情報処理学会論文誌　デジタルコンテンツ　Vol.9　No.1　34–42 (Feb. 2021)

研究論文

画像接合技術に基づく広視野画像のための隠消現実感達成法

山﨑 賢人[1,2,a)]　岡原 浩平[2]　木村 朝子[1]　柴田 史久[1]

受付日 2020年7月15日, 採録日 2020年11月26日

概要：本論文では，視野角によって生じる死角と遮蔽物によって生じる死角を，複数視点のカメラ映像を接合することで同時に解消する画像接合手法を提案する．視野角によって生じる死角は特殊な光学系を採用する方法や複数視点からのカメラ画像を接合する方法などで解消できる．一方，遮蔽物によって生じる死角については，隠背景を観測して，遮蔽物が占める領域に投影・合成する隠消現実感技術によって解消できる．しかし，これらの死角は同時に発生しうるため，各々を個別に解決すると非効率になる可能性がある．そこで我々は，画像接合技術と隠消現実感技術に共通する考え方を整理し，両者を同時に解決する手法について検討した．その結果，画像接合のための境界線決定時に，遮蔽物を基に生成したマスク画像を用いることで，広視野画像から遮蔽物を除去した画像を生成できることを確認した．

キーワード：画像接合，隠消現実感，グラフカット，ブレンディング

Realizing Diminished Reality Experience for Wide-field Image Based on Photo Stitching Technology

Kento Yamazaki[1,2,a)]　Kohei Okahara[2]　Asako Kimura[1]　Fumihisa Shibata[1]

Received: July 15, 2020, Accepted: November 26, 2020

Abstract: In this paper, we propose a photo stitching method to solve two kinds of blind spots on a camera image at the same time. Blind spots due to the viewing angle can be eliminated by employing a special optical system or by stitching multiple viewpoint images. On the other hand, blind spots due to occluding objects can be eliminated by diminished reality (DR) technology, which visualizes occluded areas by replacing occluding objects with hidden area images. However, these blind spots could occur at the same time, so that it is inefficient to solve two problems separately. Therefore, we considered a method for solving both types of blind spots simultaneously by extracting common ideas between photo stitching and DR technologies. As a result, we found that the method which defines stitching seams with a mask images of occluding objects can generate a wide-field image without occluding objects.

Keywords: photo stitching, diminished reality, graph cut, image blending

1. はじめに

カメラ映像における死角は視野角に起因するものと遮蔽物に起因するものの 2 つが存在する．

視野角に起因する死角を減らすために，より広視野なカメラ映像を生成できる製品が登場している．たとえば，魚眼レンズや全天周カメラなどが，その 1 例である．しかし，これらのハードウェアによる解決策はレンズの歪みや解像度の低下などの原因となる．ソフトウェアによる解決策も多く提案されている．たとえば，日産自動車のアラウンドビューや三菱電機の Fairyview® などのように，複数視点のカメラ映像を縫い合わせるように接合する Photo Stitching が様々な場面で運用されている [1], [2].

一方で，遮蔽物に起因する死角を減らすには，視野角内から遮蔽物を排除するのが望ましい．しかし，現実世界に

[1] 立命館大学大学院情報理工学研究科
Graduate School of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University, Kusatsu, Shiga 525–8577, Japan
[2] 三菱電機株式会社情報技術総合研究所
Information Technology R&D Center, Misubishi Electric Corporation, Kamakura, Kanagawa 247–8501, Japan
[a)] yamazaki@rm2c.ise.ritsumei.ac.jp

© 2021 Information Processing Society of Japan

物理的に存在する物体を消滅させることはできないため，カメラ映像中から何らかの方法で視覚的に遮蔽物を隠蔽・消去しなければならない．この課題を解決する手法の 1 つとして隠消現実感（Diminished Reality：DR）技術が注目を集めている．BOSCH では前方車両によるドライバーの死角をなくすために，DR 技術を用いて前方車両を消去した [3]．このほかにも DR 技術は，様々な分野で展開が始まっている．

視野角に起因する死角や，遮蔽物に起因する死角は，各シチュエーションに応じて解決策が講じられてきた．しかし，これら 2 つの死角の発生条件は排反事象ではない．たとえば，周辺監視のために複数台のカメラを設置して広視野画像を生成したとする．この場合，カメラ設置位置によっては遮蔽物が原因で遠方まで見渡せない状況もありうるし，設置時は問題がなくとも，後に遮蔽する物体が出現する可能性もある．遮蔽された死角領域を撮影するカメラを別途用意した場合，この画像を見るためには広視野画像とは別のウィンドウもしくはモニタが必要となるが，監視者にとって複数の画像を同時に監視することは身体的な負担が大きい．死角領域の数が増加するにともない負担も増加することから，我々は広視野画像に対して，身体的な負担が小さく，かつ直観的に空間を把握しやすくするために，遮蔽物を視覚的に除去する手法を DR 技術に求めた．DR 技術を用いて遮蔽物を視覚的に除去する処理の一般的な流れは文献 [4] に詳しい．具体的には，遮蔽物の背後の光景である「隠背景（空間）」を何らかの手段で観測することによって「隠背景投影画像」を生成し，体験者視点に合わせてこれを除去対象物が占める領域に投影・合成することによって除去対象物を視覚的に消去する．

