

パノラマビューシステムのための プライバシー保護を考慮した全天球画像生成

堀 磨伊也^{†1} 河合 紀彦^{†1} 神原 誠之^{†1}
新井 イスマイル^{†2} 西尾 信彦^{†2} 横矢 直和^{†1}

Google ストリートビューなどのパノラマビューシステムにおいて、写り込む人物のプライバシーの保護、撮影時のカメラの死角などが問題に挙げられている。特に本研究で想定する地下街やモールなどの屋内環境では、屋外環境に比べ多くの人物が近景に写り込む可能性が高いため、プライバシーの保護が重要となる。この問題に対し、画像中の人物領域に対してぼかし処理を施す手法が考えられるが、人物領域の検出が十分でない点や人物のオクルージョンによって背景を見ることができない点など根本的な解決にはなっていない。そこで本研究では、全天球画像に写り込む人物領域を取り除き補完することでプライバシー保護を行う手法の提案を行う。問題となる人物領域に関しては、定点観測された全天球動画から移動体の除去を行い、残存した人物領域に対しては、欠損領域の修復手法を用いて補完する。またカメラの死角による欠損領域は他地点で撮影された画像を用いて欠損修復することで、死角のないパノラマビューシステムを実現する。実験では、大規模な地下街で撮影された大量の全天球動画画像を用いて提案手法の有効性を示す。

Omnidirectional Image Generation Considering Privacy Protection for Panoramic View System

MAIYA HORI,^{†1} NORIHIKO KAWAI,^{†1}
MASAYUKI KANBARA,^{†1} ISMAIL ARAI,^{†2}
NOBUHIKO NISHIO^{†2} and NAOKAZU YOKOYA^{†1}

This report proposes a method to generate omnidirectional images for panoramic view systems in a crowded indoor environment. In panoramic view system for city view, the privacy of people in the images is a serious issue. Even if people in images are blurred by image processing, images in which many people are captured are not suitable for city view due to occlusion. In this report, human regions in captured omnidirectional images are interpolated using a

background subtraction and an image inpainting techniques. Additionally, to increase suitability for city view, a blind side of an omnidirectional camera is interpolated by applying a video inpainting technique to omnidirectional images in which human regions are removed. In experiments, effectiveness of the proposed method is demonstrated by using omnidirectional images captured in a large-scale underground city.

1. はじめに

地下街に代表されるような大規模な屋内環境では、構造が複雑で道に迷いやすいため詳細なナビゲーション情報が必要とされる。現地にはナビゲーションのための案内看板や地図などが配置されているが、いずれも2次元的に提示されているため必要な情報が十分に得られない場合がある。そこでGoogle ストリートビューに代表されるような全方位カメラで撮影された画像を用いるパノラマビューシステムの開発が行われている¹⁾。全方位カメラで環境を撮影することにより撮影地点で周囲360度すべての方向の映像を同時に取得することが可能である。撮影された全天球画像を撮影時のカメラ位置・姿勢情報を用いて地図にリンクさせることにより、モバイル端末を用いたナビゲーションシステムなどに応用した際に直感的に情報を理解することが可能となる。

しかし、このようなシステムを屋内環境に適用した場合、屋外環境に比べ多くの人物が近景に写り込む可能性が高いため、肖像権や人の顔などのプライバシーの問題が懸念される。大規模な屋内環境で撮影された画像に対してプライバシーを考慮した際、画像中から人物の顔を検出^{2),3)}し、ぼかしを入れるなどの工夫が考えられるが、人物領域の検出が十分でない問題や施設案内を目的とした場合に人物などの移動体によるオクルージョンなどで施設を詳細に見ることができない問題などがある。そこで本研究では大規模な屋内環境におけるプライバシーを保護したパノラマビューシステム⁴⁾のための全天球画像群の生成を目的とする。プライバシーを保護したパノラマビューシステムのための全天球画像群の生成には、全視野を撮影した画像およびその画像からの人物の除去が必要である。人物などの移動体が映り込む領域が画像全体に対して小領域であれば対象画像中から類似領域を探し出し補完する

