

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：14603

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2011～2014

課題番号：23240024

研究課題名(和文)実環境のセンシングに基づく時空を越えた複合現実型情報提示

研究課題名(英文)Mixed Reality over Space and Time Based on Sensing Real World Environments

研究代表者

横矢 直和 (YOKOYA, Naokazu)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：10252834

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 37,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、生活の質向上を目指して、ユーザを含む実環境のセンシングを基盤として、時間的・空間的に離れた場所に実際に居るかのような感覚を提示するテレプレゼンス技術と、実環境の場所に依存した過去と現在の情報の実時間重畳提示が可能な拡張現実感技術を融合し、時空を超えた複合現実型情報提示の基盤技術を開発した。また、実環境内の不要な物体を消去して拡張現実感映像を生成する隠消現実感も実現した。実際の研究推進においては、要素技術の開発にとどまらず、東大寺境内や平城宮跡等の実験フィールドを対象として「史跡のバーチャル歴史体験」の具体的なシナリオを設定し、一般公開実験を通して提案技術の有効性・有用性を実証した。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the quality of life, this research has developed mixed reality-based information presentation techniques by integrating telepresence which makes it possible to virtually visit remote sites with immersive sensation, and augmented reality which presents location-dependent information over space and time superimposed on real-world images onsite in real-time. In this framework, we have also realized diminished reality, which can hide undesired objects in real worlds from augmented scene images in real-time. In addition to the development of mixed reality techniques, this study can be characterized by its empirical aspect. We have developed a number of prototype systems under the scenario of virtual historic experience and have carried out experiments open for public in typical historic sites in Nara such as the Heijo Palace site and the grounds of Todaiji Temple. These experiments have successfully demonstrated the effectiveness and usefulness of the proposed techniques.

研究分野：コンピュータビジョン、バーチャルリアリティ、複合現実感

キーワード：複合現実感 センシング 拡張現実感 テレプレゼンス コンピュータビジョン

1. 研究開始当初の背景

ユビキタスネットワーク社会における新しい情報提示手段として、現実世界と仮想世界の融合を目指す「複合現実感」技術が世界的に注目されている。特に、時間的・空間的に離れた場所にあたかも実際に居るかのような感覚を与える「テレプレゼンス」と、実環境のその場で場所に依存した情報を重畳提示する「拡張現実感」は、安全・安心・快適な生活環境を実現するための中核技術として期待されていた。そのためには、ユーザを含む実環境のセンシングとプロトタイプ開発を通じた実証研究が不可欠であると考へた。

2. 研究の目的

本研究では、複合現実感技術による安全・安心・快適に係る生活の質の向上を目指して、ユーザを含む実環境のセンシングを基盤として、時間的・空間的に離れた場所に実際に居るかのような感覚を提示するテレプレゼンス技術と、実環境の場所に依存した過去と現在の情報の実時間重畳提示が可能な拡張現実感技術を融合し、時空を越えた複合現実型情報提示を実現することを目的とした。これによって、日常生活を支援する、人間との親和性の高い情報提示技術の確立を目指した。実際の研究推進においては、研究室での技術開発に偏るのではなく、「実際の史跡でのバーチャル歴史体験」等の具体的なシナリオを設定し、プロトタイプシステムを開発するとともに、一般公開実験を通じた実証を重視した。

3. 研究の方法

時空を越えた複合現実型情報提示技術の開発という研究目的を達成するために、平成23年度～26年度の4年間に以下の3つの研究項目を実施した(研究の全体計画については図1参照)。

- (1) ユーザを含む実環境のセンシング
- (2) 過去・現在に渡る拡張テレプレゼンス
- (3) 過去・現在に渡る拡張現実感

本研究では、センシンググループ、テレプレゼンスグループ、拡張現実感グループの密な連携が不可欠であり、上記3項目の基本技術開発と並行して、初年度から研究成果を統合した拡張テレプレゼンスシステムと拡張現



図1 本研究の全体計画

実感システムのプロトタイプ開発に着手し、屋外実環境での一般公開実験を通して提案システムを検証・改良するという、実証的アプローチを採った。

4. 研究成果

以下では、研究項目ごとの主要な成果について述べる。

(1) ユーザを含む実環境のセンシング

全方位カメラとGPS等を搭載した車両と無人飛行船を用いて地上撮影と空撮を行う全方位映像移動撮影システム(図2参照)および人体装着型全方位映像撮影システムを構築した。空撮に関しては、多重露出による映像のハイダイナミックレンジ化と飛行船の上下に2個の全方位カメラを対称に設置することにより、全天球ハイダイナミックレンジ映像の取得を可能にした。

