の開発を行った。また、それを応用しシステム開発を行った。具体的には、以下の項目について研究を行った。

(1) 画像修復技術の発展

画像修復においてより違和感のない画像を生成するために、機械学習によって修復結果の品質を判定することで再修復領域を指定し、修復をやり直す繰り返し処理を行う手法を開発した。

(2) 観測技術の発展

観測において違和感なくテクスチャを合成するためには、画像間の位置合わせおよび画像間の色調の調整が必要となる。このため、顔画像のマスクや全方位画像の撮影者を対象物として位置合わせおよび色調の補正により違和感なく消去する手法を開発した。

(3) カラー画像とデプスの同時修復による隠消現実感の手法の実現

画像修復に基づく手法では、従来、一般的なカラーカメラを用いてSLAMにより隠消現実を実現していたが、対象の背景にテクスチャが必要といった制限や、背景の形状が複数平面でできているという制限があった。このため、RGB-Dカメラを用いるとともに、カラー画像だけでなくデプス画像も同時に修復することで、制限を緩和した手法を開発した。

(4) 動物体に対応した画像修復の高速化による隠消現実感の実現

画像修復を高速化しリアルタイムに動作させることで、動物体にも対応できる隠消現実感手法を開発した。

(5) 観測型と修復型を融合した隠消現実感の実現

カメラが動くに従って修復と観測によるテクスチャの合成を動的に変えていく隠消現実手法を開発した。

(6) 隠消現実感を応用したシステム開発

物体を消去する隠消現実を応用したシステムとして、視覚的なノイズを抑制するHMD、地震シミュレータを開発した。

4. 研究成果

上記の各項目に対する研究成果を以下に示す。

(1) 画像修復技術の発展

機械学習の修復結果の品質の判定により再修復領域を指定し修復を繰り返す手法を開発

し、様々な画像で修復を行い、その有効性を検証した。図1に入力画像、従来手法による結果、提案手法による結果を示す。図より、提案手法では明らかに従来手法より良い結果が得られており、この修復手法を隠消現実にも応用することで、様々なシーンでより違和感のない物体除去が実現できることを確認した。



図1 画像修復の実験と比較
(左から、欠損を指定した入力画像、従来手法の結果、提案手法の結果)

(2) 観測技術の発展

消去したい物体として顔のマスクおよび全方位画像の撮影者を対象とした手法をそれぞれ開発し、複数の画像を用いて検証を行った。図2に顔画像中のマスクを消去した実験、図3に全方位画像の撮影者を消去した実験を示す。

図2にマスク消去の入力と結果を示す。図の左から1番目のマスクをつけた画像および左から2番目のマスクを着けていない画像を入力し、2枚目の画像を1枚目の画像の見え方に StyleGAN2 により変換し合成し3枚目に示す結果を得られた。また、それに加えて、4枚目に示す表情を笑顔に変換した修復結果を得られた。両結果とも違和感のない修復結果が得られており、提案手法の有効性を確認した。

図3に撮影者消去の入力と結果を示す。図3(a)に示す撮影者がカメラを中心として回りながら撮影した全方位画像3枚を入力し、それらを特徴点マッチングと平行移動により位置合わせし、ポアソン画像合成により色調を補正して合成することで図3(b)に示す結果を得た。図より、撮影者が違和感なく消去されており、提案手法の有効性を確認した。

これらのように、様々な条件で隠消現実感に応用できる観測技術の発展を行った。



図2 マスク消去の実験 (左から、マスクをつけた入力画像、マスクをつけていない観測入力画像、マスク消去結果1、マスク消去結果2)



(a) 撮影者が移動しながら撮影した入力画像群



(b) 撮影者消去結果

図3 全方位画像から撮影者を消去する実験

(3) カラー画像とデプスの同時修復による隠消現実感の手法の実現

カラー画像とデプス画像を同時に扱う手法として2種類の手法を開発した。まずカラー

画像およびデプスから得られる法線マップに対して同時修復を行い、隠消現実感を実現した。図4に、入力のソファの上の対象物を写したカラー画像とデプス画像、それを法線マップを介して修復した結果を示す。図より、違和感なくカラー画像と形状の修復ができており、これを用いて隠消現実感を実現した。

次に、背景形状が平面であるということを前提としてデプスを修復し、RGB-DカメラのKinectを用いた手法による実験結果を図5に示す。図より、従来では対応できなかったテクスチャがないような平面に対しても、対象の時計を違和感なく消去できていることが確認できる。

