

全方位動画像の欠損修復による不可視領域のない全天球映像の生成

町北幸太郎[†] 河合 紀彦[†] 佐藤 智和[†] 横矢 直和[†]

[†] 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

E-mail: †{kotaro-m,norihi-k,tomoka-s,yokoya}@is.naist.jp

あらまし 本報告では、全方位動画像上において全方位カメラの死角により生じる欠損領域を修復し、臨場感の高いテレプレゼンスを実現する手法を提案する。本研究では、欠損領域周辺における撮影対象の形状とカメラの運動を考慮し、テクスチャの変形補正および、事例として用いる画像領域の限定を行うことで高品位な修復を行う。具体的には、全方位カメラの死角領域周辺の形状が平面で近似できると仮定し、Structure from motion 法によって得られた点群に当てはめた平面に対して全方位画像を投影し、同一物体の見え方の変化を補償する。また、全方位カメラの位置・姿勢および作成した平面を用いて、欠損領域のテクスチャが他フレームの画像上で存在する領域を限定し、実際には存在しないテクスチャの生成を防ぐ。実験では、移動しながら全方位カメラにより撮影された動画像の欠損を修復し、不可視領域のない全天球映像を生成することで、提案手法の有効性を示す。

キーワード 画像修復, 全方位動画像, テレプレゼンス

Generation of Omnidirectional Video without Invisible Area Based on Image Inpainting

Kotaro MACHIKITA[†], Norihiko KAWAI[†], Tamokazu SATO[†], and Naokazu YOKOYA[†]

[†] Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology

8916-5 Takayama, Ikoma, Nara, 630-0192 Japan

E-mail: †{kotaro-m,norihi-k,tomoka-s,yokoya}@is.naist.jp

Abstract Omnidirectional cameras cannot usually capture the entire direction of view due to the blind side. Thus, such an invisible part decreases realistic sensation in the telepresence system. In this study, an omnidirectional video without invisible area is generated by filling a missing region using an image inpainting technique for high realistic sensation in telepresence. This report proposes a new method that successfully inpaints a missing region by compensating the texture's distortion and limiting the searched area considering the camera motion and the shape of the scene around the missing region. The quality of the inpainted image is improved by limiting the searching area using the estimated plane and camera motion. In the experiment, the effectiveness of the proposed method is demonstrated by inpainting missing regions in a real image sequence captured with an omnidirectional camera and generating an omnidirectional video without invisible area.

Key words inpainting, omnidirectional image, telepresence

1. はじめに

遠隔地の実映像をユーザに提示し、あたかもその場所にいるような感覚を与えるテレプレゼンスは、娯楽、医療、教育などの分野への応用が期待されている。これらの分野ではユーザが自由に遠隔地を見回すことで臨場感を高めるために、全方位カメラによって撮影した全方位動画像を用いることが多い[1]。しかし、通常の全方位カメラには図1に示すような撮像系の構成上生じる死角が存在し、これによって臨場感が損なわれるとい

う問題がある。そこで本報告では、死角により生じる欠損領域を修復し、不可視領域のない全天球映像を生成することで、臨場感の高いテレプレゼンスを実現する手法を提案する。従来、画像中の欠損領域修復に関して、静止画像を違和感なく修復する欠損修復手法が多く提案されている[2]~[4]。これらの手法を動画像の各フレームに対して適用することで、動画像を修復することもできる。しかし、この場合には単一フレーム内の情報のみを用いて修復を行うため、各フレームで独立して実際には存在しないテクスチャが生成され、動画像として見た場合には



図1 死角により生じた欠損領域(下部の黒い領域)を持つ全地球パノラマ画像

テクスチャが不連続に変化することで、違和感が生じる場合が多い。

これに対して、生成される画像の時間的な連続性を考慮して修復を行う手法が提案されている。これらの手法は、画像上の撮影対象の動きを用いない手法[5]～[8]と、動きを用いる手法[9]～[13]に大別される。前者には、時空間における類似パターンを事例として用いて修復を行う手法[5]や、画素値が滑らかに変化するという前提で修復を行う手法[8]が存在する。また、後者は、撮影対象やカメラの動きに基づいて修復に適したテクスチャを取得する領域を決定し、修復を行う。これら動画像を対象とした手法には、時間的に不連続なテクスチャが生成されにくいという特長がある。しかし、従来手法は、視点または撮影対象の移動による撮影画像上でのテクスチャの変形を考慮していないため、カメラの移動に伴って撮影対象の見え方が大きく変化する全方位動画像を対象とした場合には、高品位な修復を実現することは難しい。