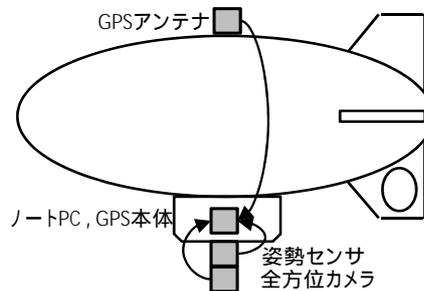


図2 飛行船を用いた空撮システムの構造

全方位映像のコンテンツ化において最も重要な情報は画像撮影時のカメラの位置・姿勢と対象シーンの3次元情報である。本研究では、カメラの位置・姿勢推定に関してはstructure-from-motion技法の採用を基本として、外部指標としてGPS測位と航空写真を併用する手法を新たに開発した。また、シーンの密な3次元情報を取得するために、撮影時のカメラの位置・姿勢情報に基づく多視点ステレオ法によりシーンの密な3次元復元を行う手法(図3参照)を開発し、全方位映像用の拡張を行った。



図3 東大寺僧坊跡発掘現場の3次元復元

本研究では、奈良先端大上空からの全方位空撮実験を実施するとともに、従来からの平城宮跡に加えて、大仏殿を中心とする東大寺境内を新たな実験フィールドとして設定し、実際に境内での全方位移動撮影を行った。また、東大寺・東塔および西塔の模型の多視点撮影により、それらの3次元モデル構築を行った。

(2) 過去・現在に渡る拡張テレプレゼンス
 遠隔地の映像に仮想物体を重畳合成し臨場感豊かに提示する新しい概念として提案している「拡張テレプレゼンス」の有効性と有用性を検証するために、「遠隔地のバーチャル歴史体験」シナリオに基づく、過去・現在の情報を重畳合成可能な実時間高臨場感拡張テレプレゼンスシステムのプロトタイプを開発した。同システムは、全方位カメラで取得した遠隔地の映像をネットワークを介して伝送し、受信側で仮想物体を実時間合成し大型高精細ディスプレイあるいはヘッドマウントディスプレイに提示する構成になっている。実際に、東大寺境内において消失している七重の塔（東塔と西塔）の仮想復元を行い、一般参加者を対象とした実証実験を通して提案方式の有効性を検証した（図4参照）。



図4 東大寺・東塔を対象とした拡張テレプレゼンス

上記の方式は基本的に全方位画像を取得した位置を視点とした映像しか提示できないが、対象シーンの簡易的な3次元形状と事前レンダリング画像群を用いた自由視点画像生成により、撮影地点以外を視点とする映像提示も可能な拡張テレプレゼンスシステムへの拡張を実現した（図5参照）。事前生成画像の利用は研究項目3でも採用した。



図5 平城宮跡の空撮全方位映像を用いた自由視点移動が可能な拡張テレプレゼンス

(3) 過去・現在に渡る拡張現実感
 東大寺をフィールドとする「バーチャル歴史体験」のシナリオのもとでモバイル拡張現実感システムの設計を行い、映像提示デバイスとしてタブレット型情報端末を用いるプ

ロタイプを実装した。ここでは、拡張現実感の新たな実現法として、研究項目2で述べた事前レンダリングに基づく事前生成型拡張現実感を提案した。この方式は、全方位画像に対してオフライン処理により事前に高品位に描画した仮想物体を重畳合成しておき、オンライン処理では、ユーザの視線方向に合った映像を実時間で生成・提示するものである。本方式については、プロトタイプシステムを用いて、東大寺友の会の会員等から募った一般参加者とコンテンツ保有者（東大寺僧侶）を対象とした実機を用いた一般公開実証実験を実施し（図6参照）、アンケート調査によりシステムの臨場感と使用感に関する評価を行い、プロトタイプシステムの有用性を確認した。本実証実験では、東大寺僧坊跡発掘現場（図3）を対象とした埋蔵物の地中透視型拡張現実感の実験も行った。