これらの通り、カラー画像とデプス画像の同時修復により従来よりも制約を緩和したシーンにおいても隠消現実感を実現した。

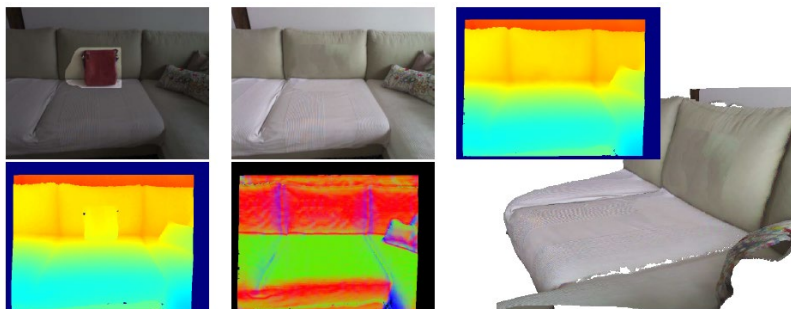


図4 カラー画像と法線マップ修復による隠消現実感の手法の実験（左から、入力のカラー画像とデプス画像、修復したカラー画像と法線マップ、復元したデプス画像と三次元復元したシーン）

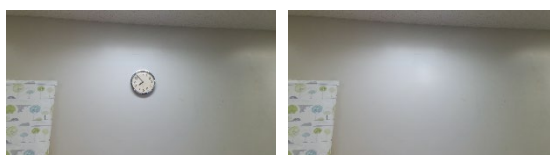


図5 カラー画像と平面あてはめによる隠消現実感の手法の実験（左から入力フレームとその出力結果）

(4) 動物体に対応した画像修復の高速化による隠消現実感の実現

従来の画像修復手法は、修復に数秒程度の時間がかかるため、隠消現実感においては対象を静止物体とし、一度修復した結果を以降のフレームで使いまわすことで動画からの物体消去を実現していた。これに対し、GPUを用いた画像修復の高速化により、5fps程度で毎フレーム修復し、図6に示すように動物体にも対応できる隠消現実感を実現した。

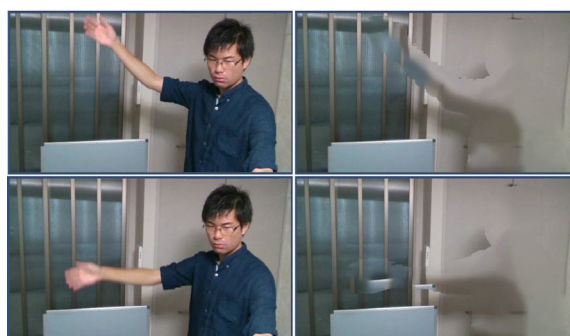


図6 動物体に対応した隠消現実感手法の実験

(5) 修復と観測を融合した隠消現実感の実現

物体の消去において、画像修復して生成した背景画像は必ずしも本物の背景と一致するとは限らない。また、画像修復をするにしても、画像内の対象領域が小さい方が修復結果の品質が良好な場合が多い。そこで、既に観測された領域に関しては、その画像を合成し、残りの領域に対してのみ画像修復を行う手法を開発した。図7に、実験における入力画像、観測のみの結果、修復のみの結果、修復と観測を融合した提案手法の結果を示す。図より、修復のみでは背景の物体（ペンギンの足）が適切に再現されていないが、融合す

ることで、適切に再現し、また観測できない箇所も修復を行い、対象物体が消去できていることが確認できる。これより、修復と観測を融合する有効性を確認した。

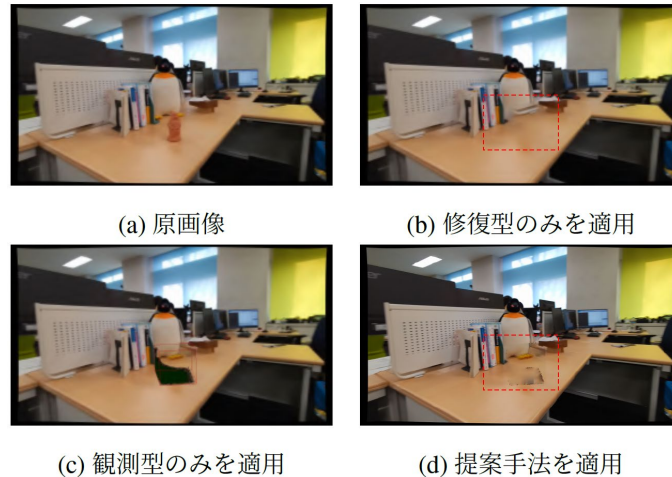


図7 修復と観測の融合による隠消現実感手法の実験と比較

(6) 隠消現実感を応用したシステム開発

物体を視覚的に抑制するまたは消去することが有効なシステムの開発を行った。まず、図8に示すように、仕事などの作業において周りの人などの視覚的なノイズをぼかし処理により抑制するHMDを開発した。実験により作業効率を高められることを確認した。

