

応用論文

フリーハンド映像から切り出した壁領域に対する 複合現実型壁紙シミュレーション

上田 将司^{*1} 北原 格^{*1} 大田 友一^{*1}

Wallpaper Replacement Simulation in a Free-Hand Movie by Using Mixed Reality

Masahi Ueda^{*1} Itaru Kitahara^{*1} and Yuichi Ohta^{*1}

Abstract --- This paper proposes a wallpaper replacement method in a free-hand movie by using Mixed-Reality (MR) technique. Our method overlaps virtual wallpaper onto a real wall region in a movie that is taken by handheld camera looking around a room. In an ordinary way, 3D models of the target room are required. However, such special and expensive 3D survey instrument is not available in homes or offices where many users demand for a wallpaper replacement simulation. We solve this problem to extract a wallpaper region by using image segmentation technique with user interaction. Image segmentation technique can extract a target objects that include a thin one from a source image with an appropriate user interaction, and requires no special equipment like a 3D survey instrument. By applying our method, wallpaper replacement can be easily realized by using only a handy camera and a PC.

Keywords: Mixed Reality, Panoramic Image, Wallpaper, Image Segmentation, User Interface

1 はじめに

壁紙を貼り替える際、我々は壁紙を貼り付けた部屋の景観を想像し、最も良さそうだと感じたものを選択する。しかし、実際に壁紙を貼ってみると、想像した景観と実際の景観の間の差異が存在し、部屋の雰囲気に合わなかったという問題がしばしば発生する。我々は、図 1 に示すように、現実世界とCG(Computer Graphics)で生成された仮想世界をシームレスに融合する複合現実感(Mixed Reality: MR) [1] 技術を用いて、この問題を解決することを目的とした研究に取り組んでいる [2]-[4]。本稿では、壁紙の貼り替えを行う部屋壁に、CG壁紙をMR提示することにより、壁紙変更後の景観をシミュレーションするシステムを提案する。以降、本稿ではCGの壁紙を仮想壁紙、壁紙の手前にある時計や家具、ポスターなどの物体を前景物体と呼ぶこととする。

MRを用いてCGを現実空間に重畳する際には、幾何学的整合性、光学的整合性、時間的整合性について考慮する必要があることが知られている[1]。特に、壁紙シミュレーションでは、家具やポスターなどの前景物体の上に仮想壁紙が重畳されることを防ぐために、前景物体と仮想壁紙の遮蔽関係を正確に再現する必要がある。従来、MRにおける実物体と仮想物体の遮蔽関係は、対象空間の3次元情報を獲得・参照することで再現されている[5]-[7]。しかし、我々が実現を目指す壁紙変更シミュレーションは、一般家庭やオフィスなどで行わ

れることを想定しているため、特殊機材で3次元情報を獲得することが困難である。近年になり、簡易な機材構成で実物体の3次元モデルを生成する手法が提案されつつあるが [8][9]、3次元情報に基づく壁紙変更では、壁に貼り付けてあるポスターのような薄い物体の微量な奥行きの変化も取得する必要がある、計測精度が十分とは言い難い。

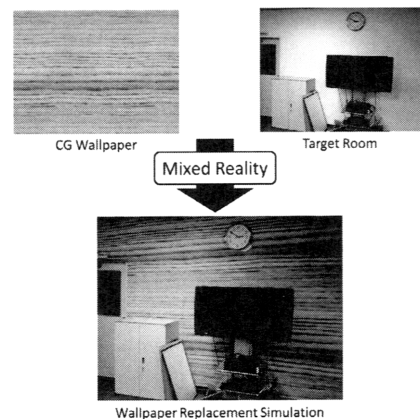


図1 複合現実型壁紙シミュレーション

Fig.1 MR wallpaper replacement simulation.

領域分割は、画像処理における重要なテーマであり、活発な研究が行われている[10]-[13]。我々は、壁紙貼り替えにおける遮蔽関係の表現は、映像中の各フレームにおける壁領域と前景物体との分割処理と同義であることに着目し、仮想壁紙を重畳する領域の推定に、領

^{*1} 筑波大学

^{*1} University of Tsukuba

域分割手法を応用するという着想を得た。このアプローチは3次元形状の計測や参照などの処理が必要ないため、特殊機材が不要となることに加え、壁との奥行き変化が微量である薄い物体も切り出すことが可能となる。さらに、領域分割は、ユーザが領域分割の種となる情報の与え方を工夫することで処理精度の向上が可能であるという特性を有する。

以上の点を考慮し、本研究では、3次元モデルではなく、ユーザ入力を活用した2次元画像(領域分割)処理を利用して隠蔽関係を再現し、壁紙シミュレーションを実現する。ユーザが手持ちカメラで部屋を見渡したような部屋の映像(以降フリーハンド映像と呼ぶ)に対して、ユーザ入力に基づく高精度領域分割処理を適用し、正確な仮想壁紙の重畳を実現する。ユーザ入力操作は、画像中の壁領域とそれ以外の領域の指定のみであり、専門的な知識や特殊スキルは不要である。本システムでは、ユーザ入力を軽減するために、フリーハンド映像からパノラマ画像を生成し、ユーザ入力が一括して行えるよう工夫を施す。

2 関連研究

2.1 複合現実感を用いた家具・家電シミュレーション

MR 技術を用いた家具や家電の配置シミュレーションが提案され始めているが [14]-[16]、壁紙変更のシミュレーションの例はあまり多くない。これは、CG の家具や家電の配置シミュレーションでは、通常一番手前に CG 物体を配置するため、実物体と仮想物体の隠蔽関係を再現することが容易であるのに対し、壁紙変更のシミュレーションにおいては、仮想壁紙が一番奥に配置されることが多く、隠蔽関係の再現性の考慮が重要で、かつそれが前節で述べたように難しい問題であるためであろう。提案手法では、部屋を撮影したフリーハンド映像における領域分割処理に基づいた隠蔽関係の再現を行うことにより、この問題の解決を試みる。

2.2 ユーザ入力を用いた領域分割手法

ユーザ入力を用いて画像の領域分割を行う手法は、画像のエッジ強度と濃度勾配方向に着目し、対象領域の正確な輪郭を切り出す Intelligent Scissors[10]、対象領域を含む輪郭の閉曲線上の情報を用いて定義したエネルギーを最小化する Snakes[11]、ユーザの前景・背景の領域指定に基づくベイズ推定理論を用いた Bayes matting[12]など活発に研究されている。それらの中で、我々はユーザ入力の適切な指示と領域分割処理を繰り返し実行することで、高い領域分割精度を実現する GrabCut[13]に着目している。GrabCut は、切り出し対象となる前景の大まかな矩形と、前景・背景位置の部分的な入力から、前景と背景の色モデルを学習し、グラフカットアルゴリズムを用いたエネルギー最小化による

高精度な領域分割を行う手法である。本研究で切り出し対象となる壁領域は、単一、または、数色のパターンから構成されていることが多いと考えられるため、前景・背景の色モデルを生成して領域分割を行う手法は効果的である。また、グラフカットアルゴリズムを用いたエネルギー最小化は、高精度な性能と引き換えに、多少の処理時間を要するが、提案手法は、ユーザが事前取得したフリーハンド映像を加工するオフライン処理であるため、処理時間は大きな問題とならない。