^{†1} 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

^{†2} 立命館大学
Ritsumeikan University

欠損修復手法^{5),6)}などを用いることで周りの領域から補完することが可能であるが、混雑した環境では移動体が多数存在し欠損領域も大きい欠損修復手法をそのまま適用したとしても精度の良い欠損修復を行うことは困難である。そこで本研究では固定カメラで撮影した動画を入力として用いることで大まかに移動体の除去を行い、その後、残存した人物領域に対して欠損修復手法⁶⁾を適用することにより高精度な人物領域の除去を試みる。ここでは、逐次的に修復する手法^{7),8)}に比べ、全体最適化による修復手法⁶⁾を適用することにより不連続なテクスチャの発生が抑えられるだけでなく、テクスチャの明度変化を許容したパターン類似度を用いるため不自然なテクスチャの生成を抑制する。

また、一般的な全方位カメラには死角が存在し全方位の視野を完全に撮影することができないため臨場感が損なわれるという問題がある。本研究では、カメラの死角による欠損領域を他のフレームの参照画像を用いて補完する欠損修復手法⁹⁾を適用することでこの問題を解決する。この手法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修復の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ことが可能である。他フレームの参照画像を用いることにより、入力画像中のテクスチャを用いて欠損修復する手法^{5),6)}に比べて、入力画像だけでは再現されないようなパターンも再現可能である。この手法を適用する際に、混雑した環境では移動体が多数存在し他フレームの参照画像にも映り込む問題があるが、本手法では事前の処理で移動体の除去を行っているため移動体が存在しない背景画像を参照画像として用いることが可能である。

以下、パノラマビューシステムのためのプライバシーを考慮した全天球画像群の生成方法について2節で詳述し、大規模な地下街で撮影された大量の全天球動画をを用いた実験結果を3節で示す。最後に4節でまとめと今後の課題を述べる。

2. パノラマビューシステムのためのプライバシー保護を考慮した全天球画像生成

大規模な屋内環境において全天球画像群の生成を行うために、画像中に存在する人物領域とカメラの死角領域の補完を行う。提案手法の処理の手順を図1に示す。広域屋内環境で撮影された全天球動画をを入力とし、まずプライバシーの保護を兼ねた人物領域の補完を行う。人物領域の補完は輝度値の出現頻度に基づく移動体の除去処理(a)を行った後、手動で残存した人物領域を指定し補完すること(b)により行う。人物領域の補完を行った後、臨場感の向上を図るためにカメラの死角による欠損領域を補完すること(処理(c))により全視野の方向が撮影された全天球画像の生成を行う。以下に各手法の詳細を述べる。

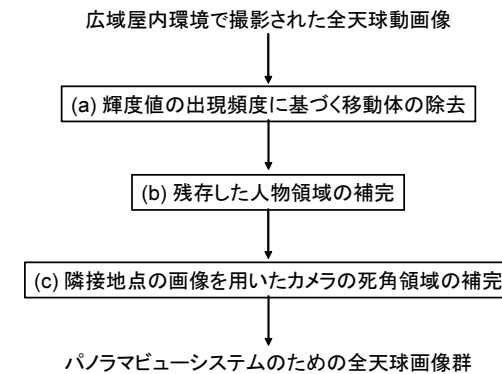


図1 提案手法の処理手順
Fig.1 Procedure of the proposed method.

2.1 全天球画像中からの人物領域の除去

2.1.1 輝度値の出現頻度に基づく移動体の除去

本研究では移動体を除去するために全方位カメラを一定時間固定して撮影された全天球動画をを入力として用いる。まず、背景が撮影されている時間が、ある一定時間存在するという仮定で輝度値の出現頻度に基づく移動体の除去を行う。固定された全方位カメラで撮影された全天球画像の各画素において一定時間内に観測された輝度値をソートし、頻度の合計が全体の $k\%$ に達する時の輝度値を背景とし抽出する。この k 値は背景および移動体の輝度値に依存して動的に変化させる。この処理を画像全体で行うことにより背景を抽出する。