この問題に対して、本研究では、全方位画像上における欠損領域周辺の撮影対象の形状と全方位カメラの運動を考慮し、テクスチャの変形補正および、修復の事例として用いる画像領域の限定を行うことで、全方位動画像に対する高品位な修復を実現する。具体的には、全方位カメラの死角に当たる領域に存在する物体の形状が平面で近似できると仮定し、あらかじめStructure from Motion法(以下、SFM法)によって推定された欠損領域周辺の自然特徴点の三次元座標に当てはめた平面に対して全方位画像を投影することで、カメラの運動による同一物体の見え方の変化を補償する。また、各フレームに対する全方位カメラの位置・姿勢情報と点群に当てはめた平面を用いて、カメラの死角に存在する平面領域が他のフレームの画像上で存在する領域を特定し、これによって事例として利用する画像領域を限定することで、実際には存在しないテクスチャが生成されることを防ぐとともに動画像上での不連続なテクスチャの変化を抑制する。なお、本研究では、複数のカメラユニットを放射状に配置することで一つのカメラボックを構成し、一度に全方位を撮影する全方位型マルチカメラシステムを用いることを想定し、加えて死角領域は地面の方向に存在するものとする。また、欠損領域はあらかじめ手動で与えるものとする。

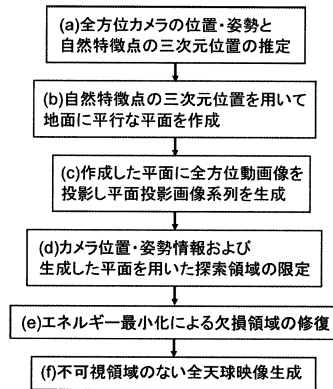


図2 不可視領域のない全地球映像生成処理の流れ

2. 欠損領域の修復による不可視領域のない全地球映像の生成

図2に、提案手法の処理の流れを示す。本研究では、まずSFM法を用いることで、全方位カメラの位置・姿勢と自然特徴点の三次元位置を推定する(a)。次に、カメラの位置・姿勢情報と自然特徴点の三次元位置を用いてフレームごとに地面に対応する三次元点群に平面を当てはめ(b)、当てはめた平面に全方位動画像を投影することで平面投影画像系列を生成する(c)。続いて、カメラ位置・姿勢情報および生成した平面を用いることで修復に利用するテクスチャが存在するデータ領域を限定する(d)。最後に、各フレームに対して順次、欠損領域と限定したデータ領域のテクスチャの類似度に基づくエネルギーを最小化することにより欠損領域の修復を行い(e)、修復画像を全地球パノラマ画像に投影することで、不可視領域のない全地球映像を生成する(f)。以上の処理を複数フレームに対して適用することで動画像の欠損修復を行う。

2.1 全方位カメラの位置・姿勢と自然特徴点の三次元位置の推定

全方位カメラの位置・姿勢および自然特徴点の三次元位置を、全方位カメラに対するSFM法[14]を用いて推定する。この手法では、まず、対象となる環境を移動しながら全方位カメラを用いて撮影する。次に、Harrisオペレータによって検出された動画像中の自然特徴点を自動追跡することで、自然特徴点の三次元位置と全方位カメラの外部パラメータを推定する。最後に、動画像全体での最適化処理(bundle adjustment)を行うことで、カメラパラメータと自然特徴点の三次元位置の累積的な推定誤差を最小化する。

2.2 欠損領域周辺の形状推定による平面投影画像の生成

全方位動画像上における欠損領域に当たる地面の形状が平面であると仮定し、その平面に全方位動画像を投影することで全方位カメラの移動による画像上でのテクスチャの変形を補償した平面投影画像群を作成する。