すなわち，視野角に起因する場合であっても，遮蔽物に起因する場合であっても，死角を減らすためには，複数視点のカメラ映像を違和感なく接合することに変わりはない．

そこで本論文では，両課題を同時に解決するため，複数視点のカメラ映像を活用した画像接合手法を提案する．以降，2 章では本研究で用いた広視野画像の生成方法を説明し，3 章では提案手法について述べる．4 章では，提案手法を評価し，評価結果について考察する．5 章において，まとめと今後の展望を述べる．

2. 広視野画像の生成方法

提案手法は，建物などの周辺を広範囲にわたって監視するアプリケーションでの利用を想定していることから，カメラは周辺を見渡せるように放射線状に設置することが望ましい．このとき，各カメラが 1 つの視点を中心にパンするような配置が理想的だが，実世界において視点を一致させることは難しく，視差が発生してしまう．さらにビル壁面などのように設置位置が限定されている環境では，さらに視差は大きくなる．

図 1　パノラマ画像を構成するカメラ画像群
Fig. 1　Camera images made up a panoramic image.

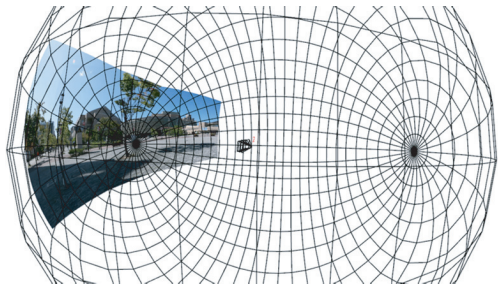


図 2　球状の投影面
Fig. 2　Spherical projection surface.

Photo Stitching の手法は数多く提案されているが，仮想面を設定し，そこに各カメラ画像を投影することで画像を接合している手法が多い．我々は，これらの手法の中から，投影面の位置を無限遠と仮定しているため，視差を無視できる Brown らの手法を選んだ [5]．

本研究では広視野画像の中でも，Brown らの手法により生成した画像をパノラマ画像と称する．以降では，**図 1** に示すカメラ画像群を元にパノラマ画像を生成する手順について述べる．図 1 の画像群は視差があってもパノラマ画像を生成できることを示すために撮影した画像群である．

画像接合の事前準備として，各カメラの位置関係を推定する．各カメラ画像の特徴点を検出後，任意の画像間で特徴点を対応付けし，被写体が遠方にあることを前提にホモグラフィ行列を計算した．ホモグラフィ行列から任意の座標系における各カメラの回転成分を求めた．

次に仮想面を定義する．仮想面は平面や円筒，球など様々な形状のものがあるが，ここでは球にした場合について述べる．仮想面に各カメラ画像に投影後（**図 2**），正距円筒図法により 2 次元平面に展開した．本論文では，この展開した画像を Warp 画像と呼ぶ．この Warp 画像をシームレスに接合するためには画像が重複する領域をブレンディングする必要がある．このとき，重複する領域の画素を一様に混ぜるわけではなく，重複する領域内で境界線を決め，その境界線を基に画像をブレンディングする．Warp 画像間の重複する領域を処理するために，Warp 画像の有効画素からマスク画像を生成した（**図 3** (a)）．この Warp 画像とマスク画像を基に重複領域および境界線を決定することでブレンディングが可能となる．図 3 (b) に示すのは Graph Cut アルゴリズムを用いて境界線を決めた後のマスク画像である [6]．このマスク画像を基にマルチバンドブレンディングした結果を**図 4** に示す [7]．

© 2021 Information Processing Society of Japan

(a) Warp 後のマスク画像

(b) 領域分割後のマスク画像

図 3　マスク画像
Fig. 3　Mask images.

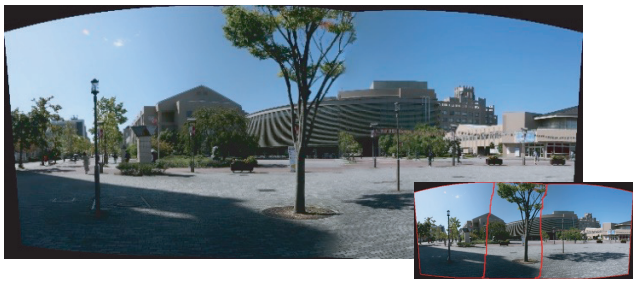
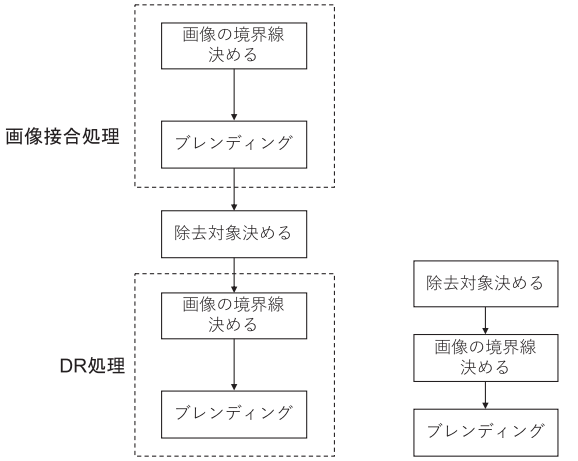


図 4　Brown らの手法によるパノラマ画像
Fig. 4　Panoramic image based on Brown's method.



(a) 画像接合処理後に DR 処理　　(b) 両処理を統合

図 5　処理フローの改善
Fig. 5　Improvement of flowcharts.

図 6　各カメラの除去対象を統合したマスク画像
Fig. 6　Mask image integrated each removal area.