2.1.2 残存した人物領域の補完

2.1.1の処理では人物が移動していることを前提としているため人物が撮影時間内で停止している場合など人物領域の除去が完全に行えない場合がある。このような領域に対して提案手法では画像中の類似領域を用いて欠損領域を補完する欠損修復手法⁶⁾を適用することで残存した人物領域を補完する。テクスチャの明度変化を考慮したパターン類似度とテクスチャの局所性を考慮したコスト関数に基づくエネルギー関数を最小化することで欠損領域の高品位な修復を行う。ここでは欠損領域を修復する際に隣接する撮影地点で撮られた参照画像を用いて画像修復を行う手法⁹⁾を適用することも考えられるが、特定フレームで停止している人物は隣接する撮影地点でも停止している可能性が高いため、類似度の高いパターンを撮影画像中から抽出することにより違和感の少ない画像修復を行う。ただし欠損修復手

法⁶⁾では、画像中に存在しないテクスチャを再現することは困難であるため、画像修復の対象となる領域を極力小さくする必要がある。また、ここで必要となる欠損領域は残存する人物領域を手動で指定する。

以下では、人物領域を補完するための画像修復について述べる(詳細については文献⁶⁾参照)。画像修復で用いるエネルギー関数では、テクスチャの明度変化を許容するために輝度値の補正係数を用いる。また、テクスチャの局所性を考慮するために、欠損領域とデータ領域の対応する画素間の距離に応じたコスト関数をエネルギー関数に加え、欠損領域の尤もらしさを表すエネルギーを次のように定義する。

$$E = \sum_{\hat{x} \in \Omega'} w_x [SSD'(x, \hat{x}) + w_{dis} SD(x, \hat{x})] \quad (1)$$

ここでは重み w_x として、欠損周辺の領域では各画素の値が固定値となるため $w_x = 1$ 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 $w_x = c^{-d}$ (d は Ω の境界からの距離, c は定数) を用いる。また、 $SSD'(x, \hat{x})$ は明度の変化を考慮したパターン類似度、 $SD(x, \hat{x})$ は画素 x と画素 \hat{x} の距離に応じたコスト項であり、 w_{dis} は局所性の強さを示す重みである。 \hat{x} は、 E を最小とする画像中の画素である。以下、 $SSD'(x, \hat{x})$ と $SD(x, \hat{x})$ について述べる。

テクスチャの明度変化を許容したパターン類似度 SSD' を以下のように定義する。

$$SSD'(x, \hat{x}) = \sum_{\mathbf{p} \in W} \{I(\mathbf{x} + \mathbf{p}) - \alpha_{x\hat{x}} I(\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{p})\}^2 \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{x} を中心とするウインドウ W 内の任意の点を $\mathbf{x} + \mathbf{p}$ ($\mathbf{p} \in W$) とする。 $\alpha_{x\hat{x}}$ はテクスチャの明度変化を許容するための輝度値の補正係数であり、 \mathbf{x} , $\hat{\mathbf{x}}$ それぞれの画素の周辺の平均輝度値を用いて定義する。一方、テクスチャの局所性を考慮したコスト関数 SD は、多くの画像では類似したテクスチャ同士が近傍に存在する確率が高いという仮定に基づいてシグモイド関数を用いて定義する。ここではテクスチャの局所性に関して、注目画素が存在する物体領域の範囲内では類似したテクスチャが存在する確率が一樣に高く、物体領域の範囲外では類似したテクスチャが存在する確率が一樣に低いと仮定する。この仮定を満たすために、一定範囲の内外で値がほぼ一定となるシグモイド関数を用いて局所性に関するコスト関数を定義する。なお、欠損領域内における実際の物体の大きさは未知であるため、物体領域を一定の大きさと仮定している。局所性を考慮することにより、注目画素の近傍に存在する適切なテクスチャが優先的に選択される確率が高くなる。

式(1)で定義したエネルギー E を Greedy Algorithm の枠組みを用いて最小化する。ここでは、

(1) 各画素 \mathbf{x} に対する類似パターン位置 $\hat{\mathbf{x}}$ の更新

(2) 欠損領域内の画素値の並列的な更新

をエネルギーが収束するまで繰り返すことで、画像全体のエネルギーを最小化する。これにより残存した人物領域による欠損領域を修復する。ここでは画像修復の対象となる領域を極力小さくすることで人物領域の補完を精度良く行うことができる。