具体的には、まず全方位動画像に対するSFM法によって得ら

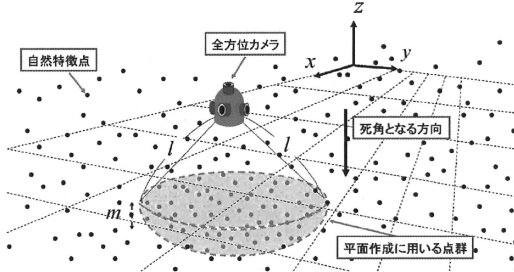


図3 欠損領域周辺の特徴点の抽出

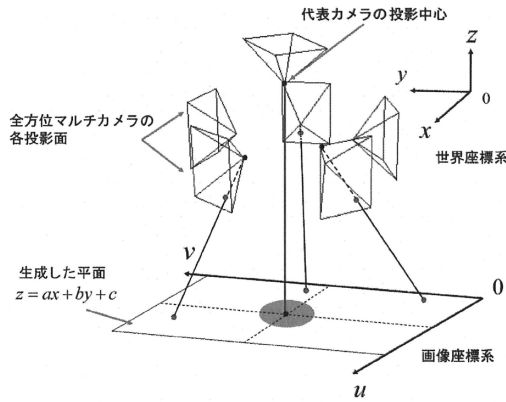


図4 平面投影画像の生成

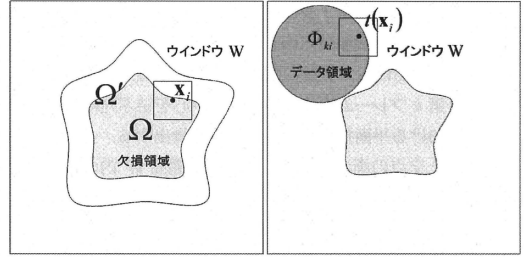
れた三次元点群から、図3に示すように、カメラを中心とした半径 l の球内に存在し、かつ世界座標系における特徴点の高さ z が、 $(p < z < p + m)$ (p, m は定数) の範囲内に存在するものを、欠損領域周辺の地面領域に対応する点群として抽出する。次に、世界座標系における地面を表す平面の式を $z = ax + by + c$ とおき、抽出された特徴点 (x_i, y_i, z_i) と平面との z 軸に沿った二乗距離の総和による以下のコスト関数 L が最小となるように、最小二乗法を用いて平面のパラメータ (a, b, c) を決定する。

$$L = \sum_{i=1}^n (ax_i + by_i + c - z_i)^2 \quad (1)$$

ただし、 n は抽出された特徴点の個数である。最後に、図4に示すように、各フレームで生成した平面に対して全方位動画を投影することで平面投影画像系列を作成する。またここでは、マルチカメラシステムにおける代表カメラの投影中心を通り鉛直下方向に向かう基底ベクトル方向の光線と生成した平面の交点を、平面投影画像の画像中心とすることで、欠損領域が常に平面投影画像の中心となるようにする。

2.3 エネルギー最小化による欠損領域の修復

前節で述べた手法により生成した欠損領域を持つ平面投影画像に対して、フレームごとに順次エネルギーの最小化処理を行うことで欠損領域を修復する。以下ではエネルギー関数の定義、探索領域の限定、エネルギー最小化処理について順に述べる。



修復対象フレーム

データ取得用フレーム

図5 画像上の各領域

2.3.1 エネルギー関数の定義

本研究では、図5に示す、修復対象フレームにおける欠損領域 Ω を含む領域 Ω' と、データ取得用フレームにおける (第 k フレーム) データ領域 Φ_{ki} のテクスチャの類似度に基づくエネルギー関数を修復に用いる。ここでは、欠損領域 Ω 内の画素を中心とした一定サイズの正方ウインドウ W が一部でも含まれる画素の集合を Ω' とする。修復に用いる欠損領域の尤もらしさに基づくエネルギー E は、領域 Ω' 内の画素 x_i とそれに対応するデータ領域 Φ_{ki} 内の画素 $t(x_i)$ 周辺のパターン類似度 SSD (Sum of Squared Differences) の重み付き総和として以下のように定義する。

$$E = \sum_{x_i \in \Omega'} w_{x_i} SSD(x_i, t(x_i)) \quad (2)$$

$$SSD(x_i, t(x_i)) = \sum_{p \in W} \{I_f(x_i + p) - I_k(t(x_i) + p)\}^2 \quad (3)$$

ただし、 $I_f(x_i)$ は第 f フレームの画素 x_i の画素値を表す。また、 f は欠損修復の対象となるフレームの番号を、 k はデータ領域として用いる画像のフレーム番号を表す。ここでは重み w_{x_i} として、欠損周辺の領域 $\Omega' \cap \Omega$ では各画素の値が固定値となるため $w_{x_i} = 1$ を、欠損領域 Ω 内では境界に近いほど画素値の信頼度が高くなるため、 Ω の境界からの距離 d 、定数 g を用いて $w_{x_i} = g^{-d}$ とする。本研究では、動画像上の一定の探索範囲内において、上記の SSD の重み付き総和 E が最小となる類似パターン位置 $t(x_i)$ を決定し、欠損領域内での画素値 $I_f(x_i)$ を更新することで、欠損領域の修復を行う。