3.　提案手法

3.1　事前検討

本研究では文献 [5] に基づいてパノラマ画像を生成することを前提に，遮蔽物を除去するための手法を検討した．

複数カメラではないが，Hasegawa らはパンするカメラが撮影した歩行者を除去するために，複数フレームの画像（=別視点の画像）を用いて補完し合う手法を提案した [8]．

しかし，パノラマ画像を構成するカメラ画像のみで遮蔽物を除去できるように設置できるとは限らない．まずは隠背景を確実に撮影するために隠背景観測用カメラを設置したうえで，2 つの手法について検討した．1 つ目はパノラマ画像を構成する各カメラ画像に対して，遮蔽物を除去してから接合する手法である．2 つ目は生成したパノラマ画像から遮蔽物を除去する手法である．1 つ目の手法では，複数のカメラ画像から遮蔽物を除去するために，隠背景を各カメラ画像に対して生成し重畳する必要があり，2 つ目の手法よりも計算コストが高いことが予想される．しかし，2 つ目の手法も処理フローを整理すると画像接合処理後に DR 処理を実行する形となっている．画像接合処理と DR 処理は一見異なる処理に見えるが，両処理ともに「境界線を決定」し，「ブレンディング」することは変わらない（**図 5** (a)）．そこで，図 5 (b) に示すように「除去対象を決定」してから，まとめて「境界線を決定」および，その後，「ブレンディング」する処理が実現可能な処理フローについて検討した．

まず，図 5 (a) における「除去対象の決定」処理を画像接合処理における「境界線の決定」処理前に移動させることを検討した．「除去対象の決定」のために，各カメラから除去対象を抽出し，抽出した領域から DR 処理で必要となる隠背景を推定する．このとき，各カメラ画像から抽出した除去対象の領域を，仮想投影面で和集合を取ったのちに，隠背景観測用カメラ画像に投影する．図 1 における手前の生えている木を除去対象としたとき，隠背景観測用カメラに投影した各カメラの除去対象領域の和集合を**図 6** に示す．このまま図 6 が示す領域を隠背景観測用カメラ画像から抽出し，パノラマ画像に重畳した場合，除去対象である木の幹が 2 本あるなど，近くの物体は視差の関係上，二重像の領域のまま隠背景観測用カメラ画像に投影され，隠背景を抽出される可能性がある．そこで**図 7** に示すとおり，各撮影画像の除去対象と領域分割後のマスク画像の積集合を生成し，これらの和集合をとることで隠背景領域のマスク画像を生成した．このマスク画像を用いて隠背景観測用カメラ画像から隠背景を抽出した．抽出した隠背景をブレンディングした結果を**図 8** に示す [9]．このときのブレンディングはポアソンブレンディングを使用した [10]．

© 2021 Information Processing Society of Japan

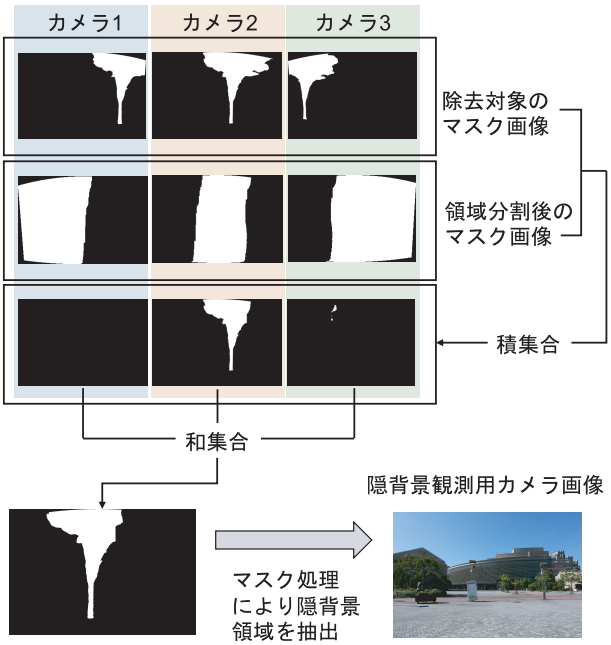


図 7　隠背景領域の抽出
Fig. 7　How to extract the background area.

図 8　文献 [9] における処理結果
Fig. 8　Result in Ref. [9].

生成した画像を評価した結果，いくつかの課題があることが分かった．Brown らの手法では仮想面に画像を投影していることから，カメラ画像中の 3 次元形状は考慮していない．そのため，隠背景観測用カメラの設置位置は除去対象より前方に設置するなどの制限がある．パノラマ画像を構成するカメラ群とは異なり，前方にカメラを設置するため，地面などはパノラマ画像を構成するカメラ群と隠背景観測用カメラとで視差が生じることから，滑らかに接合できない．この問題を避けるためには可能な限り視差が生じないカメラ位置の画像を用いて遮蔽物を除去したい．また文献 [9] の手法では DR 処理における「境界線の決定」には，画像接合処理の境界線の情報を基に生成した隠背景が必要となるため，画像接合処理および DR 処理における「境界線の決定」処理を統合することができない．ただし，パノラマ画像を構成するカメラ画像を用いて補間し合った場合は，画像接合処理のみで実現できる．

これらから次の 2 つを方針とするアルゴリズムを検討する．

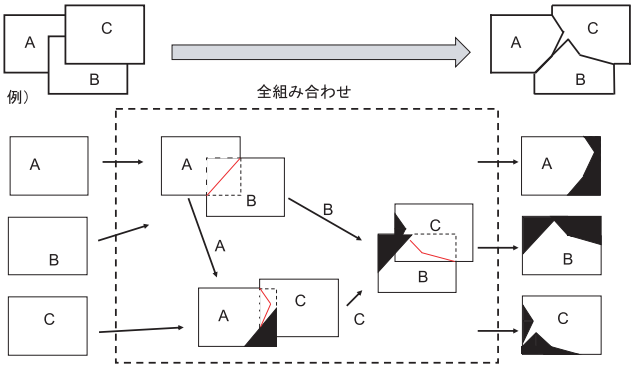


図 9　領域分割の組合せ
Fig. 9　Combination of segmentation.