図6 東大寺境内での一般公開実験の様子

事前生成型拡張現実感とは、厳密な幾何的整合性と光学的整合性の確保により、実写映像と仮想物体の高品位な合成が可能になるという利点がある。バーチャル歴史体験や景観シミュレーション等の特定の用途には有効であり、Indirect Augmented Realityとして海外の他機関でも研究が始まっている。原理的に全方位画像取得位置を視点とする合成映像しか提示できないが、研究項目2で開発した自由視点画像生成を用いることによって視点移動可能な実用的な事前生成型拡張現実感システムの開発が可能である見通しを得た。

本研究項目では、拡張現実感研究の新たな展開として、ビデオ映像に対する実時間画像修復を実現することによって、拡張現実感の枠組の中に不要な実物体を実時間で消去する隠消現実感を統合した新しい拡張現実感システムを開発し、実環境での家具配置シミュレーション等のシナリオのもと、開発手法の有効性と有用性を検証した（図7参照）。



図7 隠消現実感:家具配置シミュレーションにおけるARマーカの消去

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 34 件)

Fumio Okura, Masayuki Kanbara, and Naokazu Yokoya: “Mixed-reality world exploration using image-based rendering,” ACM Journal on Computing and Cultural Heritage, Vol.8, No.2, pp.9:1-9:26, 2015. (査読有)
DOI: 10.1145/2700428

青砥 隆仁, 佐藤 智和, 向川 康博, 武富 貴史, 横矢 直和: “中空透明球体を用いた近接点光源の位置推定,” 電子情報通信学会論文誌 (D), Vol.J98-D, No.3, pp.534-545, 2015. (査読有)
DOI: 10.14923/transinfj.2014JDP7089

桑 秀行, 佐藤 智和, 武富 貴史, 横矢 直和, 穴井 哲治, 高地 伸夫: “GPS測位情報の併用による動画像からのカメラ位置・姿勢推定の高精度化,” 画像ラボ, Vol.25, No.12, pp.61-69, 2014. (査読無)

Fumio Okura, Masayuki Kanbara, and Naokazu Yokoya: “Aerial full spherical HDR imaging and display,” Virtual Reality, Vol.18, No.4, pp.255-269, 2014. (査読有)
DOI: 10.1007/s10055-014-0249-x

Norihiko Kawai, Naoya Inoue, Tomokazu Sato, Fumio Okura, Yuta Nakashima, and Naokazu Yokoya: “Background estimation for a single omnidirectional image sequence captured with a moving camera,” IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications, Vol.6, pp.68-72, 2014. (査読有)
DOI: 10.2197/ipsjtcva.6.68

Fumio Okura, Yuko Ueda, Tomokazu Sato, and Naokazu Yokoya: “Free-viewpoint mobile robot teleoperation interface using view-dependent geometry and texture,” ITE Trans. on Media Technology and Applications, Vol.2, No.1, pp.82-93, 2014. (査読有)
DOI: 10.3169/mta.2.82

桑 秀行, 穴井 哲治, 佐藤 智和, 武富 貴史, 高地 伸夫, 横矢 直和: “信頼度を考慮したGPS測位情報の併用による動画像からのカメラ位置・姿勢推定,” 画像電子学会誌, Vol.43, No.1, pp.35-43, 2014. (査読有)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020002462>

Norihiko Kawai, Masayoshi Yamasaki, Tomokazu Sato, and Naokazu Yokoya:

“Diminished reality for AR marker hiding based on image inpainting with reflection of luminance changes,” ITE Trans. on Media Technology and Applications, Vol.1, No.4, pp.343-353, 2013. (査読有)
DOI: 10.3169/mta.1.343

Taiki Sekii, Tomokazu Sato, Hideyuki Kume, and Naokazu Yokoya: “6-DOF camera pose estimation using reference points on an aerial image without altitude information,” IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications, Vol.5, pp.134-142, 2013. (査読有)
DOI: 10.2197/ipsjtcva.5.134.