2.3.2 探索領域の限定

ここでは、次項で述べる画素ごとの類似パターン位置 $t(x_i)$ を決定するプロセスにおいて、2.2 節で述べた手法で推定された平面を用いることで、 $t(x_i)$ の探索領域を限定する手法について述べる。本研究では移動撮影を前提とするため、修復の対象となるフレーム f において欠損領域内に本来存在するべきテクスチャは、 f から一定フレーム離れた第 k フレームの画像上に存在する場合が多い。また、第 f フレームと第 k フレームのカメラパラメータおよびそれぞれのフレームに対する地面の形状は既知である。そこで、本研究ではこれらの幾何学的な関係から第 k フレームの平面投影画像上における類似パターン位置 $t(x_i)$ の探索領域を限定する。

具体的には、まず第 f フレームに対して作成された平面投影画像上における欠損領域内の画素に対応する三次元位置を、第 k フレームにおけるカメラの画像上へ投影する。次に投影された画素と第 k フレームのカメラの投影中心を結ぶ光線と第 k フレームにおける平面投影画像との交点を算出する。このときの算出された交点の画素を中心とした一定範囲 W 内の領域を次項で述べるエネルギー最小化処理で用いる類似パターンの探索範囲 (データ領域) Φ_{ki} とする。これを欠損領域 Ω 内の全ての画素について行い、各画素ごとに探索領域を決定する。

2.3.3 エネルギー最小化処理

本研究では、Greedy Algorithm の枠組みを用いて、式 (2) で定義したエネルギー関数を最小化する [4]。ここでは、全ての類似パターンの組 $(\mathbf{x}_i, t(\mathbf{x}_i))$ を固定すると、エネルギー E を欠損領域 Ω 内の各画素で独立に扱えることに着目し、以下に示すプロセス (I) と (II) をエネルギーが収束するまで繰り返すことで、エネルギーを最小化し、欠損領域を修復する。

プロセス (I): 類似パターン位置 $t(\mathbf{x}_i)$ の探索

2.3.2 項で述べた手法により欠損領域内の画素 $\mathbf{x}_i$ に対して限定された探索範囲 Φ_{ki} 上において、以下の式を満たす SSD が最小となる位置を算出し、エネルギーの算出に用いる類似パターンの位置 $t(\mathbf{x}_i)$ とする。

$$t(\mathbf{x}_i) = \underset{t(\mathbf{x}_i) \in \Phi_{ki}}{\operatorname{argmin}} SSD(\mathbf{x}_i, t(\mathbf{x}_i)) \quad (4)$$

プロセス (II): 欠損領域 Ω 内の各画素値 $I(\mathbf{x}_i)$ の更新

類似パターンの組を固定し、式 (2) で定義したエネルギー E を最小化する欠損領域内の画素値 $I_f(\mathbf{x}_i)$ を更新する。具体的には、類似パターンの組を固定した場合において、エネルギー E を欠損領域内の各画素の要素エネルギー $E(\mathbf{x}_i)$ に分解することで、各画素値 $I(\mathbf{x}_i)$ を画素ごとに独立に扱えることに着目し、以下の式によって画素値 $I(\mathbf{x}_i)$ を更新することでエネルギー E を最小化する [4]。

$$I_f(\mathbf{x}_i) = \frac{\sum_{\mathbf{p} \in W} w_{\mathbf{x}_i + \mathbf{p}} I_k(t(\mathbf{x}_i + \mathbf{p}) - \mathbf{p})}{\sum_{\mathbf{p} \in W} w_{\mathbf{x}_i + \mathbf{p}}} \quad (5)$$

2.4 修復画像を用いた全天球映像の生成

欠損領域を持つ全天球パノラマ画像に修復された平面投影画像を投影することで、不可視領域のない全天球映像を生成する。具体的には、まず全天球パノラマ画像における欠損領域上の各点とカメラの投影中心を結ぶ光線について、修復に用いた平面 $z = ax + by + c$ との交点の座標を導出し、その座標の画素値を全天球パノラマ画像上の画素にコピーすることで、欠損領域のない全天球パノラマ画像を生成する。