- 隠背景に使用する画像はパノラマ画像を構成するカメラ画像を優先し，それでも不足となる領域は隠背景観測用カメラ画像を用いて補完する
- 隠背景観測用カメラ画像の使用有無にかかわらず，ほぼ同一の処理フローとする
- 隠背景観測用カメラ画像が必要な場合は，可能な限り小さく重畳する

これらの方針を満たすためには各画像の境界線の決め方が重要となる．一般に複数の画像が重複する領域における境界線は，任意の 2 枚の領域分割を全組合せで行うことで決定できる（**図 9**）．

除去対象を使用しないように，各カメラ画像の除去対象にマスク処理をして決めた境界線を基にパノラマ画像を生成した結果を**図 10** に示す．図 10 (a) に示すとおり，パノラマを構成する画像だけで生成した場合，地面のズレは改善されているが，樹葉部分の隠背景が生成されていない．一方，図 10 (b) に示すとおり，隠背景観測用カメラを追加して生成した場合，隠背景観測用カメラ画像が大きく使用され，地面のずれなどが目立つ画像となった．

つまり，隠背景観測用カメラの画像は，図 10 (a) で示すとおり，隠背景が足りない領域に限定して重畳するが，別視点であることから違和感の原因となるため，可能な限り小さく重畳したい．ただし，図 10 (a) を生成してから，足りない領域を推定して重畳するのではなく，図 5 (b) の処理になるような手法を提案する．

3.2　提案手法

所望の領域で分割できる境界線を決定するアルゴリズムを設計することは難しい．Graph Cut のように画素情報から違和感なく領域分割する手法は提案されているが，画素値を用いた機械的な分割であって，人の感性の指針とは異なる場合がある．そこで Summa らは手動で境界線を動かすことで，違和感の少ない領域分割手法を提案した [11]．しかし，DR などの xR は，実世界情報を実時間で反映する必要があるため，手動により境界線を決める手法は適切

© 2021 Information Processing Society of Japan

(a) パノラマを構成する画像群のみ　　(b) パノラマを構成する画像群と隠背景観測用カメラ画像

図 10　マスクを用いて生成したパノラマ画像
Fig. 10　Panoramic image with mask image.

(a) 除去対象領域マスク　　(b) 除去対象周辺領域マスク

図 11　2 種類のマスク画像
Fig. 11　2 types of mask image.

ではない．

そこで我々は境界線決定のために 2 種類のマスク画像を使用する手法を提案する．この手法自体は，広視野画像の生成において Brown らの手法に制限されるものではなく，他の手法にも有効である．

使用するマスク画像は**図 11** に示す 2 パターンである．**図 12** に示すとおり，パノラマ画像を構成するカメラ画像どうしで領域を分割後に，隠背景観測用カメラ画像と領域を分割する．まずパノラマ画像を構成するカメラ画像どうしの領域分割処理では図 11 (a) に示す除去対象をマスクした画像（除去対象領域マスク画像）を使用する．次にこれらのマスク画像を用いて，隠背景画像観測用カメラの画像のマスク画像との領域を分割するが，そのまま使用した場合，除去対象の近くで分割される保証はない．そこで，除去対象の近くで分割するために，図 11 (b) に示すマスク画像と，領域分割後のパノラマ画像を構成するカメラ画像のマスク画像（除去対象周辺領域マスク画像）の積集合を使用する．両画像は使用領域内（マスク画像における白）でのみ分割されるため，除去対象の近くでの分割が可能である．

隠背景観測用カメラ画像との組合せは，パノラマ画像を構成するカメラ画像間で領域域分割した後になるが，組合せ総数自体は変化しないため，同枚数を用いた画像接合処理よりも次の 2 処理が増えるのみである．

- 除去対象領域マスク画像から除去対象周辺領域マスク画像を生成
- 領域分割後のマスク画像と除去対象周辺領域マスク画像との積集合演算

ブレンディングは各画像の境界線を基に行うため，境界線が設定した全画像に対しては隠背景観測用のカメラ画像があっても同じように処理が可能である．

3.3　Graph Cut への応用

Graph Cut はパノラマ画像の生成において多く用いられており，本研究でも境界線を決めるのに使用している．提案手法を Graph Cut に応用する手法を検討する．

領域分割において Graph Cut を用いて 2 枚の画像の重複領域を分割するためには**図 13** (a) に示すとおり，重複領域の画素がどちらの画像の画素になるかを判定する．このとき，重複領域のカットエネルギーが最小となるように分割するため，これを最小カット問題と呼ばれている．この問題は画像 A（source ノード）から画像 B（sink ノード）に水を流したときの最大流量となる経路を探索することと同義のため，最大フロー問題とも呼ばれている．