2.2 隣接地点の画像を用いたカメラの死角領域の補完

パノラマビューシステムにおいて全方向の映像を提示させる際に臨場感を向上させるためにカメラの死角領域の補完を行う。本研究ではカメラの死角領域を補完する手法として他フレームから参照画像を用いて画像修復を行う手法⁹⁾を用いる。ここでは全天球動画画像は広域屋内環境において一定間隔で密に取得され、隣接する地点で撮影された画像に対象となるフレームの欠損領域の対応領域が撮影されているものとする。まず全天球動画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、その平面に全天球動画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透視画像群を作成する。次に、この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参照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。ここで必要となるカメラの位置・姿勢情報は本実験では手動で与えるが、センサや Structure from Motion 法¹⁰⁾などの手法で高精度に自動推定できるものとする。生成した欠損領域を持つ平面投影画像に対して、エネルギー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、エネルギー最小化処理について順に述べる(詳細については文献⁹⁾参照)。

本研究では、修復対象フレーム (f フレーム) における欠損領域 Ω_f を含む領域 Ω'_f と、領域 Ω'_f 内の各画素 \mathbf{x}_i に対応するデータ取得用フレーム (隣接地点で撮影された k フレーム) における各データ領域 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_f 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'_f 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'_f 内の画素 \mathbf{x}_i とそれに対応するデータ領域 Φ_{ki} 内の画素 $t(\mathbf{x}_i)$ 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。

$$E = \sum_{\mathbf{x}_i \in \Omega'_f} w_{\mathbf{x}_i} SSD(\mathbf{x}_i, t(\mathbf{x}_i)) \quad (3)$$

$SSD(\mathbf{x}_i, f(\mathbf{x}_i))$ は以下のように表される .

$$SSD(\mathbf{x}_i, t(\mathbf{x}_i)) = \sum_{\mathbf{p} \in W} \{I_f(\mathbf{x}_i + \mathbf{p}) - I_k(t(\mathbf{x}_i) + \mathbf{p})\}^2 \quad (4)$$

ただし, $I_f(\mathbf{x}_i)$ は修復対象フレームの画素 \mathbf{x}_i の画素値を表す. また, ここでは重み $w_{\mathbf{x}_i}$ として, 欠損周辺の領域では各画素の値が固定値となるため $w_{\mathbf{x}_i} = 1$ を, 欠損領域 Ω_f 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_f の境界からの距離 d , 定数 g を用いて $w_{\mathbf{x}_i} = g^{-d}$ とする. 本研究では隣接地点で撮影された画像内で, 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 $t(\mathbf{x}_i)$ を探索し, 欠損領域内での画素値 $I_f(\mathbf{x}_i)$ を更新することで, 欠損領域の修復を行う. 式 (4) で定義したエネルギー関数の最小化は, 人物領域の欠損修復と同様に Greedy Algorithm の枠組みを用いて行う. 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_f 内の各画素で独立に扱えることに着目し, 類似パターン位置 $t(\mathbf{x}_i)$ の探索と欠損領域 Ω_f 内の各画素値 $I_f(\mathbf{x}_i)$ の更新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する.

最後に全天球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, 修復に用いた平面との交点の座標を導出し, その座標の画素値を全天球画像上の画素に適用することで欠損領域のない全天球画像を生成する. ここでは入力となる平面透視画像群を生成する際にあらかじめ人物などの移動体を取り除いておくことで精度の良い欠損修復を実現する.

3. 大規模な屋内環境で撮影された全天球動画像を用いた実験

大規模な屋内環境の一例として大阪梅田地下街で全天球画像を撮影し, パノラマビューシステムのための全天球画像群の生成を行った. 本研究では解像度の高い全天球画像を取得するために全方位型マルチカメラシステム (Point Grey Research 社製 Ladybug3) を用いて撮影を行った. この全方位カメラは解像度が縦 2700 画素, 横 5400 画素の全天球動画像の取得が可能である. 撮影には図 2 に示す移動台車を用いた. カメラは人物の視線の高さに近づけるように約 1.8m の高さに設置した. 図 3 に示す地図上の青線で示される経路上 (全長約 6.5km) で約 5m 間隔の 1096 地点において撮影を行った. カメラの死角による欠損を修復する際に隣接地点で撮影された画像中に欠損領域の補完対象となる領域が映りこむように撮影を行った. 大阪梅田地下街は 1 日の利用者数が約 60 万人と日本で最も多い地下街であり, 図 4 に示すように通常の撮影では人物が映り込むことが多いため, ぼかし処理によりプライバシー保護をしたとしても移動体によるオクルージョンの影響でそのままナビ



図 2 全方位カメラを装着した撮影台車の外観 (約 1.8m の高さに全方位カメラを設置)

Fig. 2 Capturing equipment with omnidirectional camera system. Omnidirectional camera is fixed at 1.8m of height.