しかし、フリーハンド映像の数百枚全てのフレームに対してユーザ入力を行うのは煩雑な作業である。Alecらは、動画像からパノラマ画像を生成し、パノラマ画像上でのユーザ入力を通して、動画像の各フレームにインタラクションを行う手法を提案している[17]。本研究でも、ユーザが取得したフリーハンド映像から、パノラマ画像を生成し、パノラマ画像上でのユーザ入力を通して、各フレームで GrabCut に必要な情報を一括して与える。

2.3 パノラマ画像の生成

パノラマ画像生成に関する数多くの研究が存在する[18]-[20]。既存手法では、“カメラ視点移動が回転運動のみ”、“撮影対象は十分遠方に存在する”などの制約を設けることが多い。しかし、カメラを手に持ったユーザが移動しながら室内を撮影する場合、それらの制約条件が満たされない状況が発生しやすい。Steadily らは映像から重複領域の少ないフレーム(Key Frame)を抽出し、それらのみを用いてパノラマ画像を生成する手法を提案している [19]。本手法でも、同様の処理によって室内で移動しながら撮影した映像からのパノラマ画像生成を実現する。また、本研究におけるパノラマ画像生成の目的は、綺麗なパノラマ画像の生成ではなく、ユーザが領域分割のための情報を一括して与えるためのインタフェースの構築であるため、はり合わせズレの補正は、ユーザ入力に支障がでない限り、極力控える。

3 フリーハンド映像上での壁紙変更シミュレーション

本論文では、日常生活での利用を想定し、レーザーレンジファインダなどの3次元計測機器を用いずに、複合現実型壁紙シミュレーションを実現するためのアプローチを提案する。簡易に獲得可能なデータとしてフリーハンド映像に注目し、その上で複合現実型壁紙シミュレーションを行う。その際、壁紙と前景物体の前後関係を再現する必要があるが、奥行き情報を推定・利用するのではなく領域分割処理によって隠蔽関係を再現する。領域分割処理の高精度化のために、ユーザ入力を活用するが、膨大な画像群全てに対して手動で入力することは現実的ではない。ユーザ入力を軽減するために、フリーハンド映像からパノラマ画像を生成し、その上で一括してユーザ入力を行う。ユーザの入力操作の妨げ

にならないパノラマ画像の生成法や、ユーザ入力をできるだけ正確に撮影画像上に投影する手法などを導入することにより、日常生活でも実用可能なシステムの構築を目指す。

図2に提案システムの構成を示す。(a):ユーザはフリーハンド映像を撮影する。(b):フレーム中の特徴点を用いてフレーム間での対応点探索処理を行い、パノラマ画像を生成する。ユーザはパノラマ画像上で、Interactive Graph Cuts[25]と同様のインタフェースを用いて、壁とそれ以外の領域の分割情報を入力する。(c):パノラマ画像上でのユーザ入力を各フレームに投影し、それに基づくGrabCutによって壁領域を切り出す。切り出し結果にユーザが満足できなかった場合、分割結果がパノラマ画像に逆投影され、追加の情報入力が行われる。(d):切り出された壁紙領域に最後にCGの壁紙を重畳する。

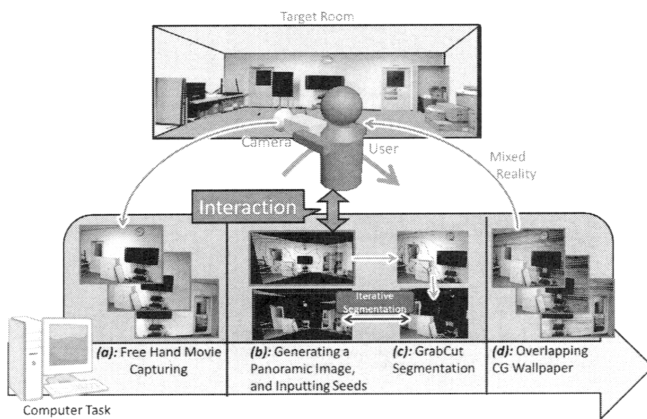


図2 複合現実型壁紙シミュレーション

Fig. 2 Overview of our proposed system.

4 フリーハンド映像からのパノラマ画像の生成

映像中の連続するフレーム間で対応点を求め、2次元射影変換(Homography)行列を推定する。このHomography行列を用いて、基準フレームに他のフレームをはり合わせる。同様の処理を全てのフレームに適用することにより、撮影した映像を1枚のパノラマ画像に統合する[19]。

4.1 画像間の Homography 算出

3次元空間中の点群 M を、ある視点 C_1 と、視点 C_1 の位置からカメラを回転、並進させた視点 C_2 において撮影した画像について考える。それぞれの画像上で対応する M 上の点を m_1 , m_2 としたとき、点群 M 中の点がすべて同一平面上に存在する、もしくはカメラの運動が回転のみならば、これらの画像上の点 m_1 , m_2 の射影変換式は(1)で表される。

$$m_2 \sim Hm_1 \quad (1)$$

H は、平面座標の対応関係を表す Homography 行列

と呼ばれる。(1)は同次座標系対応点の対が4対以上与えられれば算出することができる。本方式では、画像のスケール変換や回転に頑健で、かつ高速処理が可能なSURF (Speed Up Robust Features) [21]を用いて対応点を獲得する。この際、RANSAC (Random Sample Consensus)を用いたロバスト推定[22]により、誤対応の影響を軽減する。

4.2 Key Frame を用いた Homography 投影誤差の軽減

Homography 行列を用いてパノラマ画像を生成する場合、カメラの視点移動が回転のみであるという拘束条件が存在する[22]。しかし、本手法では、フリーハンド映像からパノラマ画像を生成するため、カメラの視点移動には平行移動も含まれる。その結果、図3上段のように、算出した Homography 行列を用いてはり合わせたパノラマ画像上に、画像同士が正確に重ならない部分が発生する。このような部分を重ねると、パノラマ画像がぼやけ、視認性が低下する。本手法のキーアイデアの一つは、パノラマ画像においてユーザが領域分割情報を入力することであるため、不鮮明な画像が提示されることは好ましくない。

そこで、フリーハンド映像から選択した Key Frame だけをはり合わせるにより、パノラマ画像の見た目を改善する。Key Frame は、Steedlyらの手法を参考に、映像中の他のフレームと重なり領域がなるべく少ないフレームを選択する。Key Frame の抽出方法を図4と図5の疑似コードに示す。ここで ρ は重なり閾値であり、予備実験の結果より 80%~90%が適当であった。Key Frame を導入することにより、図3下段に示すように、生成されるパノラマ画像中の不連続性が解消し、視認性向上させることができる。

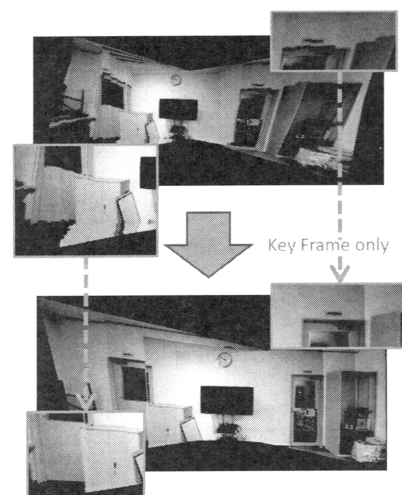


図3 生成されたパノラマ画像:(上)KeyFrame を用いない場合、(下)KeyFrame を用いた場合

Fig. 3 Generated panoramic images. (top): A panoramic image without Key Frame. The red squared regions have distortion caused by stitching. (bottom) with Key Frame.