重複領域の各画素のノードは，マスク画像を基に source ノードや sink ノードとのエッジの重みを決める．エッジの重みは許容水量と見なすことができる．たとえば，画像 A における不使用領域（黒）とのエッジの重みを 0，使用領域（白）とのエッジの重みを 10,000 とした場合，重みが 0 の経路は水が流れなくても許容水量に到達したと見なせることから画像 A と判定されることはない．

本提案手法における隠背景観測用カメラ画像の使用領域は可能な限り小さくしたい．そこで，除去対象周辺領域マスク画像に工夫を加える．除去対象周辺領域マスク画像の除去対象領域からのユークリッド距離に応じて黒から白へとグラデーションする距離変換画像を生成しマスク画像の代替とする [12]．そうすることで，図 13 (b) に示すとおり，重複領域における各画素からパノラマ画像を構成するカメラ画像へのエッジの重みは除去対象領域に近づくに連れて小さくなる．つまり，許容水量が小さくなるため，パノラマ画像を構成するカメラ画像と判定されにくくなる．

これは source ノードや sink ノードへのエッジの重みを混合正規分布に基づいて定義し，前景と後景に領域分割す

© 2021 Information Processing Society of Japan

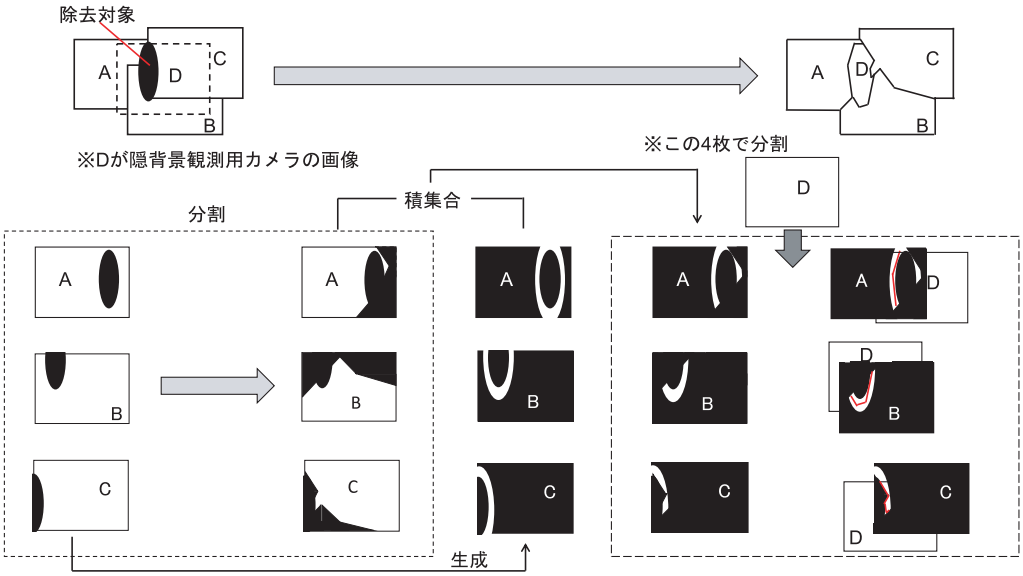
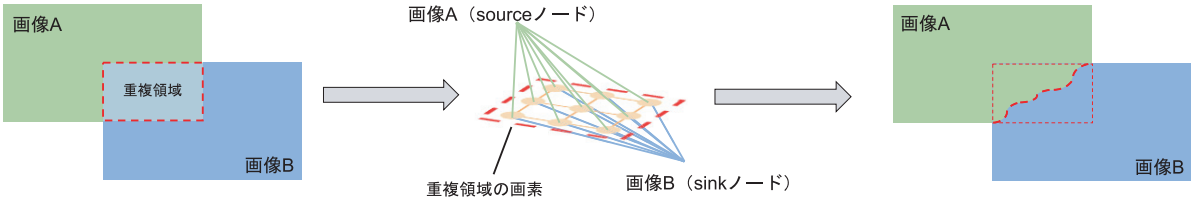
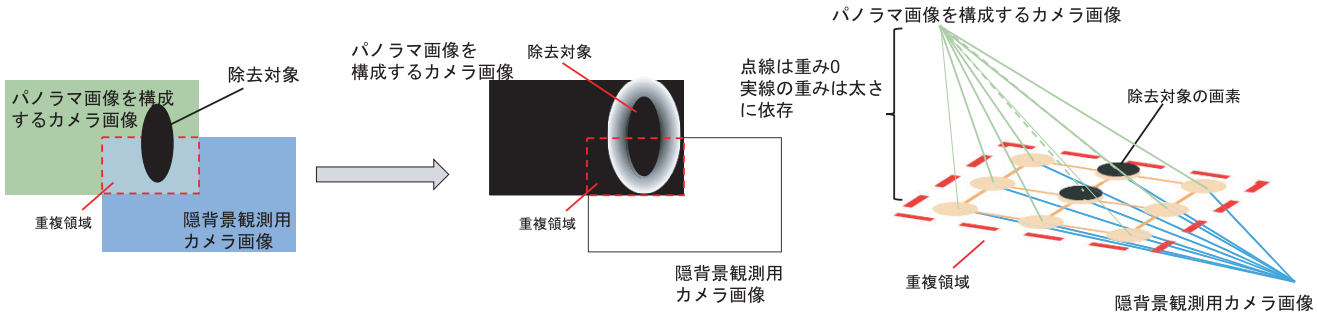


図 12　提案手法による領域分割
Fig. 12　Segmentation by proposal method.