次に、地震シミュレータの開発を行った。従来の地震シミュレータでは普段いる場所とは異なる特殊な環境で行うため、現実感が薄いという問題がある。これに対して、図9に示すように、普段いる場所において、棚などの物体を仮想化し、それが倒れてくるようなシーンをVRで作成し、HMDで体験するシステムを開発した。このとき、倒れてくる物体を予め画像中で消去しておくことで、物体の転倒の臨場感を高めた。

これらの開発によって、隠消現実感の様々なシステムでの有効性を検証した。

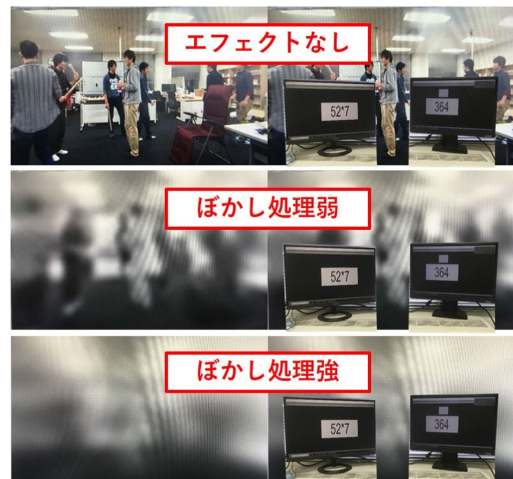


図8 視覚的ノイズの抑制HMDの開発



図9 地震シミュレータの開発（左：ユーザの体験の様子、右：ユーザの視野）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Takahiro Tanaka, Norihiko Kawai, Yuta Nakashima, Tomokazu Sato, Naokazu Yokoya	4. 巻 55
2. 論文標題 Iterative applications of image completion with CNN-based failure detection	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Visual Communication and Image Representation	6. 最初と最後の頁 56-66
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jvcir.2018.05.015	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 -

〔学会発表〕 計34件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 12件）

1. 発表者名 Hiroaki Koike, Norihiko Kawai
2. 発表標題 Facial mask region completion using StyleGAN2 with a substitute face of the same person
3. 学会等名 International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IW-FCV) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ryusei Noda, Norihiko Kawai
2. 発表標題 Generation of omnidirectional image without photographer
3. 学会等名 International Workshop on Frontiers of Computer Vision (IW-FCV) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木内一隆, 河合紀彦
2. 発表標題 デブスカメラを用いた平面上の物体を対象とした隠消現実感
3. 学会等名 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 (MVE)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤太希, 磯山直也, 河合紀彦, 内山英昭, 酒田信親, 清川清
2. 発表標題 観測型と修復型の利点を併せ持つ隠消現実感手法の提案と評価
3. 学会等名 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 (MVE)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石原翼, 中西隆太, 河合紀彦
2. 発表標題 代替現実を応用した地震シミュレータ
3. 学会等名 電子情報通信学会 メディアエクスペリエンス・バーチャル環境基礎研究会 (MVE)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野田隆成, 河合紀彦
2. 発表標題 撮影者を含まない全方位画像の生成
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小池泰景, 河合紀彦
2. 発表標題 同一人物の正面の顔を用いたStyleGAN2による顔のマスク領域の補完
3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 杉本宗一郎, 河合紀彦, 清川清
2. 発表標題 動的環境に対応するリアルタイムDRのための画像修復アルゴリズムの高速化
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会 複合現実感研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 古志将樹, 磯山直也, 酒田信親, 清川清
2. 発表標題 周辺環境の視覚的ノイズ減衰機能を有するノイズキャンセリングHMDの基礎的検討
3. 学会等名 情報処理学会シンポジウム インタラクション2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shohei Mori, Jan Herling, Wolfgang Broll, Norihiko Kawai, Hideo Saito, Dieter Schmalstieg, Denis Kalkofen
2. 発表標題 3D PixMix: Image inpainting in 3D environments
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shingo Okeda, Hikari Takehara, Norihiko Kawai, Nobuchika Sakata, Tomokazu Sato, Takuma Tanaka, Kiyoshi Kiyokawa
2. 発表標題 Toward more believable vr by smooth transition between real and virtual environments via omnidirectional video
3. 学会等名 IEEE International Symposium for Mixed and Augmented Reality (ISMAR2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	清川 清 (Kiyokawa Kiyoshi) (60358869)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・教授 (14603)	
研究分担者	佐藤 智和 (Sato Tomokazu) (50362835)	滋賀大学・データサイエンス学部・教授 (14201)	
研究分担者	酒田 信親 (Sakata Nobuchika) (40452411)	龍谷大学・先端理工学部・准教授 (34316)	
研究分担者	中島 悠太 (Nakashima Yuta) (70633551)	大阪大学・データビリティフロンティア機構・准教授 (14401)	

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
---------	---------