ゲーションに用いることができないことが分かる. 各撮影地点では移動する人物の数に応じて 15 秒から 180 秒停止し, 全天球動画像の取得を行った. 図 3 の地図上の地点 A において撮影された入力動画像 (1 フレームは図 4 に対応) に対して, 輝度値の出現頻度に基づく移動体の除去結果を図 5 に示す. この例では 180 秒間に撮影された 180 枚の画像を移動体の除去のために用いた. ここで各画素における輝度値をソートした場合に頻度の合計が全体の $k = 20\%$ に達する時の輝度値を背景と仮定して抽出を行った. 対象となる地下環境には照明が多数存在し, 背景となる施設の輝度値が比較的高く, 移動体となる人物の服装が黒色の場合が多い傾向があったため上記のようなパラメータを用いた. ここでは大半の移動体は除去されているが, 一部で残存する人物領域が存在することが分かる. これは人物が静止していたか, 輝度値の頻度での背景の抽出精度が悪かったことが原因として考えられる. 輝度値の出現頻度に基づいて移動体を除去した後に残存する人物領域を修復した結果例を図 6 に示す. ただし, ここでは残存する人物領域は手で指定した. これらの画像は全天球画像の一部を拡大したものであるが, 図 6(a) の赤色で示される残存した人物領域が, 画像内の類似テクスチャから図 6(b) に示すように違和感なく補完されていることが分かる.

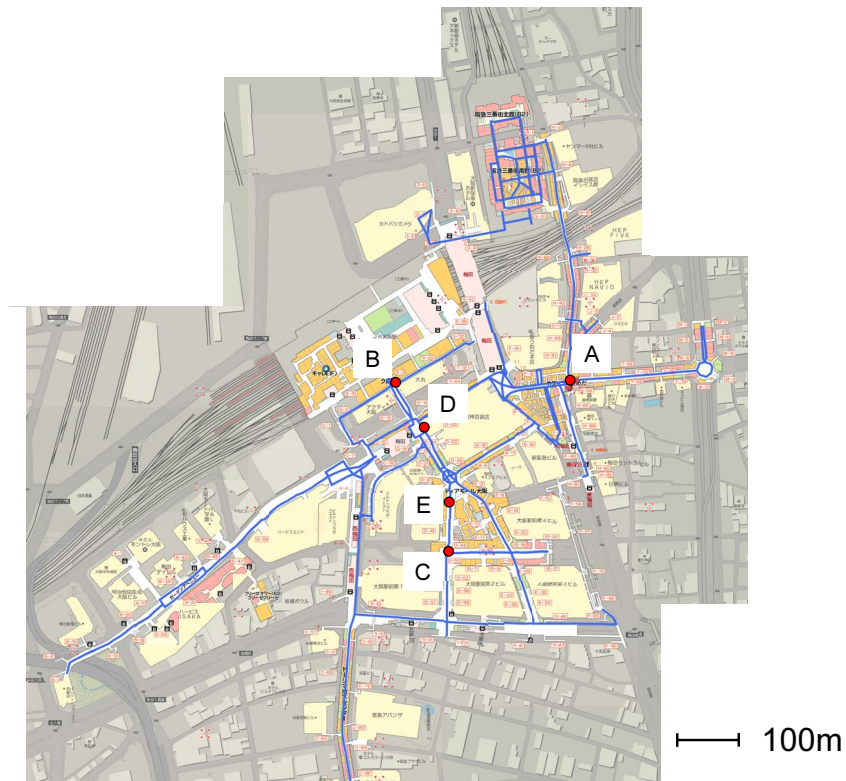


図 3 地下街における撮影環境 (青線で示される経路上で約 5m 間隔で撮影)

Fig. 3 Experimental environment in underground city. Omnidirectional image sequences were captured at intervals of about 5m on blue line.