(a) Graph Cut による領域分割



(b) 提案手法を Graph Cut に応用した場合の領域分割

図 13　Graph Cut による例
Fig. 13　Example by GraphCut.

る GrabCut の思想に近い [13].

4.　試作と評価

4.1　評価の目的と環境

本評価では除去対象をマスクした画像と撮影画像を入力とし，遮蔽物が除去された広視野画像が生成されることを確認する．評価に用いた環境は次の 2 つである．どちらも立命館大学びわこ・くさつキャンパス内で撮影した．

【環境 A】

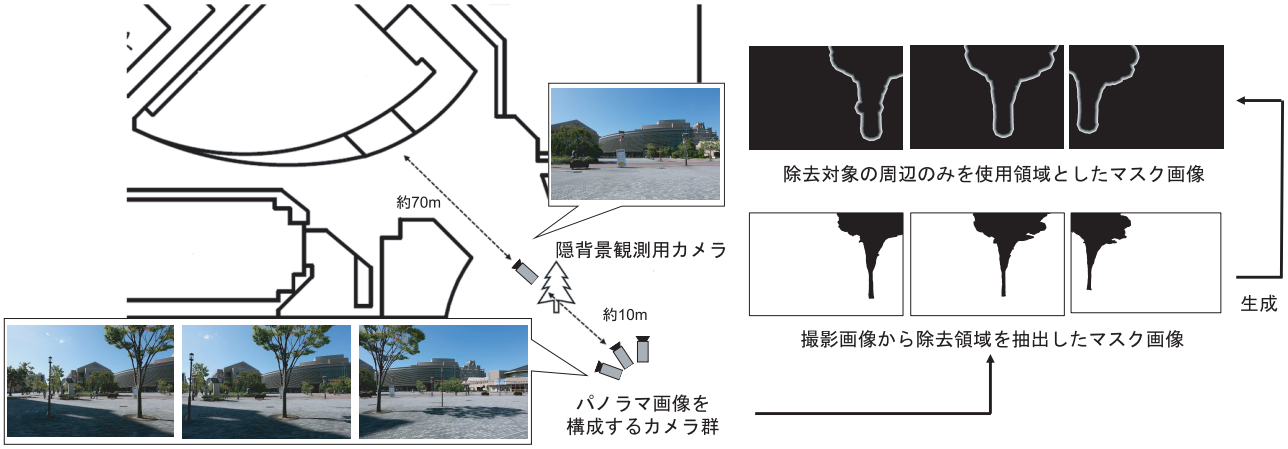
パノラマ画像を構成するカメラ群から除去対象である木までは約 10 m である（図 **14** (a)）．一方，隠背景観測用カメラは除去対象である木の近くに配置し，風景として映っている建築物までの距離は約 70 m の位置に配置した．

【環境 B】

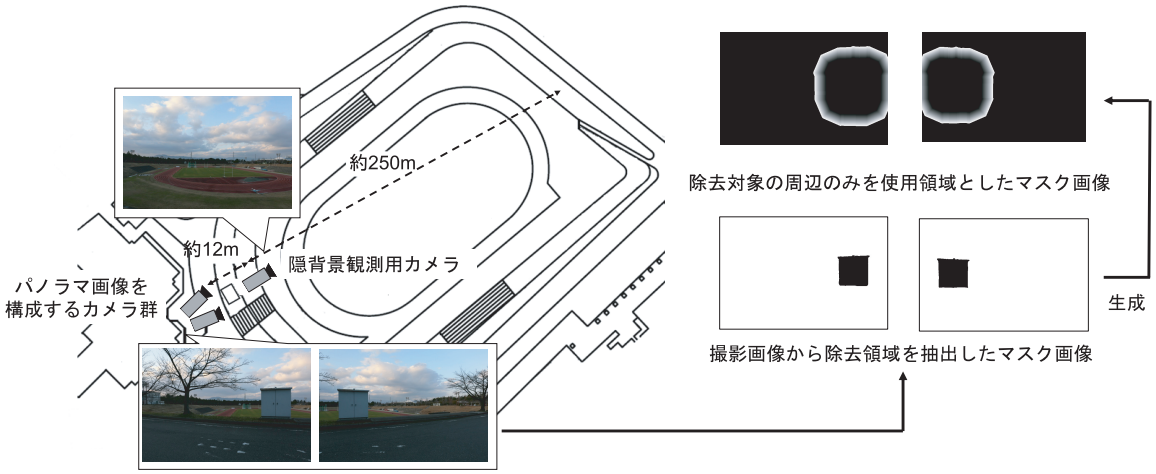
パノラマ画像を構成するカメラ群から除去対象である倉庫までは約 12 m である（図 14 (b)）．一方，隠背景観測用カメラは除去対象である倉庫の近くに配置し，風景として約 250 m 以内には建築物がない環境である．

また，提案手法の処理時間を比較することで効率的に画像が生成できることを示す．処理時間の計測に使用した画像は環境 A で撮影した 4 枚の画像であり，比較対象として，次の 2 つの手法も実装し，処理時間を計測した．

© 2021 Information Processing Society of Japan



(a) 環境 A



(b) 環境 B

図 14　カメラ配置
Fig. 14　Camera locations.