3. 実 験

本節では、全方位動画画像上の死角により生じる欠損領域を修復し、不可視領域のない全天球映像を生成することで、提案手法の有効性を明らかにする。ここではまず、提案手法によって作成する平面投影画像系列に対する欠損修復実験について述べ、次に、修復された画像系列を用いて生成した不可視領域のない全天球映像によるテレプレゼンスシステムの試作例を示す。



図 6 入力として用いた全方位動画画像の 1 フレーム

表 1 修復に用いたパラメータ

ウインドウ W のサイズ	41 × 41 画素
重み係数 g	1.2
探索範囲 Φ のサイズ	11 × 11 画素
エネルギー E の収束判定条件	減少幅が 0.01% 以下

3.1 全方位動画画像の欠損修復

本実験では、入力画像を取得するために 6 台のカメラから成る Point Grey Research 社製の全方位型マルチカメラシステム Ladybug を用い、これを頭部に装着した状態で徒歩で移動しながら図 6 に示す画像を含む 181 フレーム (1086 枚) の全方位動画画像を取得した。ここではまず、2.1 で述べた SFM 法を全方位動画画像に適用することで、全方位カメラの位置と自然特徴点の三次元位置を得た。画像上での欠損領域は、あらかじめ第一フレームの画像上で手動で与え、その範囲は全てのフレームで共通とした。

図 7 に、撮影された全方位動画画像に対して、2.2 節で述べた手法を用いることで作成した平面投影画像群の一部を示す。ここでは、画像上における 1 画素の世界座標系での長さを 20mm とし、各フレームに対して 720 × 720 画素の平面投影画像を生成した。

平面投影画像の中心部の黒い円形の領域は、Ladybug の下側にカメラが存在しないために生じる機器構成上の死角である。ここで、生成された平面投影画像のタイル状のテクスチャは、平面投影画像上での位置によらず、均一な大きさとなっており、いずれのフレームにおいても、歪みのない修復に適したテクスチャが得られたことがわかる。

図 8 は、表 1 に示すパラメータを用いて 2.3 節で述べた欠損修復手法を適用することで、第 91 フレームの画像上の欠損領域を、第 171 フレームの画像を用いて修復したものである。図 8(a) は欠損領域を指定した修復対象フレームを、図 8(b) は修復に利用したデータ領域 Φ が存在するフレームの平面投影画像を示しており、図中の×印は、修復対象となる第 91 フレームの欠損領域に対応するデータ領域のおおよその位置を表している。また、同図中 (c) は、本実験で比較対象として用いた、幾何情報のみに基づく修復結果である。具体的には、提案手法に

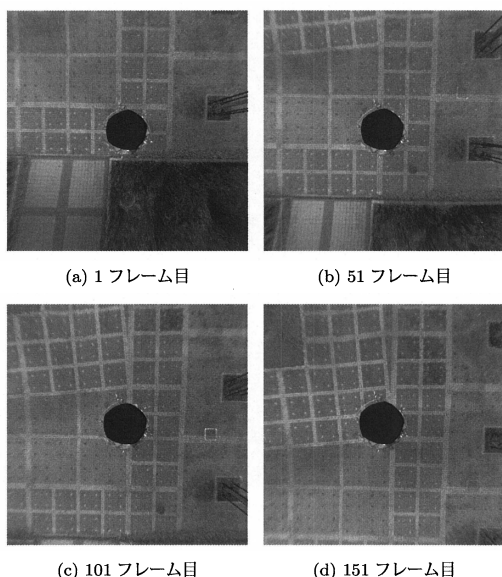


図7 平面投影画像 (1,51,101,151 フレーム目)

において類似パターンの探索範囲 Φ の大きさを 1×1 画素とすることで、類似パターンの探索を行わずに幾何情報のみから修復を行ったものである。同図中 (d) は、提案手法を適用して得られた修復結果画像である。