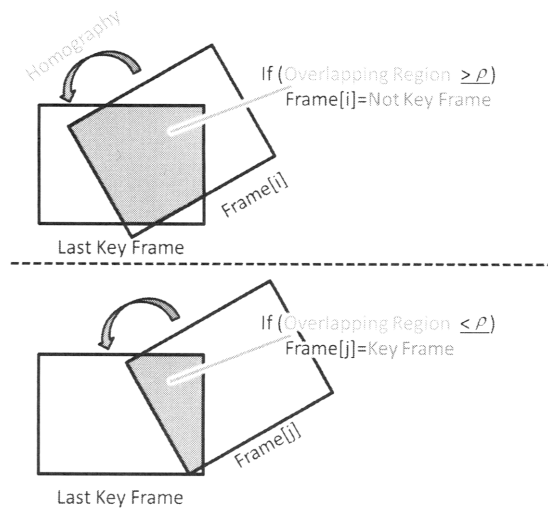


図4 Key Frame の選択

Fig. 4 A Key Frame extraction.

Key Frame 選択のアルゴリズム:

- 総フレーム数 N の映像中の i 番目のフレームを $\text{Frame}[i]$ とする
- 全てのフレームに対して
 - $i=0$ ならば $\text{Frame}[i]=\text{Key Frame}$
 - 最後に見つけた Key Frame と $\text{Frame}[i]$ の重なりを調べる
 - ◆ $\rho\%$ 以上重なっていたら $\text{Frame}[i]=\text{Key Frame}$
 - ◆ $\rho\%$ 以下だったら次のフレームへ

図5 Key Frame 選択のアルゴリズム

Fig. 5 An algorithm of our Key Frame extraction.

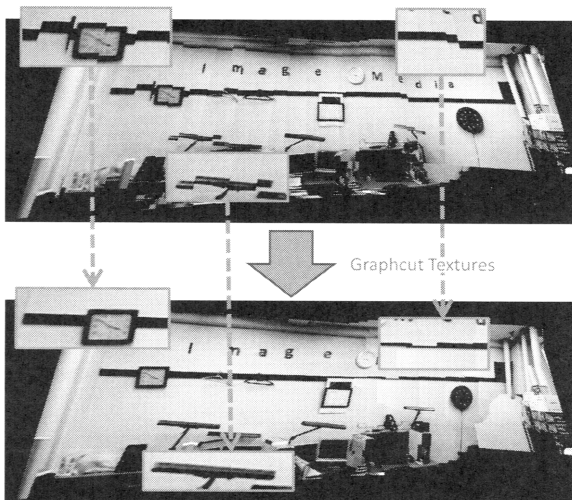


図6 Grabcut Textures を用いたパノラマ画像生成

Fig. 6 Generated panoramic images using Grabcut Textures.

4.3 物体の連結領域に注目した画像合成

4.3.1 Graphcut Textures

フリーハンド映像中の視点の平行移動が大きい場合、Key Frame では抑制できないほどパノラマ画像のズレが

大きくなることがある。その場合、図 6 上段に示すように、写っている前景物体がフレームはり合わせの境界で分断され、ユーザ入力の妨げの原因となる。本研究では、Vivek らが提案している物体の連結性に着目した画像合成手法である Graphcut Textures [23]を用いて、合成画像中の境界領域を目立たなくする。図 6 に、はり合わせ境界を考慮していないパノラマ画像(上段)と、Graphcut Textures を用いて、画像間のつなぎ目が目立たないようにしたパノラマ画像(下段)を示す。Graphcut Textures の導入により、パノラマ画像中の物体の連続性が改善していることがわかる。

4.3.2 Poisson Blending

上述した処理に加え、はり合わせ境界をより一層目立たなくするために、Poisson Blending[24]を適用する。Poisson Blending は、はり合わせ境界付近の近接画素の値を近づけることにより、境界の目立ちを抑えるブレンディング手法である。Poisson Blending を用いたパノラマ画像を図 7 に示す。導入前のパノラマ画像と比べて画像合成の境界が視認されにくくなっていることがわかる。

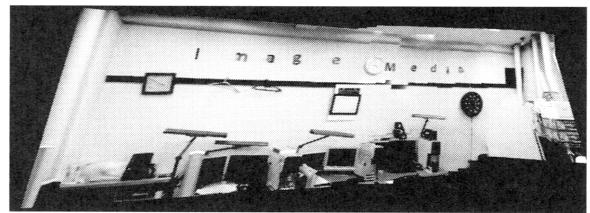


図7 Poisson Blending を用いて生成したパノラマ画像

Fig. 7 Generated panoramic image using Poisson Blending.

5 各フレームにおける壁領域の切り出し

5.1 パノラマ画像上で行ったユーザ入力の各フレームへの投影

パノラマ画像を生成する際に算出した Homography 行列の逆行列を用いて、パノラマ画像上で与えられたユーザ入力を各フレームに逆投影する。各フレームでは、その情報に基づいて GrabCut [25]による領域分割を行う。しかし、ユーザが入力処理を行ったパノラマ画像は Key Frame のみが提示されたものであり、それ以外の提示されていないフレームが多数存在している。この影響により、パノラマ画像上で行ったユーザ入力を各フレームに逆投影した際、図 8 に示すように、ユーザが意図していない位置に投影されるケースが発生する。GrabCut の結果は、ユーザによって与えられた領域分割情報の影響を大きく受けるため、この問題は無視できない。本手法では、Homography 算出時に用いた対応点情報を用いてユーザ入力の修正を行う。

図 8 に示すように、パノラマ画像で部分的に手前に映っているフレーム(Key Frame)を $\text{Frame}[f]$ 、非表示のフレームを $\text{Frame}[b]$ 、 $\text{Frame}[f]$ 、 $\text{Frame}[b]$ からパノラマ画像

への投影行列を各々 H_f , H_b , $\text{Frame}[i]$ 上の n 番目の特徴点を $Pt_{i,n}$ とする. まず $\text{Frame}[f]$, $\text{Frame}[b]$ の間の対応点の対 $Pt_{f,i}$, $Pt_{b,i}$ を取得する. 次に $\text{Frame}[f]$ 上の特徴点 $Pt_{f,j}$ を, H_f によりパノラマ画像上に投影した点を $Pt'_{f,j}$, $Pt'_{f,j}$ を H_b^{-1} 用いて $\text{Frame}[b]$ に投影した点を $Pt''_{f,j}$ とする. このとき, $Pt'_{f,j}$, $Pt''_{f,j}$ はそれぞれ式(2), (3)で表される.