大倉 史生, 神原 誠之, 横矢 直和: “無人飛行船に搭載された2台の全方位カメラを用いた不可視領域のない全天球HDRビデオの生成,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.17, No.3, pp.139-149, 2012. (査読有)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009517469>

新井 イスマイル, 堀 磨伊也, 河合 紀彦, 安部 陽平, 市川 昌宏, 里中 裕輔, 新田 竜規, 新田 知之, 藤井 陽光, 向井 政貴, 堀見 宗一郎, 牧田 孝嗣, 神原 誠之, 西尾 信彦, 横矢 直和: “Gooraffiti Umechika: 人が消える地下街パノラマビューア,” 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.5, pp. 1546-1557, 2012. (査読有)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110009423622>

横矢 直和: “時空を越える拡張テレプレゼンス～フライスルーMR平城京～,” JACIC 情報, Vol.26, No.3, pp.62-67, 2011. (査読無)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40019040204>

山澤 一誠, 鈴木 可奈, 横矢 直和: “拡張現実感を用いたマルチメディア付箋システム,” 電子情報通信学会論文誌 (D), Vol.J94-D, No.9, pp.1561-1569, 2011. (査読有)
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008711215>

Takafumi Taketomi, Tomokazu Sato, and Naokazu Yokoya: “Real-time and accurate extrinsic camera parameter estimation using feature landmark database for augmented reality,” Computers and Graphics, Vol.35, No.4, pp.768-777, 2011. (査読有)
DOI: 10.1016/j.cag.2011.04.007

堀 磨伊也, 神原 誠之, 横矢 直和: “低自由度モーションベースと没入型ディスプレイを用いた慣性力の再現によるテレプレゼンスシステムの構築,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌,

Vol.12, No.2, pp.283-292, 2011. (査読有)
http://ci.nii.ac.jp/naid/110008712402

大倉 史生, 神原 誠之, 横矢 直和: “無人飛行船からの空撮全方位動画像を用いた蓄積再生型拡張テレプレゼンス,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.12, No.2, pp.127-138, 2011. (査読有)
http://ci.nii.ac.jp/naid/110008712385

[学会発表](計 72 件)

松元 裕哉, 河合 紀彦, 佐藤 智和, 町田 貴史, 横矢 直和: “実時間自由視点画像生成を用いた実画像に基づくドライブシミュレータシステム,” 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会, 2015年3月19日~20日, 慶応義塾大学(神奈川県・横浜市).

黒川 陽平, 中島 悠太, 佐藤 智和, 横矢 直和: “特徴点の明示的な対応付けを伴わないカメラ位置姿勢推定,” 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2015年1月22日~23日, 奈良先端科学技術大学院大学(奈良県・生駒市).

横矢 直和: “実環境の3次元計測と複合現実感,” 精密工学会大規模環境の3次元計測と認識・モデル化技術集中講演会, 2014年8月7日~8日, 北海道大学(北海道・札幌市).

Tomokazu Sato: “Structure from motion and its applications for mixed reality,” Symposium on Making Augmented Reality Real, 2014年8月4日, 奈良先端科学技術大学院大学(奈良県・生駒市).

Hideyuki Kume, Tomokazu Sato, and Naokazu Yokoya: “Sampling-based bundle adjustment using aerial images as external references,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2014), 2014年7月28日~31日, 岡山コンベンションセンター(岡山県・岡山市).

横矢 直和: “拡張現実感(AR)とコンピュータビジョン,” センシング技術応用研究会第186回研究例会, 2014年3月3日, 奈良先端科学技術大学院大学(奈良県・生駒市).

Fabian Lorenzo Dayrit, Yuta Nakashima, Tomokazu Sato, and Naokazu Yokoya: “Single RGB-D video-stream based human-motion reenactmen,” 映像情報メディア学会メディア工学研究会, 2014年2月17日~18日, 北海道大学(北海道・札幌市).

大倉 史生, 神原 誠之, 横矢 直和: “事前レンダリング画像群を用いた自由視

点画像生成に基づく写実的な拡張現実画像合成,” 日本バーチャルリアリティ学会複合現実感研究会, 2013年9月26日~27日, 利尻町交流促進施設「どんと」(北海道・利尻郡利尻町).

林 佑亮, 河合 紀彦, 佐藤 智和, 奥本 幸, 横矢 直和: “撮影倍率の異なる2本の同期映像を用いた超解像ステレオ映像生成,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2013), 2013年7月29日~8月1日, 国立情報学研究所(東京都・千代田区).

横矢 直和: “3次元計測と複合現実感,” 3次元計測フォーラム SPAR2013, 2013年6月5日~6日, 川崎市産業振興会館(神奈川県・川崎市).

Yusuke Uno, Yuta Nakashima, Norihiko Kawai, Tomokazu Sato, and Naokazu Yokoya: “Generating augmented reality images with a real object using view-dependent texture and geometry,” 6th Korea-Japan Workshop on Mixed Reality (KJMR2013), 2013年4月12日~14日, 沖縄科学技術大学院大学(沖縄県・国頭郡恩納村).