図 8(c) から、幾何情報のみから修復を行った場合には、欠損領域とその他の領域の境界部分において、テクスチャのずれが生じていることがわかる。この要因として、SFM 法によるカメラ位置・姿勢推定の誤差や、平面当てはめの誤差が考えられる。これに対して、提案手法を適用することで得られた修復結果画像では、類似パターンの探索により位置合わせのずれが最小化され、幾何学的なテクスチャのずれは見られない。ただし、提案手法によって得られた修復結果には、同一画像中における欠損領域とその他の領域の境界部分において、光学的な不連続が発生しており、違和感が生じている。本実験では、全方位カメラやそのカメラを動かす人物の影響によって、欠損領域周辺の地面の明度が低下しており、これによって、欠損領域内の明度が周囲に対して相対的に明るくなる。これを解決するためには、従来提案されている明度変化を考慮したエネルギー項 (文献 [4]) を本手法で用いるエネルギー関数に導入する必要がある。

3.2 不可視領域のない全天球映像によるテレプレゼンスシステムの試作

本実験では、前節の実験で得られた平面投影画像に対する修復結果を用い、全天球パノラマ画像上の欠損領域を補間することで、全周を自由に見回し可能なテレプレゼンスシステムを試作し、提案手法による修復の有効性を確認する。図 9 に平面投影画像の修復結果を投影することで生成した不可視領域のない全天球パノラマ画像を示す。この画像を試作したシステムの入力として用い、コントローラを用いて自由に見回しを行った。

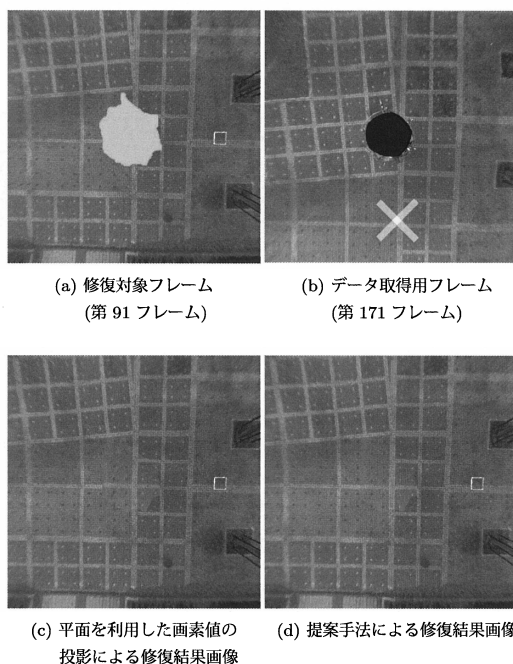


図8 平面を利用した画素値の投影による修復結果と提案手法による修復結果の比較

図 10(a) に、ユーザへの提示に用いた画像の一例を示す。図 10(b) は、図 10(a) と同一視野方向において、提案手法を用いなかった場合の欠損を含む画像である。提案手法を用いることで、欠損領域のない 360 度全ての方向の見回しが可能な臨場感の高いテレプレゼンスを実現することができた。また、図 10(a)、10(b) の比較により、提案手法によりテレプレゼンスにおける臨場感が大幅に向上することがわかる。

ただし、図 10(a) から、提案手法を用いた場合においても見回し画像上で欠損領域内のテクスチャがぼけていることがわかる。これは、データ領域として用いるテクスチャが、平面投影画像上での解像度が低い画像の周辺に存在することによって、修復されるテクスチャの解像度が低下することに起因している。平面投影画像上において、画像の中心から離れるに従って解像度が低下する問題は、カメラの構成上生じる問題であるため、これを解決するためには超解像手法を用いるなどの工夫が必要である。また、平面投影画像上において、可能な限り欠損領域に近いテクスチャをデータ領域として選択することも有効であると考えられ、今後はデータ領域として用いるフレームを適切に選択することが必要である。

4. まとめ

本報告では、全方位画像上における欠損領域周辺の撮影対象の形状と全方位カメラの運動を考慮し、平面投影画像を作成することで、テクスチャの変形補正および、修復の事例として用

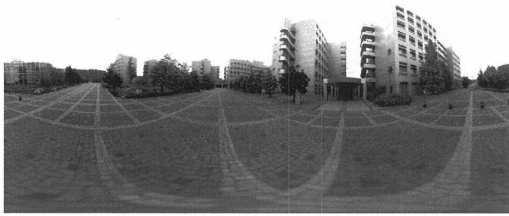


図 9 修復された全天球パノラマ画像 (図 1 に対応)