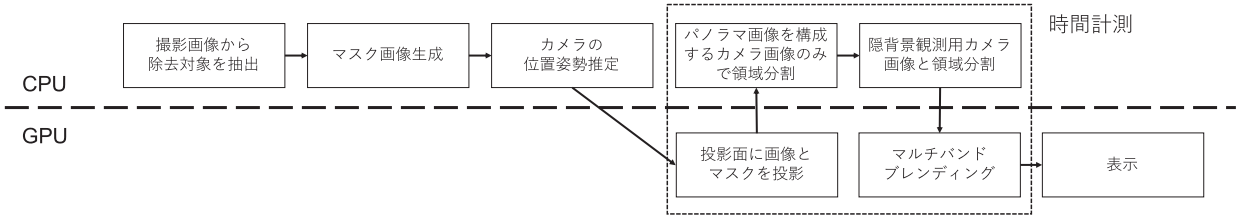


図 15　評価時における提案手法の処理フロー
Fig. 15　Flowchart of proposal method on evaluation.

手法 α　パノラマ画像を構成するカメラ群の画像 3 枚を Brown らの手法によりパノラマ画像を生成する．その後，パノラマ画像上の除去対象から隠背景を推定し，Graph Cut とマルチバンドブレンディングを用いて隠背景観測用カメラの画像を重畳する手法．

手法 β　除去対象を考慮せずに画像 4 枚（パノラマ画像を構成するカメラ群 3 枚+隠背景観測用カメラの画像 1 枚）を用いて画像接合処理のみする手法（図 10 (b)）

隠背景の推定方法は文献 [9] で述べた手法を用いる．ただしブレンディングは全手法ともにマルチバンドブレンディングを使用した．提案手法の処理フローと計測時間は**図 15** に示す．手法 α と手法 β も類似の処理フローであり，「投影面に画像とマスクを投影」「マルチバンドブレンディング」は OpenCL を用いた．

パノラマ画像生成時の領域分割はピクセルオーダの精度は不要である．そこで，本評価で実装した Graph Cut は，入力画像サイズのまま領域分割するのではなく，処理速度を向上させるために，入力画像のアスペクト比は保ちつつ 1 辺を 0.2 倍にしたサイズで領域を分割した．また除去対象の近くで分割するために距離変換画像はユークリッド距離を 5 倍にした値を用いて生成した．

両環境で用いたカメラは Canon EOS 5D Mark III，レン

© 2021 Information Processing Society of Japan

(a) 環境 A で生成した画像　　(b) 環境 B で生成した画像

図 16　実行結果
Fig. 16　Result.

表 1　PC の仕様
Table 1　PC spec.

OS	Windows 10
メモリ	16.0 GB
CPU	Intel Core i7-8700 CPU
GPU	NVIDIA GTX 1660 Ti

ズは EF24-70 mm F4L IS USM であり，解像度はフル HD とした．撮影画像を処理した PC の仕様は**表 1** に示す．

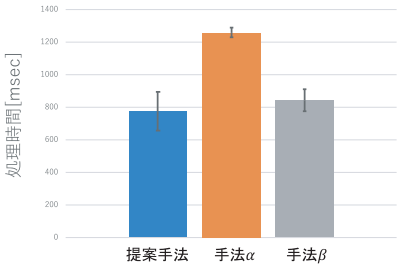


図 17　処理速度の比較
Fig. 17　Comparison of processing speed.

4.2　画像生成結果

提案手法を用いた実行結果は**図 16** に示す．左図は生成した画像であり，右下図は，各カメラの使用領域を示したものである．両環境ともに違和感が少ないことが分かった．とくに図 16 (a) は図 8 よりも違和感なく，物体を除去できていることが分かった．図 8 ではポアソンブレンディングを用いたが，提案手法では，隠背景を意識的に用意することなく，画像接合処理と同様にブレンディング可能なため，より違和感の少ない生成結果になったと考えられる．また，各撮影画像において除去対象領域は使用していないことから，除去対象の画素がブレンディングに影響を及ぼすこともない．

4.3　処理時間比較評価

次に，提案手法と手法 α，手法 β の処理時間を比較する．カメラの位置姿勢は既知かつ不動と仮定しているため，全手法ともにカメラの位置姿勢推定は処理時間から除外し，「境界線の決定」から「ブレンディング」までの時間を計測した．

計測した結果，提案手法による 100 フレームの平均処理時間は 777.84 [msec] であり，手法 α は 1,259.5 [msec]，手法 β は 843.24 [msec] であった．提案手法は手法 α より短く，手法 β と同等の処理時間であることが分かった（**図 17**）．

手法 β より提案手法のほうが処理は多いが，Graph Cut の分割領域における探索量がマスク画像によって制限されているため，全体の処理時間は少なくなっている．

境界線を決めるための領域分割は，提案手法と手法 β は ${}_4C_2 = 6$ 通りであるが，手法 α は ${}_3C_2 = 3$ 通り +1 通りの計 4 通りのため，手法 α が最も少ない．しかし，ブレンディング処理や，隠背景の推定方法などに時間がかかったため全体的には処理時間が最も大きくなった．

5.　むすび

本論文では視野角によって生じる死角と遮蔽物によって生じる死角を，複数視点のカメラ映像を接合することで同時に解消する画像接合手法を提案し，評価したことについて述べた．死角は 2 種類に大別できるが，多くの場合，それぞれの課題への対応が議論されており，同時に解決する手法は少ない．しかし，各死角への対応策である画像接合技術と DR 技術は，ともに手段として複数視点の画像を接合するため，どちらも本質は変わらない．

