

平成22年5月31日現在

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20700157

研究課題名（和文）大量の事例画像を用いた3次元モデルの超解像度化

研究課題名（英文）Super-resolution 3D model acquisition from multiple example images

研究代表者

飯山 将晃 (IIYAMA MASAOKI)

京都大学・経済学研究科・准教授

研究者番号：70362415

研究成果の概要（和文）：

さまざまな物体を撮影した画像（事例画像）を用いて、高解像度の3次元モデルを獲得する研究を行った。物体の詳細な模様（テクスチャ）が失われている低い解像度の3次元モデルしかない場合でも、自然界に存在する様々なテクスチャを蓄えた大量の事例画像があれば、失われた詳細なテクスチャを事例画像の中から検索し、補完することが可能であることを実験により示した。

研究成果の概要（英文）：

Our research aims to establish a novel super-resolution technique for 3D object model. In our research, a resolution of 3D object model is up-scaled by learning-based super-resolution technique; missing details of 3D object model is compensated by example images. Experimental results with real images demonstrate the effectiveness of our method.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：コンピュータビジョン，3次元モデル，超解像度

1. 研究開始当初の背景

近年、計算機的能力向上により、大量の事例データを用いてパターン認識や画像復元を行う研究が行われるようになった。例えば、大量の風景写真を用いて欠損のあるシーンを修復する研究や、大量の顔画像を事例とし

て用いて顔画像を超解像度化する研究が行われている。これら従来研究に対し、本研究では事例画像が大量に存在すれば、従来の2次元画像の超解像度化の技術を3次元モデルの超解像度化に拡張できるのではないかとこの着想に至った。

2. 研究の目的

三次元モデルの超解像度化を大量の事例画像を用いて達成する。入力となる三次元モデルの投影像を生成し、それを大量の事例画像を用いて超解像度化し、さらに投影像間の整合性を考慮しつつ超解像度化された画像から三次元モデルを生成することによって三次元モデルの超解像度化を達成する。

これを実現するために、(1) 事例画像を用いた画像セットの超解像度化技術、(2) 超解像度画像を用いた3次元モデルの高精細化に関する研究を行う。

3. 研究の方法

本研究では次の2点について研究を行った。

(1) 事例画像を用いた画像の超解像度化

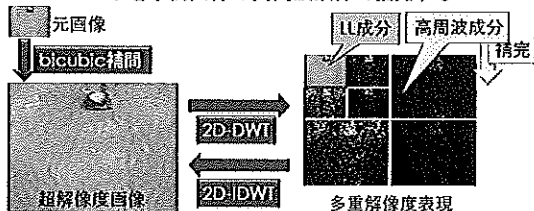
複数視点画像を大量の事例画像を用いて超解像度化する手法についての研究を行った。

複数視点画像を $b \times b$ 画素の画像ブロックに分割し、各画像ブロックごとに以下の処理を行うことで 2^n 倍の解像度 ($2^n b \times 2^n b$ 画素) に超解像度化された超解像度画像ブロックを得る。大量の事例画像の中から画像ブロックに最も類似した $2^n b \times 2^n b$ 画素の領域を探索し、これを用いて画像ブロックの超解像度化を行う。探索で得られた $2^n b \times 2^n b$ 画素の領域に対して離散ウェーブレット変換を行い、 $2^{n-k} b \times 2^{n-k} b$ の LL, HL, LH, HH 成分を得る。得られた LL 成分に対し再度離散ウェーブレット変換を行うという処理を $n-1$ 回繰り返す、最終的に $2^k b \times 2^k b$ ($k = n-1, n-2, \dots, 0$) の HL, LH, HH 成分、および $b \times b$ の LL 成分を得る。元画像で失われている高解像度の情報は高周波成分 (HL, LH, HH 成分) に相当するため、これを事例画像の高周波成分を用いて補完する。