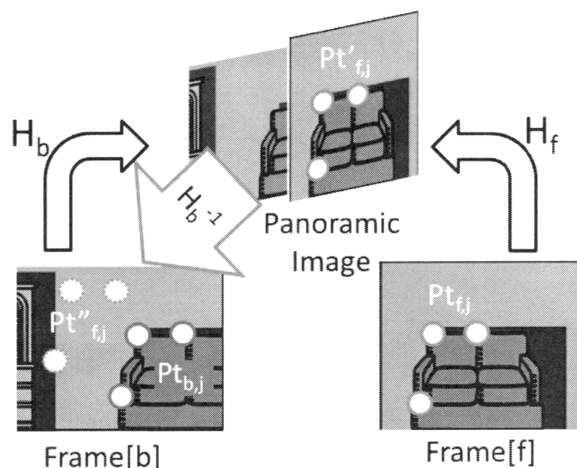


図8 パノラマ画像でのユーザ入力を各フレームに投影

Fig. 8 Feature points projections in hidden frame.

$$Pt'_{f,j} = H_f Pt_{f,j} \quad (2)$$

$$Pt''_{f,j} = H_b^{-1} Pt'_{f,j} \quad (3)$$

このときの, $Pt''_{f,j}$ と $Pt_{b,j}$ の位置の移動ベクトルが目している特徴点におけるユーザ入力のズレであるので, それを補正ベクトルとする. 全特徴点の対について同様の処理を行い補正ベクトルを求める. 図9に示すように, 近隣の特徴点の補正ベクトルの内挿処理により, ユーザ入力軌跡の補正ベクトルを求め $\text{Frame}[b]$ 上で平行移動させ, ユーザ入力のズレを修正する.

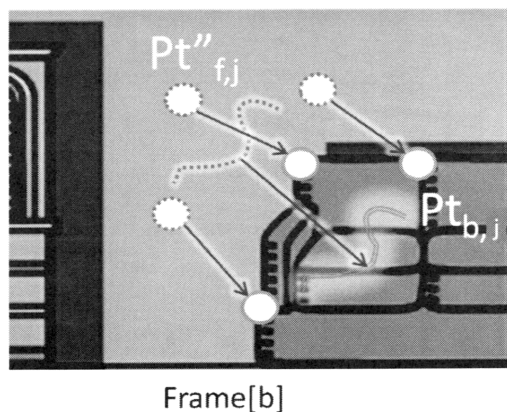


図9 領域分割シード情報の位置補正: パノラマ画像から $\text{Frame}[b]$ に投影されたシード情報(青)位置補正なし(赤)あり

Fig. 9 Seeds adjustment by using the corresponding points.

図10にパノラマ画像上で行ったユーザ入力を, あるフレームに投影した結果を示す. 図左下では, フレームに投影したユーザ入力パノラマ画像上での入力と一致していないのに対し, 修正を行った結果, 図右下のようにパノラマ画像上のユーザ入力に近い位置に投影されていることが確認できる. 前述した Graphcut textures を用いた場合でも, パノラマ画像上での $\text{Frame}[f]$ と $\text{Frame}[b]$ の境界形状が複雑になるだけで, 同様の補正処理が適用可能である.

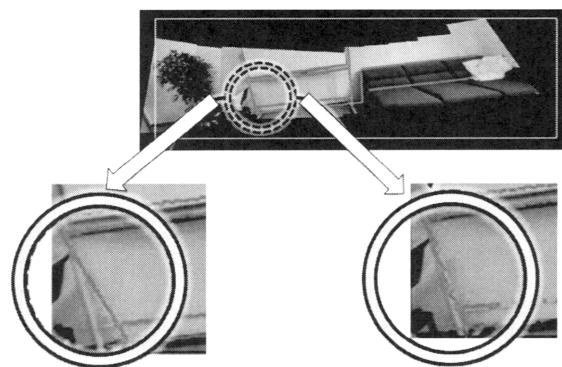


図10 (上)パノラマ画像と入力されたユーザ情報、フレーム場への投影結果: (左下)位置補正なし(右下)あり

Fig. 11 Comparison between adjusted seeds and not adjusted.

最後に, パノラマ画像上で入力されたユーザ入力位置の画素値と, 各フレーム投影後の入力位置の画素値が大きく異なる場合は outlier として除去する. 画素値の差 d は, 以下の式(4)によって決定する.

$$d = \sqrt{(Pt_p.r - Pt_f.r)^2 + (Pt_p.g - Pt_f.g)^2 + (Pt_p.b - Pt_f.b)^2} \quad (4)$$

$$\text{if}(d_{th} < d) Pt_f = \text{outlier}$$

Pt_p , Pt_f は, それぞれパノラマ画像上のユーザ入力位置と各フレーム投影後の位置を示し, r , g , b , は各点の赤, 緑, 青成分の画素値(0~255)を示す. d_{th} は outlier 判別のための閾値であり, 予備実験の結果 $d_{th}=75$ とした. d_{th} の値が比較的大きいのは, カメラの視点移動や蛍光灯の照明変動などにより, 同一の点であっても, 画像上での見え方に多少の変化が生じるためである.

5.2 繰り返し処理による壁領域切り出し精度の向上

GrabCut は, 領域分割処理の結果が, ユーザにとって満足いくものでなかった場合, 追加入力を行うことで, 領域分割精度を高めることができる. 提案手法では, 各フレームにおける領域分割結果を一々確認することが困難であるため, 各フレームの領域分割結果をパノラマ画像に投影し, 結果の確認と追加入力を行う. 提案手法における壁領域切り出しの繰り返し処理の様子を図

11 に示す. 点線で囲まれた前景物体領域は, 初回 GrabCut 時には壁領域として切り出されているが, 追加のユーザ入力によって正しく前景領域として切り出されていることがわかる.

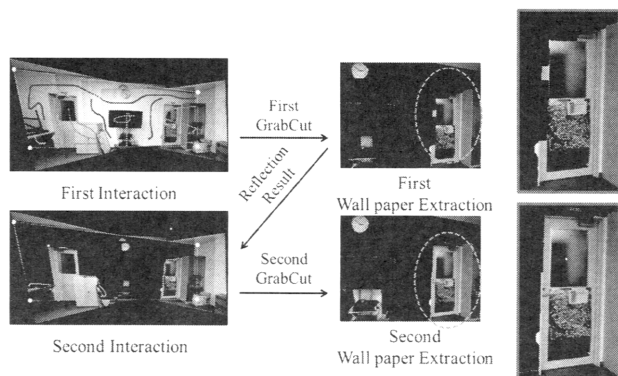


図11 繰り返し処理による壁領域切り出しの高精度化

Fig. 11 Extraction wallpaper region using iterative interaction.