ここでパラメータとして、式 (1) における w_x に用いられる定数として $c = 1.3$ ，局所性の重さを示す定数として $w_{dis} = 120$ を用いた。また、ウィンドウサイズは 9×9 画素とした。この例で示されるように残存する人物領域が小さい場合には精度良く補完されることが分かる。これまでの処理により人物領域が存在しない全地球画像群を生成した。



図 4 入力となる全地球画像の例

Fig. 4 Input omnidirectional image captured at crowded position with pedestrians.

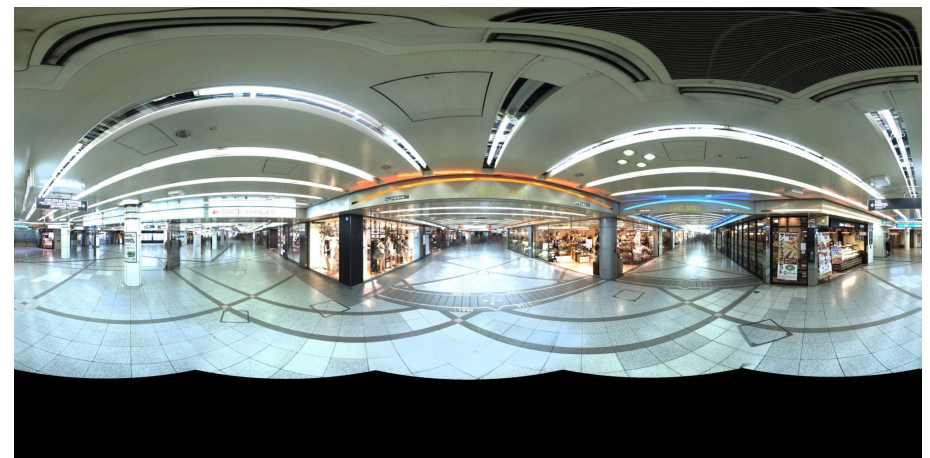


図 5 輝度値の出現頻度に基づく移動体の除去画像例

Fig. 5 Removal of pedestrians using background subtraction method.



(a) 欠損領域の指定画像 (赤色領域が欠損領域) (b) 欠損領域の補完画像

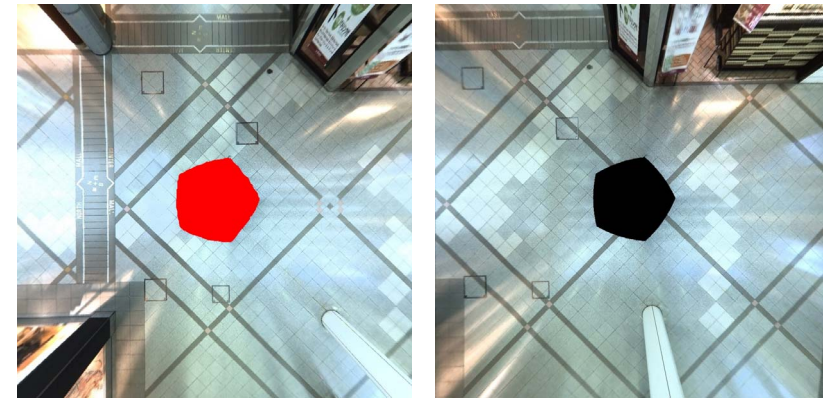
図 6 人物領域の補完例

Fig. 6 Interpolation for human regions using image inpainting method.

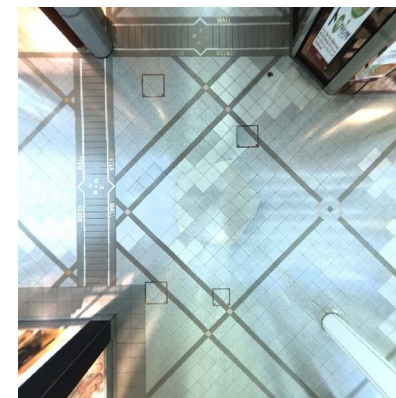
次に、生成された人物領域が存在しない全天球画像群を用いてカメラの死角領域を補完した結果を図 7 に示す。これらの画像は、全方位カメラの移動による画像上でのテクスチャの変形を補償するために入力となる全天球画像を平面透視画像に変化させたものである。図 7(a) の赤色で示される欠損領域が、図 7(b) に示す隣接地点で撮影された画像を参照することで、図 7(c) のように補完されることが分かる。ここでパラメータとなる、重み w_{x_i} を決定する定数として $g = 1.3$ を用いた。また、ウインドウサイズは 31×31 画素とした。