超解像度化の原理

2次元離散ウェーブレット変換 (2D-DWT) を利用

- 元画像が有するテクスチャ情報
- 高周波成分: 失われている高周波のテクスチャ情報
→これを事例画像の高周波成分で補完する

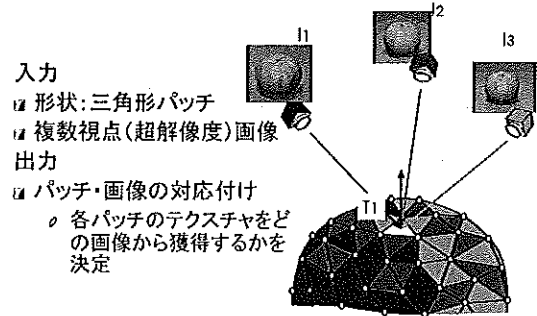


(2) 超解像度化された複数視点画像の3次元モデルへのマッピング

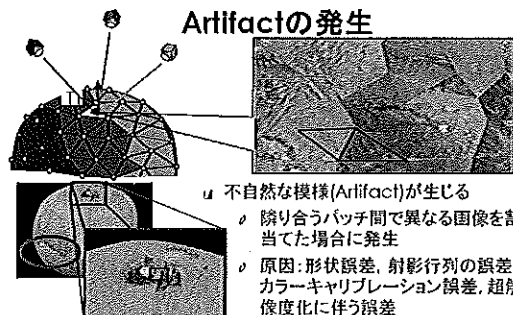
複数視点画像の3次元モデルへのマッピ

ングは、3次元モデルを構成する三角形パッチのテクスチャを、複数視点画像のうちのどの画像から採用するかを決定することによって実現できる。

複数視点画像からのテクスチャマッピング



超解像度化処理の問題として、得られた超解像度画像が必ずしも撮影対象を高解像度で撮影したもの、つまりは正しい高解像度画像と一致するとは限らないことが挙げられる。このような超解像度複数視点画像を3次元パッチモデルにテクスチャマッピングした結果、3次元パッチモデルの表面上で本来存在しない不自然な模様が生じる問題が発生する。このような不自然な模様は2つの隣接するパッチ間で異なる視点からの超解像度画像がテクスチャとしてマッピングされる際にパッチの境界付近で発生する。



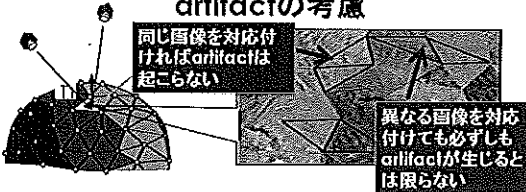
Artifactが写実性向上の(次の)ボトルネックとなる

この問題に対し、2つの隣接するパッチ間で異なる画像がテクスチャとしてマッピングされたとしても必ずしも模様の不整合が生じるとは限らないという仮定の下、3次元パッチモデルの表面で模様の不整合を生じさせないようなパッチと画像との対応関係を決定することでテクスチャをぼやけさせることなく不自然な模様の発生を軽減する手法を考案した。

提案手法では、不自然な模様を生じさせ得るパッチ間では同一の画像を対応付け、不自然な模様を生じさせないパッチ間では異なる画像の対応付けを許容するようなエネルギー関数を定義し、それを最小化することに