6 仮想壁紙の重畳

6.1 仮想壁紙の重畳位置合わせ

各フレームで仮想壁紙を重畳する位置を決定するために, パノラマ画像上において実環境と仮想壁紙の位置合わせを行う. 仮想壁紙の四隅と, パノラマ画像中に写っている壁の四隅とを手動で合わせ, 仮想壁紙と壁面の法線方向を一致させる. パノラマ画像中で壁の四隅が観測されていない場合には, 壁と壁・床・天井の境界線から頂点位置を予測し四隅とする.

6.2 フリーハンド映像の各フレームへの仮想壁紙の投影

各フレームへの仮想壁紙の重畳の様子を図 12 に示す. パノラマ画像上で重畳された仮想壁紙は, パノラマ画像への射影変換行列の逆行列を用いて, 各フレームへ投影される. 投影された仮想壁紙は, GrabCut 処理により切り出された壁領域にのみ重畳される.

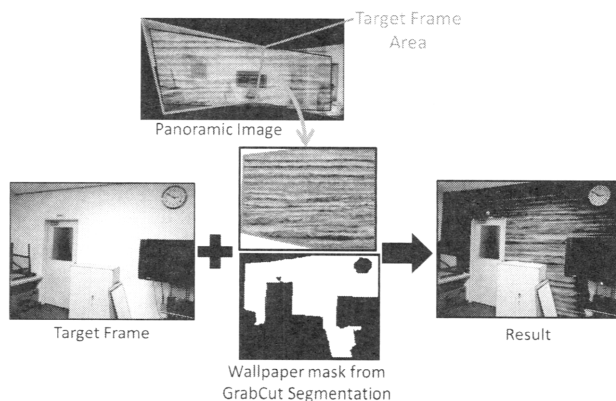


図12 各フレームへの仮想壁紙の投影

Fig. 12 Overlapping CG wallpaper to each frame.

7 壁紙変更シミュレーション

提案手法を用いて, 実際に部屋の壁紙変更を行う. 実験は仮想環境と実環境の二通りの環境で行った. 仮想環境では, 家具の位置や色を自由に変更できるため, それらが提案手法に与える影響を定量的に評価する. 実環境の実験では実際に提案システムを利用した際の印象を主観的に評価する.

7.1 仮想環境での壁紙変更実験

仮想環境において, 家具の位置や色を変化させた部屋モデルを複数作成し, 壁紙変更処理を実施する. 部屋モデルは一般的な部屋モデル [26]を参考にした.

7.1.1 実験概要と目的

仮想環境の部屋は, 以下三つの要因について3段階の指標を用意し, それぞれの変動が, 提案手法の壁領域切り出し結果に与える影響を調査する.

① 壁上の特徴点の有無

提案手法では, 映像中のフレーム間での特徴点の対応関係を用いてパノラマ画像を生成するため, 特徴点が壁面近くに分布しているほど, 正確なパノラマ画像が生成される. そこで壁面上の特徴点数を, 図 13 上段に示すように3段階に制御した実験を行なった. 赤い点が検出された特徴点である. Level 1 では壁に菱形の模様やポスターがあり, 壁面全体で特徴点が検出されている. Level 2 では, 菱形の模様が消え, ポスターが貼ってある領域のみ特徴点が検出される. Level 3 では壁上に特徴点がほとんど検出されない.

② 前景物体の位置

壁面以外の物体の特徴点が多く検出されるほど, 平面近似が成り立ち難くなり, パノラマ画像の生成が困難となる. また, 壁面の手前に前景物体が多く存在すると, 前景物体によって隠される壁領域が拡大し, ユーザ入力を与えにくくなる. 前景物体を図 13 中段に示すように, 3段階に移動させて実験を行なった. level が上がるごとに, 壁から離れた位置(手前)に物体が設置される.

③ 前景物体と壁領域の色の差異

GrabCutによる領域分割は, 前景と背景の色モデルに基づいて行われるため, 前景物体と壁領域の色が近いほど, 両者の分割は困難となる. 前景物体と壁領域の色の差異を図 13 下段に示すように3段階に変化させて実験を行なった. Level が上がるほど前景物体と壁面の色の差が小さくなっている.

上述した3種類・3段階の要因を組み合わせた27通りの部屋モデルで生成した映像を用いて, 提案手法による壁領域の切り出しを行い, 切り出し精度を検証する. なお, カメラパスや照明などの要因は固定とした. カメラパスは, フリーハンド映像を想定し, 図 14 のように平行移動を含んでいる. カメラパスを 100 等分することで 100

フレームの映像を生成する。

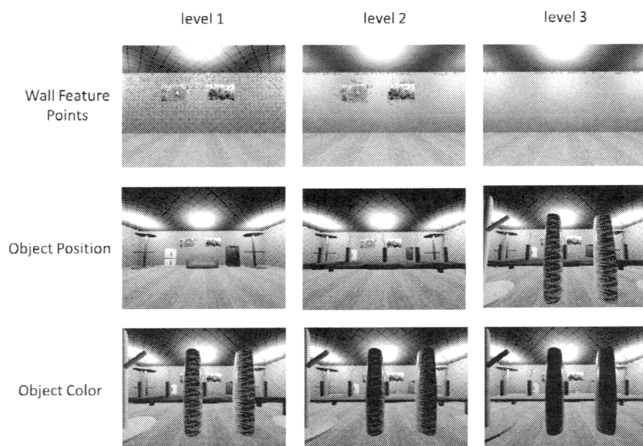


図13 仮想環境を用いて生成した室内映像の例

Fig. 13 Virtual room video sequences.

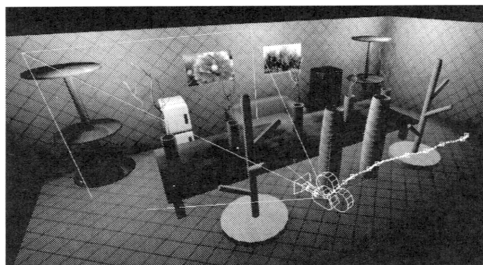


図14 仮想カメラの移動軌跡(カメラパス)

Fig. 14 A camera-path of the virtual camera.

7.1.2 結果と考察

それぞれの部屋において生成されたパノラマ画像を図15に示す。全要素が level 3 の部屋においては、パノラマ画像の生成ができなかった。生成されたパノラマ画像を見ると、パノラマ画像の見やすさは「②前景物体の位置」に大きな影響を受けていることがわかる。これは、画像合成に用いられる特徴点の奥行きが多様に分布するほど、パノラマ画像のはり合わせが失敗することを示している。「①壁の特徴点の有無」によっても、パノラマ画像の品質は若干変化しているが、「②前景物体の位置」程の影響は見られない。一方で「③前景物体と壁領域の色の差異」は、パノラマ画像生成に与える影響は少ない。これは、物体色が特徴点の分布には影響を与えないためだと考えられる。

次に、ユーザ入力が正しく撮影画像上に投影された割合を示すグラフを図16に示す。図中の c, o, w は、前述した前景物体と壁領域の色の差異、前景物体の位置、壁の特徴点の有無の要素を表す。数字は各 level である。error rate は、パノラマ画像上でユーザによって入力された領域分割のための情報(壁領域もしくは前景物体領域と指定された画素群)の全画素に対する、それらを撮影画像に投影したときに、対応する領域に投

影されなかった画素数の割合である。本実験では、CGで構築した仮想環境から生成した画像群を、撮影画像としているため、全画像の全画素において、壁領域と前景領域の正確な判定をすることができる。

Object Color= level 1

		Object Position		
		level 1	level 2	level 3
Wall Feature Points	level 1			
	level 2			
	level 3			

Object Color= level 2

		Object Position		
		level 1	level 2	level 3
Wall Feature Points	level 1			
	level 2			
	level 3			

Object Color= level 3

		Object Position		
		level 1	level 2	level 3
Wall Feature Points	level 1			
	level 2			
	level 3			

図15 生成されたパノラマ画像

Fig. 15 Constructed panoramic images.