最後に全天球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、修復に用いた平面との交点の座標を導出し、その座標の画素値を全天球画像上の画素に適用することで欠損領域のない全天球画像を生成した例を図 8 に示す。図 8 に示されるように人物領域が補完され、欠損領域もない映像により詳細な施設映像を見ることが可能となった。ただし、本研究で取得される全天球画像は取得間隔が約 5m と離れているため、補完される際に解像度が低い地点の画像が用いられる問題があるため、補完した領域がぼけたように見える問題が生じた。

また地点 A 以外の例として図 3 の地図上の地点 B, C, D, E において提案手法を適用した結果を図 9 に示す。それぞれの地点では多数の移動体が存在し、輝度値の頻度に基づく人物除去の前処理なしでは画像修復手法をそのまま適用することが困難であることが分かる。輝度値の頻度に基づく人物領域の除去の後、残存する人物領域を補完した結果、いずれの



(a) 死角領域の指定画像 (赤色領域が欠損領域) (b) 死角領域の補完に用いられた参照画像 (隣接地点で撮影された画像)



(c) 死角領域の補完画像

図 7 カメラの死角領域に対する平面投影画像 (全天球画像を平面透視画像に変換して使用)

Fig. 7 Interpolation for blind side using video inpainting method. Omnidirectional image is projected onto the ground plane.



図8 図4の入力画像に対して人物領域を除去しカメラの死角領域を補完した結果例

Fig.8 Example of omnidirectional image in which human regions are removed and blind side is interpolated. (corresponding to Fig.4)

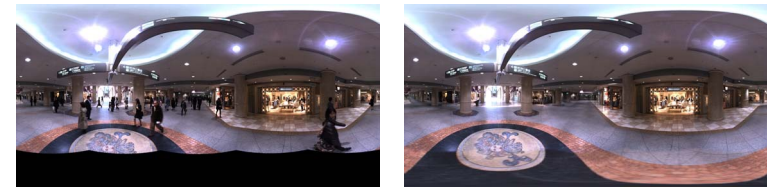
地点においても人物領域およびカメラの死角領域の補完が違和感なく行われていることが分かる。特に地点 B, C, D ではカメラの死角領域 (各画像の下部の黒色領域) を補完する際に入力画像中に存在しないテクスチャが隣接地点で撮影された画像を用いることで再現されていることが分かる。

立命館大と奈良先端大の共同プロジェクトにおいて生成された全天球画像群を用いるパノラマビューアを開発している^{4)*1}。パノラマビューアの提示例を図10に示す。撮影された位置が図10中の左側の地図上に示され、撮影経路上で撮影位置の移動を可能とした。また、図10中の右側では全天球画像を透視投影変換したユーザ視点画像を提示した。マウス操作により撮影地点ごとに自由な視線変更を可能としている。提案手法により生成された全天球画像群を用いることによりプライバシー保護が行われ、オクルージョン問題が解決された全方向に対して視線変更可能なシステムの構築が可能となった。

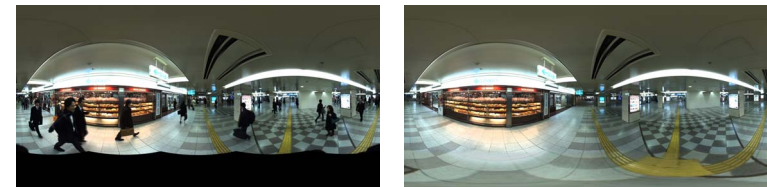
*1 <http://umechika.ubi.cs.ritsumeai.ac.jp/>



(i) 地点 B



(ii) 地点 C



(iii) 地点 D



(iv) 地点 E

(a) 入力動画の1フレーム

(b) 出力画像

図9 提案手法による生成結果例

Fig.9 Examples of omnidirectional images generated by the proposal method.