本研究では様々な処理フローを検討しながら，両技術の共通する考え方を整理した．その結果，境界線決定時に使用するマスク画像に，遮蔽物を基に生成したマスク画像を生成することで，効率良く広視野画像から遮蔽物を除去できることが分かった．

評価実験において提案手法の有用性は示せたが，実時間性があるとはいえない処理時間であった．本実装では CPU によるマルチスレッド処理に加え，一部，OpenCL を用いた GPU 処理も実装しているが，まだまだ最適な処理になっているとはいえない．したがって，今後は高速化処理についても検討する．

© 2021 Information Processing Society of Japan

本論文では静止画像に対して遮蔽物を除去した広視野画像の生成について述べた．近年，静止画だけではなく，動画に対する画像接合技術も多く提案されている [14], [15]．今後はストリーミング配信されたカメラ映像への対応も検討する予定である．さらに，より多くの環境下を想定しながら，より最適な処理方法も追求する．

参考文献

[1] Okahara, K., Fukasawa, T., Furuki, I. and Abe, H.: Efficient implementation of top-view surveillance system using multiple cameras, *IIEEJ Image Electronics and Visual Computing Workshop 2017* (*IEVC 2017*) (2017).

[2] 酒井和彦：世界初アラウンドビューモニター，自動車技術 = Journal of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.62, No.3, pp.100–101 (2008).

[3] Rameau, F., Ha, H., Joo, K., Choi, J., Park, K. and Kweon, I.S.: A real-time augmented reality system to see-through cars, *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics* (*TVCG*), Vol.22, No.11, pp.2395–2404 (2016).

[4] 森　尚平，一刈良介，柴田史久，木村朝子，田村秀行：隠消現実感の技術的枠組と諸問題：現実世界に実在する物体を視覚的に隠蔽・消去・透視する技術について，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，Vol.16, No.2, pp.239–250 (2011).

[5] Brown, M. and Lowe, D.G.: Automatic panoramic image stitching using invariant features, *International Journal of Computer Vision* (*IJCV*), Vol.74, No.1, pp.59–73 (2007).

[6] Kwatra, V., Schödl, A., Essa, I., Turk, G. and Bobick, A.: Graphcut textures: Image and video synthesis using graph cuts, *ACM Trans. Graphics* (*ToG*), Vol.22, No.3, pp.277–286 (2003).

[7] Burt, P.J. and Adelson, E.H.: A multiresolution spline with application to image mosaics, *ACM Trans. Graphics* (*TOG*), Vol.2, No.4, pp.217–236 (1983).

[8] Hasegawa, K. and Saito, H.: Diminished reality for hiding a pedestrian using hand-held camera, *2015 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Workshops*, pp.47–52, IEEE (2015).

[9] 山﨑賢人，岡原浩平，木村朝子，柴田史久：画像接合型広視野映像に対する隠消現実達成法の検討，情報処理学会研究報告デジタルコンテンツクリエーション（DCC），Vol.2020-DCC-25, No.3, pp.1–5 (2020).

[10] Pérez, P., Gangnet, M. and Blake, A.: Poisson image editing, *ACM SIGGRAPH 2003 Papers*, pp.313–318 (2003).

[11] Summa, B., Tierny, J. and Pascucci, V.: Panorama weaving: Fast and flexible seam processing, *ACM Trans. Graphics* (*TOG*), Vol.31, No.4, pp.1–11 (2012).

[12] Borgefors, G.: Distance transformations in digital images, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.34, No.3, pp.344–371 (1986).

[13] Rother, C., Kolmogorov, V. and Blake, A.: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts, *ACM Trans. Graphics* (*TOG*), Vol.23, p.3 (2012).

[14] Perazzi, F., Sorkine-Hornung, A., Zimmer, H., Kaufmann, P., Wang, O., Watson, S. and Gross, M.: Panoramic video from unstructured camera arrays, *Computer Graphics Forum*, Vol.34, No.2, pp.57–68, Wiley Online Library (2015).

[15] Lee, J., Kim, B., Kim, K., Kim, Y. and Noh, J.: Rich360: optimized spherical representation from structured panoramic camera arrays, *ACM Trans. Graphics* (*TOG*), Vol.35, No.4, pp.1–11 (2016).

山﨑 賢人　（正会員）

2013 年立命館大学情報理工学部卒業．2015 年同大学院情報理工学研究科博士前期課程修了．同年三菱電機（株）入社．同社情報技術総合研究所にて複合現実感，映像合成等の研究開発に従事．現在，立命館大学大学院情報理工学研究科博士後期課程在学中．

岡原 浩平　（正会員）

2012 年大阪大学基礎工学部卒業．2014 年同大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同年三菱電機（株）入社．同社情報技術総合研究所にて画像処理，映像監視システムの研究開発に従事．

木村 朝子　（正会員）

1996 年大阪大学基礎工学部卒業．1998 年同大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．同大学助手，立命館大学理工学部助教授，科学技術振興機構さきがけ研究員等を経て，2009 年立命館大学情報理工学部准教授．現在，同教授．博士（工学）．実世界指向インタフェース，バーチャルリアリティ，複合現実感，多感覚知覚の研究に従事．

柴田 史久　（正会員）

1996 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了．1999 年同研究科博士後期課程修了．大阪大学産業科学研究所助手を経て，2003 年立命館大学理工学部助教授．同大学情報理工学部准教授を経て，2013 年より同教授．博士（工学）．モバイルコンピューティング，複合現実感等の研究に従事．

© 2021 Information Processing Society of Japan