赤の棒グラフは5.2節で述べた補正処理を行わない結果、青の棒グラフは補正処理後の結果を示す。全ての場合において、補正処理によってユーザ入力情報のerror rateを下げることに成功している。

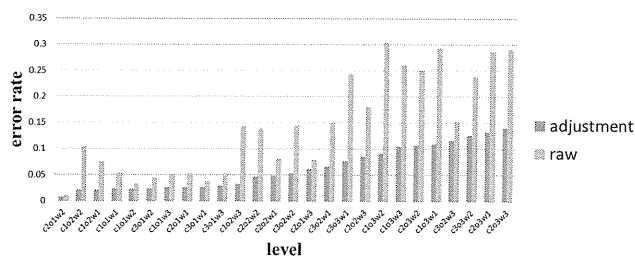


図16 ユーザ入力が入射した割合の
評価:補正なし(赤),あり(青)

Fig. 16 Evaluation for the projection error of user inputs.

領域分割結果を図 17 に示す. error rate は壁領域と前景物体領域が間違っ領域分割された割合である. 前景物体の位置のレベルが $c=1, 2$ のシーンでは, 壁領域切り出しの error rate は 0.1 を下回っており, ほとんどの壁領域が正しく切り出されていることがわかる. 一方, 前景物体の位置のレベルが $c=3$ のシーンでは, 図 13 に示すように, 壁よりも手前に存在する前景物体が画像中で大きく観測されるため, 図 15 に示すように生成パノラマ画像が大きく歪み, かつ, 壁領域の一部が前景物体で隠されてしまう. このような悪条件においても, ユーザによって適切に与えられる前景と壁領域の分割情報を活用することにより, error rate を 0.3 程度に留めることができています.

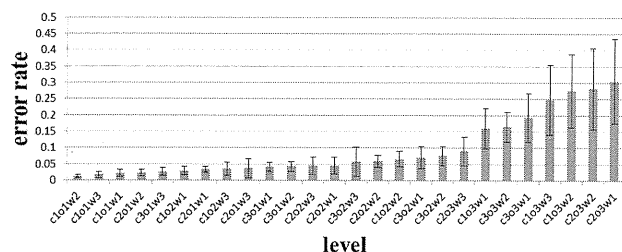


図17 領域分割処理の誤差

Fig. 17 Segmentation error rates.

ユーザ入力と領域分割の結果が各要素から受ける影響を確認するため, 各要素のレベル別にユーザ入力と領域分割の結果を表したものを図 18 に示す. 上段は領域分割結果の error rate を, 下段はユーザ入力の error rate をそれぞれ示す.

c の上段のグラフを見ると, 前景物体と壁領域の色の差異は領域分割結果にあまり影響を与えていないことがわかる. これは, 提案手法の GrabCut 領域分割は, 前景物体と壁領域の色の差よりも, 物体のエッジやユーザ入力の正確さに影響を受けていることを示している.

o のグラフを見ると, 領域分割, 入力誤差共に, 前景物体が手前に存在するほど誤差が大きくなる傾向が確認される. このことから, 提案手法における壁領域の切り出し率は, 映像に写っている特徴点の奥行き分布に大きく影響されることがわかる.

w のグラフを見ると, ユーザ入力の error rate は level 2 より level 3 の方が高いにもかかわらず, 領域分割の結果は level 3 の方が error rate が低い. これは, 特徴点を出すために, 壁に貼ったポスター部分で, 領域分割が失敗しているために起きている. $w2$ のポスター部分は領域分割が一部失敗しているのに対して, $w3$ のポスターに相当する部分は, 領域分割が成功している.

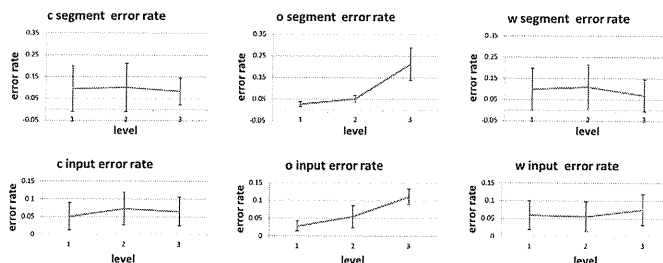


図18 各要素のレベル毎のユーザ入力と領域分割の結果

Fig. 18 Comparison segmentation and input error.

7.2 被験者による実環境での壁紙変更実験

被験者による実環境での壁紙変更実験を行った. 被験者の印象や出力された映像から, 実環境におけるシステムの主観的な評価を行う.

7.2.1 実験概要

被験者3名に対して, 実環境で一連の壁紙変更処理を行わせた後, 以下に示す4項目の評価実験を実施した. 実験の様子を撮影した映像を用いて被験者の撮影および処理行動を分析する. 以降3名の被験者をそれぞれ被験者 A, B, C とする. 提示映像品質に関する意見を調査するために, MR 提示の光学的整合性に関する知識を有する被験者を選定した. 実験に用いた部屋を図 19 に示す. 仮想環境における実験の結果, 物体の位置が壁紙変更処理に大きく関係することがわかったため, 物体が撮影位置近くに存在しない場合(以降 scene no-obj とする)と, 存在する場合(以降 scene obj とする)の2種類のレイアウトを用意した. 被験者には, 以下のタスクを実施するよう指示する. なお, 被験者は GrabCut の練習を事前に行っている.(評価実験タスク)

1. 部屋に合うと思う仮想壁紙を, 事前に用意された 28 色の壁紙の中から選択してください.
2. フリーハンド映像を撮影してください.
3. アンケート①に「はい」と「いいえ」で回答してください. また, その理由について教えてください:「scene no-obj と scene obj で撮影方法に違いはありましたか?」
4. パノラマ画像上でユーザ入力を行ってください.
5. アンケート②に「はい」と「いいえ」で回答してください. また, その理由について教えてください:「scene no-obj と scene obj でユーザ入力の仕方に違いはありま

したか？」

6. 出力された映像を確認してください。

7. アンケート③に以下の5段階で回答してください：「出力された映像は、選択した壁紙が本当に部屋にあっていないかを検証する参考になりましたか？」

1:全く参考にならなかった, 2:参考にならなかった, 3:どちらともいえない, 4:参考になった, 5:非常に参考になった」

8. アンケート④に「はい」と「いいえ」で回答してください。また、その理由について答えてください：「出力された映像を確認し、改めて選んだ仮想壁紙が部屋にあっていないと思いますか？」

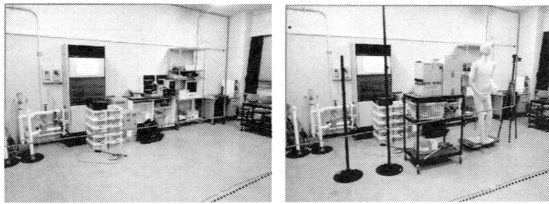


図19 実環境での壁紙変更実験：(左)前景物体なし scene no-obj、(右)あり scene obj. 赤枠が対象となる壁面。

Fig. 21 Wallpaper replacement experiments in a real space.