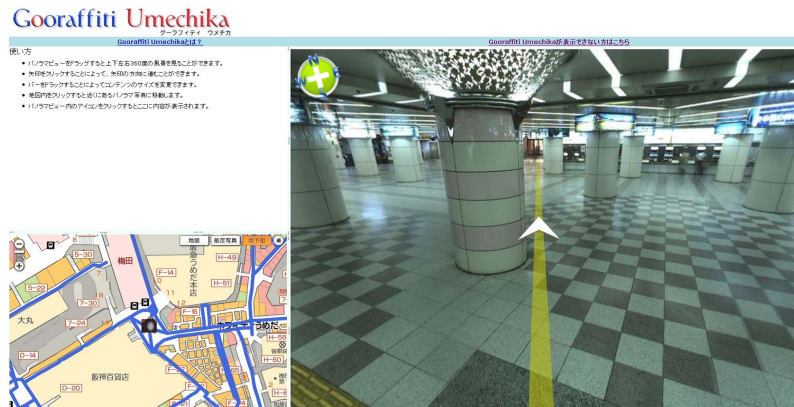


図 10 生成されたパノラマ画像を用いたパノラマビューア (URL: <http://umechika.ubi.cs.ritsumei.ac.jp/>)
Fig. 10 Panorama viewer using generated panoramic images.

4. ま と め

本報告では大規模な屋内環境におけるプライバシーを保護したパノラマビューシステムのための全天球画像群の生成法の提案を行った。提案手法では、輝度値の頻度に基づいてあらかじめ人物領域の大半を補完し、残存した小さな領域において画像修復することで精度の良い人物領域の補完を実現した。また、カメラの死角領域を補完する際に参照画像中の人物領域をあらかじめ排除することにより、精度の良い欠損領域の存在しない全天球画像の生成を可能とした。実験では、大規模な屋内環境の一例として大阪梅田地下街で撮影された全天球動画を用いて人物領域の除去および欠損領域の補完を行うことによりプライバシーを保護した全天球画像群の生成を行った。提案手法により生成した全天球画像群を用いたパノラマビューシステムを公開中である。今後の課題として、動的に変化するパラメータを自動的に決定する方法および撮影時のカメラ位置・姿勢情報を高精度に取得する方法の開発などが挙げられる。

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。

参 考 文 献

- 1) Google: ストリートビュー. <http://www.google.co.jp/help/maps/streetview/>.
- 2) Viola, P. and Jones, M.: Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features, *Proc. IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Vol.1, pp.511-518 (2001).
- 3) Lienhart, R. and Maydt, J.: An Extended Set of Haar-like Features for Rapid Object Detection, *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing (ICIP)*, Vol.1, pp. 900-903 (2002).
- 4) 新井イスマイル, 堀磨伊也, 河合紀彦, 安部陽平, 市川昌宏, 里中祐輔, 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: 人が消える地下街パノラマビューアの開発, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO) シンポジウム論文集, pp.1183-1189 (2010).
- 5) Wexler, Y., Shechtman, E. and Irani, M.: Space-Time Completion of Video, *Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, Vol.29, pp.463-476 (2007).
- 6) Kawai, N., Sato, T. and Yokoya, N.: Image Inpainting Considering Brightness Change and Spatial Locality of Textures, *Proc. Int. Conf. on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, Vol.1, pp.66-73 (2008).
- 7) Harrison, P.: A Non-Hierarchical Procedure for Re-Synthesis of Complex Textures, *Proc. Int. Conf. in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision*, pp.190-197 (2001).
- 8) Sun, J., Yuan, L., Jia, J. and Shum, H.-Y.: Image Completion with Structure Propagation, *ACM Trans. on Graphics*, Vol.24, No.3, pp.861-868 (2005).
- 9) Kawai, N., Machikita, K., Sato, T. and Yokoya, N.: Generation of an Omnidirectional Video without Invisible Areas Using Image Inpainting, *Proc. Asian Conf. on Computer Vision (ACCV)* (2009).
- 10) Sato, T., Ikeda, S. and Yokoya, N.: Extrinsic Camera Parameter Recovery from Multiple Image Sequences Captured by an Omni-Directional Multi-Camera System, *Proc. European Conf. on Computer Vision (ECCV)*, Vol.2, pp.326-340 (2004).