いる画像領域の限定を行い、不可視領域のない全天球映像を生成する手法を提案した。実験では、提案手法を用いることで、投影歪みのない平面投影画像を生成できることを示した。また、類似パターンの探索処理と最適化処理を行うことで、三次元復元や平面の当てはめ処理において生じる投影誤差の影響を抑制し、不連続なテクスチャの発生を抑制できることを示した。ただし、解像度や明度の違いにより、修復された領域とその他の部分の境界が目立つといった問題点も確認した。今後の課題として、光学的なテクスチャの不連続を解消するために、修復処理におけるテクスチャの輝度値の変化を考慮する必要がある。また、修復された領域のテクスチャの解像度の低下を防ぐために、データ領域として用いるフレームを適切に選択する手法や、超解像手法の導入を検討する必要がある。

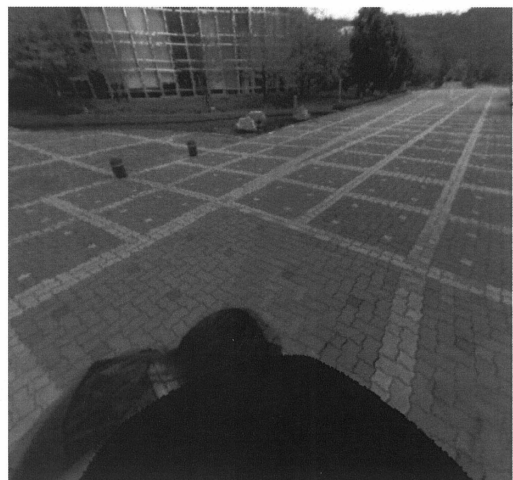
謝辞 本研究の一部は科学研究費補助金 (基盤研究 A, No.19200016) による。

文 献

- [1] 池田, 佐藤, 横矢: “全方位型マルチカメラシステムを用いた高解像度な全天球パノラマ動画の生成とテレプレゼンスへの応用”, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, Vol. 8, No. 4, pp. 443–450, 2003.
- [2] M. Bertalmio, G. Sapiro, V. Caselles and C. Ballester: “Image Inpainting,” Proc. ACM SIGGRAPH2000, pp. 417–424, 2000.
- [3] A. Criminisi, P. Perez and K. Toyama: “Region Filling and Object Removal by Exemplar-Based Inpainting,” IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 13, pp. 1200–1212, 2004.
- [4] 河合, 佐藤, 横矢: “テクスチャの明度変化と局所性を考慮したパターン類似度を用いたエネルギー最小化による画像修復”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J91-D, No. 9, pp. 2293–2304, 2008.
- [5] Y. Wexler, E. Shechtman and M. Irani: “Space-Time Completion of Video,” Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 29, No. 3, pp. 463–476, 2007.
- [6] V. Cheung, B. Frey and N. Jojic: “Video epitomes,” Proc. IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 141–152, 2005.
- [7] R. Bornard, E. Lecan, L. Laborelli and J. Chenot: “Missing Data Correction in Still Images and Image Sequences,” ACM Multimedia, pp. 355–361, 2002.
- [8] 小畑, 守田: “3 次元画像埋め込みによる 3 次元画像の修復”, 電子情報通信学会 技術研究報告, PRMU 2004-41, pp. 49–54, 2004.
- [9] Y. Matsushita, E. Ofek, W. Ge, X. Tang and H. Shum: “Full-Frame Video Stabilization with Motion Inpainting,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 28, No. 7, pp. 1150–1163, 2006.
- [10] J. Jia, Y. Tai, T. Wu and C. Tang: “Video Repairing under



(a) 欠損なし



(b) 欠損あり

図 10 全天球映像を用いた見直し

- Variable Illumination Using Cyclic Motions,” IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 28 No. 5, pp. 832–839, 2006.
- [11] Y. Shen, F. Lu, X. Cao and H. Foroosh: “Video Completion for Perspective Camera Under Constrained Motion,” Proc. IEEE Int. Conf. on Pattern Recognition, pp. 63–66, 2006.
- [12] 福地, 山下, 金子, 三浦: “時空間画像処理による雨天時画像からの視野妨害ノイズ除去”, 映像情報メディア学会誌, Vol. 62, No. 5, pp. 771–777, 2008.
- [13] K. Patwardhan, G. Sapiro and M. Bertalmio: “Video Inpainting Under Constrained Camera Motion,” IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 16, pp. 545–553, 2007.
- [14] 佐藤, 神原, 横矢, 竹村: “マーカと自然特徴点の追跡による動画像からのカメラ移動パラメータの復元”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J86-D-II No. 10, pp. 1431–1440, 2003.