7.2.2 結果と考察

主観評価実験の結果を表1に示し、その結果に基づいて行った考察を、「フリーハンド映像の撮影」、「パノラマ画像上でのユーザ入力」、「出力された映像の確認」の3項目について述べる。

【フリーハンド映像の撮影】 scene no-obj でフリーハンド映像を撮影する際は、被験者全員が立っている撮影位置から動かず、カメラの視点をパン方向に回転して部屋を見渡したような映像を撮影していた。それに対して scene obj では、被験者 B, C は、立っている位置を移動しながら、フリーハンド映像を撮影していた。被験者 B は、アンケートに対し「前景物体を避けるように移動しながら撮影を行った」と回答している。これは、平行移動を行うことで前景物体による壁の隠蔽を回避し、壁全体の様子を撮影しようとしたためであると考えられる。

【ユーザ入力】 被験者 C が撮影したフリーハンド映像から生成されたパノラマ画像を図 20 に示す。scene obj において、生成されたパノラマ画像は視点の平行移動があっても、Graphcut Textures と Poisson Blendign により、はり合わせ境界などはあまり目立たないが、映像から抽出される特徴点の奥行きが多様に分布する scene obj の方が、scene no-obj よりパノラマ画像の歪みが大きくなっている。これは全員の被験者に同じような傾向が見られた。しかしながら、アンケート②では、被験者は3人とも scene obj と scene no-obj で、ユーザ入力の仕方に違いがなかったと回答している。このことより、パノラマ画像の

歪みの大きさは、ユーザ入力に問題とならないことがわかる。加えて、パノラマ画像はり合わせ境界に言及している被験者もいなかったため、はり合わせ境界における違和感はなかったと考えられる。

【出力された映像の確認】 被験者 A の出力された映像の一部を図 21 に示す。アンケート③においては、被験者は3人とも 4(シミュレーション映像が参考になった)もしくは 5(シミュレーション映像が大変参考になった)と回答している。また、アンケート④において、被験者 B, C は「最初に選択した仮想壁紙が部屋に合っていないことがわかった」と回答した。

アンケート①から、撮影対象となるシーンの形状が複雑な場合に、被験者 B と C は、壁全体の様子を撮影しようと視点を移動させたことがわかる。そのように撮影した画像群から生成されたパノラマ画像は、比較的大きな歪みが観測されるが、アンケート②の結果より、ユーザによる領域分割情報の入力には影響を与えないことが確認された。その上で、被験者 B と C は、アンケート③の結果より、MR 提示された映像が壁紙選択の参考になったと回答し、かつ、MR 映像を確認した後のアンケート④では、目の前の壁とモニタ上の仮想壁紙を見比べて選択した壁紙が、部屋の雰囲気合っていないことに気づいた、と回答していることから、部屋の雰囲気に合う壁紙選択に、MR 提示が有効であることがわかる。一方で、アンケート①で撮影方法に違いがなかったと回答した被験者 A は、アンケート③、④の回答が、他の被験者に比べ否定的であった。このことから、提案システムを有効に機能させるためには、隠れ領域を減らすなどの撮影上での工夫が必要であることが考えられる。

映像の品質に関しては、領域分割処理の不安定さによって引き起こされる、仮想壁紙のちらつきが気になるという指摘があった。これは、今後映像中の隣接するフレームにおいて、領域分割が大きく変わらないような処理を行うことにより解決を試みる予定である。しかしながら、仮想壁紙の品質において、光学的整合性に関する問題点を述べた被験者はいなかったことから、対象が単色の壁紙であり、かつ、おおまかな結果の確認のみであれば、正確に仮想壁紙の光学的整合性を再現せずとも、ユーザは違和感をそれ程感じないといえる。

表 1 主観評価実験の結果(アンケートへの回答)

Table1 Answers of the subjective evaluations.

	被験者 A	被験者 B	被験者 C
アンケート①	いいえ	はい	はい
アンケート②	いいえ	いいえ	いいえ
アンケート③	4	5	5
アンケート④	はい	いいえ	いいえ

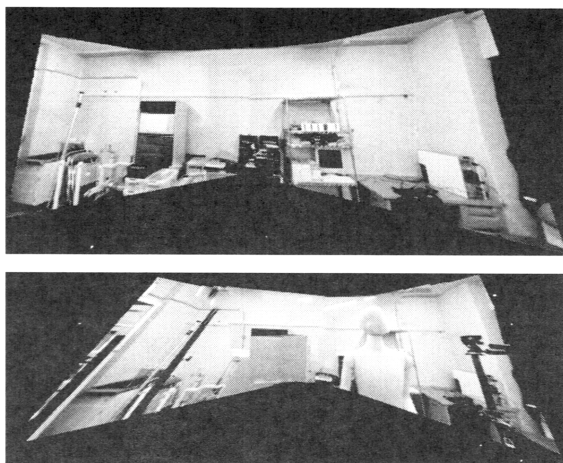


図20 被験者 C が撮影した映像から生成されたパノラマ画像

Fig. 20 A panoramic image generated by a video sequence captured by Subject-C.

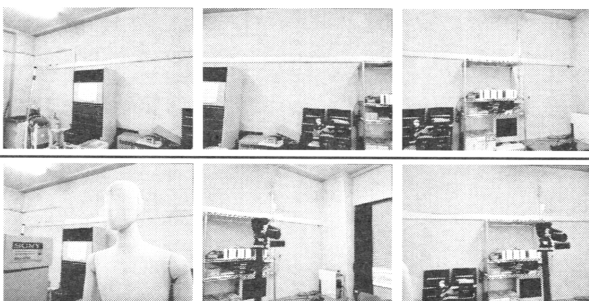


図21 被験者 A が撮影した映像における壁紙重畳結果
Fig. 21 An MR wallpaper replacement result for Subject-A.