上田 優子, 大倉 史生, 佐藤 智和, 横矢 直和: “拡張自由視点画像生成を用いた遠隔移動ロボット操縦インタフェース,” 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 2013年1月24日, 京都大学(京都府・京都市).

大倉 史生, 神原 誠之, 横矢 直和: “蓄積再生型テレプレゼンスにおける空撮全天球HDR画像の提示手法,” 電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, 2012年9月28日, 根室グランドホテル(北海道・根室市).

横矢 直和: “実環境のセンシングに基づく複合現実型情報提示,” 日本色彩学会視覚情報基礎研究会, 2012年9月15日, 工学院大学(東京都・新宿区).

関井 大気, 桑 秀行, 佐藤 智和, 横矢 直和: “高度が未知の航空写真上の参照点を用いた地上撮影画像からのカメラ位置・姿勢推定,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2012), 2012年8月6日~8日, 福岡国際会議場(福岡県・福岡市).

佐藤 智和, Tomas Pajdla, 横矢 直和: “特徴点の固有回転・スケール情報を用いたベースライン距離の長い全方位画像群に対するエピポーラ幾何推定,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2012), 2012年8月6日~8日, 福岡国際会議場(福岡県・福岡市).

Norihiko Kawai, Masayoshi Yamasaki, Tomokazu Sato, and Naokazu Yokoya: “Diminished reality by image inpainting considering shade and shadow in augmented reality,” 5th Korea-Japan Workshop on Mixed Reality (KJMR2012), 2012年4月14日, ソウル市(韓国).

佐藤 智和, Tomas Pajdla, 横矢 直和: “ワイドベースライン全方位ストリートビュー画像に対するエピポラ幾何推定,” 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2012年3月15日, 東京工業大学(東京都・目黒区).

Naokazu Yokoya: “Mixed reality over space and time,” China-Japan Symposium on Visual Computing 2011, 2011年9月17日, 長沙市(中国).

Fumio Okura, Masayuki Kanbara, and Naokazu Yokoya: “Fly-through Heijo Palace Site: Augmented telepresence using aerial omnidirectional videos,” ACM SIGGRAPH2011, 2011年8月10日, バンクーバー市(カナダ).

21 河合 紀彦, A. Zakhor, 佐藤 智和, 横矢 直和: “形状とテクスチャの相関を考慮した類似度に基づくエネルギーの最小化による三次元欠損修復,” 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2011), 2011年7月22日, 金沢市文化ホール(石川県・金沢市).

22 Takafumi Taketomi, Tomokazu Sato, and Naokazu Yokoya: “Fast and accurate camera parameter estimation based on feature landmark database for augmented reality,” 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究会, 2011年5月20日, 大阪大学(大阪府・茨木市).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 2 件)

名称: 画像生成装置、画像生成方法、およびプログラム

発明者: 河合 紀彦, 佐藤 智和, 横矢 直和, 中川 大輔

権利者: 奈良先端科学技術大学院大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-264019

出願年月日: 2013年12月20日

国内外の別: 国内

名称: 再帰性反射シートの製造方法及び

製造装置

発明者: 神原 誠之, 横矢 直和, 和田 誠示

権利者: 奈良先端科学技術大学院大学

種類: 特許

番号: 特願 2013-160834

出願年月日: 2013年8月1日

国内外の別: 国内

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://yokoya.naist.jp/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横矢 直和 (YOKOYA, Naokazu)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 10252834

(2) 研究分担者

神原 誠之 (KANBARA, Masayuki)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号: 10346306

佐藤 智和 (SATO, Tomokazu)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号: 50362835

池田 聖 (IKEDA, Sei) (平成 23 年度)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号: 40432596

(3) 連携研究者

加藤 博一 (KATO, Hirokazu)

奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・教授

研究者番号: 70221182

山澤 一誠 (YAMAZAWA, Kazumasa) (平成 23 年度)

福岡工業大学・工学部・教授

研究者番号: 40283931

油谷 暁 (YUTANI, Akira)

奈良先端科学技術大学院大学・総合情報基盤センター・助教

研究者番号: 20324981

池田 聖 (IKEDA, Sei) (平成 24 年度 ~ 平成 26 年度)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号: 40432596