8 おわりに

本稿では、ユーザが手持ちカメラで撮影したフリーハンド映像上で、複合現実感を用いて壁紙の変更を行う手法を提案した。映像中の壁領域への仮想壁紙の重畳を、ユーザ入力による前景物体領域・壁紙領域の指定で達成した。具体的にはユーザ入力を基にしたGrabCutによる領域分割を用いて、壁領域を切り出した。壁領域の切り出しを領域分割で行うことにより、カメラと計算機さえあればどこでも手軽に壁紙変更のシミュレーションを行うことができる。

実験では、提案手法を用いて、実際に壁紙変更のシミュレーションを行った。仮想環境で部屋を作成し、家具の位置や色、壁紙の様子が提案手法に与える影響を確認した。実環境での実験では、実際に被験者に壁紙変更シミュレーションを行わせ、各被験者の印象を考察するとともに、壁紙変更の際の検討に提案手法が有効であることを確認した。

参考文献

[1] Y. Ohta, H. Tamura, "Mixed Reality -Merging Real and Virtual Worlds," Ohmsha, 1999.

[2] 上田将司, 北原格, 大田友一, "動画像上での複合現実感を用いた壁紙変更手法," 第16回バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp. 396-399, 2011.

[3] 上田将司, 北原格, 大田友一, "フリーハンド映像から抽出した壁領域における複合現実型壁紙シミュレーション," 電子情報通信学会技術研究報告.MVE, マルチメディア・仮想研究基礎 Vol. 111, No. 380, pp. 233-238, 2012.

[4] M. Ueda, I. Kitahara and Y. Ohta, "A Wall Paper Replacement Method in a Free-Hand Movie," Proceedings of International Conference on 3D System and Applications, pp. 233-237, 2012.

[5] 中川雅通, 佐藤宏介, 千原國宏, "背景画像と前景3次元物体間のマップベースの衝突判定と反射運動生成," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 2, pp. 425-430, 1999.

[6] 野田真一, 伴好弘, 佐藤宏介, 千原國宏, "実時間計測と動的パターン照明による光学シースルー型複合現実感ディスプレイ," TVRSJ, Vol. 4, No. 4, pp. 665-670, 1999.

[7] M. Kanbara, T. Okuma, H. Takemura and N. Yokoya, "Real-time Composition of Stereo Images for Video See-through Augmented Reality," Proceedings of IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, Vol. 1, pp. 213-219, 1999.

[8] R. A. Newcombe, S. Izadi, O. Hilliges, D. Molyneaux, D. Kim, A. J. Davison, P. Kohli, J. Shotton, S. Hodges and A. Fitzgibbon, "Kinect-fusion: Real-time dense surface mapping and tracking," Proceedings of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 99-107 2011.

[9] N. Snavely, S. M. Seitz and R. Szeliski, "Modeling the world from Internet photo collection," International Journal of Computer Vision Vol. 80, No. 2, pp. 189-210, 2007.

[10] E. Mortensen, W. Barrett, "Intelligent scissors for image composition," Proceedings of SIGGRAPH, pp. 191-198, 1995.

[11] M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models," Proceeding of IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 259-268, 1987.

[12] Y. Chuang, B. Curless, D. H. Salesin and R. Szeliski, "A Bayesian Approach to Digital Matting," Proceedings of IEEE Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 2, pp. 264-271, 2001.

[13] C. Rother, V. Komogorov and A. Blake, "'GrabCut': Interactive Foreground Extraction Using Iterated Graph Cuts," ACM Transactions on Graphics, Vol. 23, No. 3, pp. 309-314, 2004.

[14] 石川悠, 安室喜弘, 南広一, 井村誠孝, 真鍋佳嗣, 千原國宏, "実環境光源下における仮想物体のレイアウトシミュレーション," 電子情報通信学会技術研究報告, PRMU, pp. 13-18, 1999.

[15] 東芝(1995-2012) "AR 家電 未来のカタログ" (<http://arkaden.jp/>)

[16] 日立アプライアンス(2012) "キッチンに「真空チルド SL」を置いてみよう!" (<http://kadenfan.hitachi.co.jp/rei/ar/pdf/ar.pdf>)

[17] A. Rav-Acha, P. Kohli, C. Rother and A. Fitzgibbon,

“Unwarp Mosaics: A new representation for video editing,” ACM Transactions on Graphics, Vol. 27, No. 3, 2008.

- [18] S. DiVerdi, J. Wither, and T. Höllerer, “All around the map: Online spherical panorama construction,” Computers and Graphics, Vol. 33, Issue. 1, pp. 73-84, 2009.
- [19] D. Steedly, C. Pal, and R. Szeliski, “Efficiently Registering Video into Panoramic Mosaics,” Proceeding of IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 1300-1307, 2005.
- [20] M. Brown and D. Lowe, “Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features,” International Journal of Computer Vision, Vol.74 No.1, pp. 59-73, 2007.
- [21] H. Bay, T. Tuytelaars and L. V. Gool, “SURF: Speed Up Robust Features,” Proceedings of European Conference of Computer Vision, Vol. 110, No. 3, pp. 346-359, 2008.
- [22] M. A. Fischler and R. C. Bolles, “Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography,” Communications of the ACM, Vol. 24, No. 6, pp. 381-395, 1981.
- [23] V. Kwatra, A. Schodl, I. Essa, G. Turk, and A. Bobick, “Graphcut Textures: Image and Video Synthesis Using Graph Cuts,” Proceedings of ACM Transactions on Graphics, Vol. 22, Issue. 3, pp. 277-286, 2003.
- [24] P. Perez, M. Gangnet and A. Blake, “Poisson Image Editing,” ACM Transactions on Graphics, Vol. 22, Issue. 3, pp. 313-318, 2003.
- [25] Y. Boykov, M-P. Jolly, “Interactive Graph Cuts for Optimal Boundary & Region Segmentation of Objects in N-D Images,” Proceedings of International Conference on Computer Vision, Vol. 1, pp. 105-112, 2001.
- [26] Condo apartment interior max, Household Items (2011), (http://artist-3d.com/free_3d_models/dnm/model_disp.php?uid=3071)

(2013 年 12 月 6 日受付)

[著者紹介]

上田 将司 (非会員)



2013 年筑波大学大学院システム情報工学研究科博士前期課程修了。同年カシオ計算機(株)入社。修士(工学)。在学中は、複合現実感を用いたコミュニケーション支援技術に関する研究に従事。

北原 格 (正会員)



1996 年筑波大学大学院理工学研究科了。同年シャープ(株)入社。2000 年筑波大学先端学際領域研究センター助手。2003 年 ATR 研究員。2005 年筑波大学大学院システム情報工学研究科講師。2008 年同准教授。コンピュータビジョン、複合現実感の研究に従事。2003 年 IEEE VR2003 Honorable Mention Award。2009 年度本学会論文賞など受賞。博士(工学)。

大田 友一 (正会員)



1977 京都大大学院博士課程了。京都大学情報工学科助手、筑波大学電子・情報工学系講師、カーネギーメロン大学計算機科学科客員研究員、筑波大学電子・情報工学系助教授を経て、1992 年同教授。2004 同大学院システム情報工学研究科教授。2013 より、同大学副学長・理事。工博。コンピュータビジョン、視覚情報メディア、複合現実感の研究に従事。2009 年度本学会論文賞受賞。パターン認識国際連盟フェロー、電子情報通信学会フェロー、情報処理学会フェロー。