よって不自然な模様を発生させないテクスチャマッピングを実現する。

artifactの考慮



同じ画像を対応付ければartifactは起こらない

異なる画像を対応付けても必ずしもartifactが生じるとは限らない

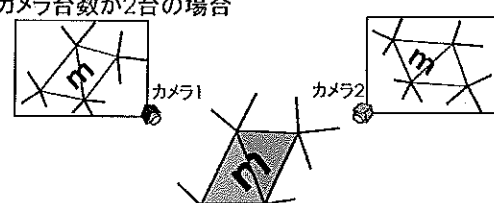
隣接するパッチに対してartifactの発生程度を評価

- artifactが起こりやすい
 - 同一の画像を対応付ける
- artifactが起こりにくい
 - 異なる画像を対応付けてもよい

具体的には、模様の整合性を定量化し、隣接するパッチ間で異なる画像をテクスチャとしてマッピングすることのコストを模様の不整合の度合いに応じて設定する。

模様の整合性

カメラ台数が2台の場合

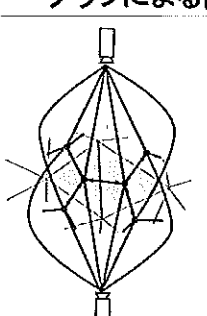


カメラ1&カメラ1 カメラ1&カメラ2 カメラ2&カメラ2

- 隣接するパッチの境界線上で模様の不整合が生じる
- 境界線上の画素値によって整合性を評価

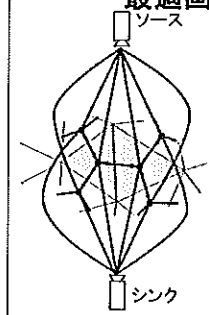
次に、このコストの総和が最小となるような各パッチと画像との対応関係を獲得することによって、模様の整合性を保ったテクスチャマッピングを実現する。コストの総和を最小化するために、画像の領域分割等で用いられているグラフカットのアルゴリズムを用いる。各パッチとカメラをノード、パッチとカメラ間および隣接するパッチ間を枝とした枝重み付き有向グラフを構築し、コストの総和の最小化問題をグラフの最大フロー・最小カット問題に帰着させることによってテクスチャマッピングを実現する。

グラフによる画像割り当ての表現



- パッチ: ノード
- パッチの隣接関係: 枝
- カメラ1: ソースノード
- カメラ2: シンクノード
 - ソースノード・パッチ間: 枝
 - シンクノード・パッチ間: 枝
- 枝をカットしてグラフを2分割することにより任意の画像割り当てを表現

グラフカットを用いた最適画像割り当て決定



- カットする枝の重みが最小となるようにグラフを2分割
 - 模様の不整合をできるだけ少なくしつつ
 - 高解像度のテクスチャをマッピング
- グラフの最大フロー・最小カット問題に帰着できる
 - 従来のグラフカットアルゴリズムを用いて最適化

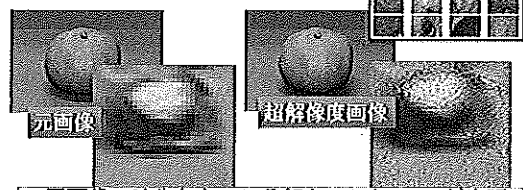
4. 研究成果

(1) 画像の超解像度化

いくつかの自然物を撮影した画像に対して超解像化を試みた結果、撮影対象を一定のカテゴリ、例えば果物や動物のように限定し、そのカテゴリに属する物体を撮影した事例画像を用意すれば、画像を16x16倍程度に超解像度化できることが確認された。

超解像度化実験

- 20枚の複数視点画像(1752×1168ピクセル)
- 146枚の事例画像(3502×2336)を用いて超解像度化
 - 1752×1168 → 28032×18668

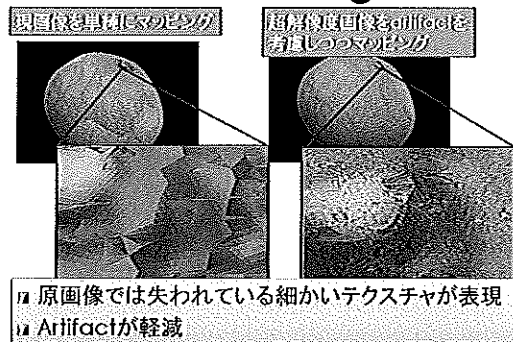


原画像では失われている細かいテクスチャが表現

(2) 超解像度画像の3次元モデルへのマッピング

超解像度化した20枚の複数視点画像を3次元モデルにテクスチャマッピングする実験を行った結果、元画像では失われている物体の詳細なテクスチャを再現した高精細な3次元モデルを構築することに成功した。

実験結果: orange



以上の研究により、従来カメラの解像度以上

の解像度で3次元モデルを獲得することが出来ないという技術的な壁を事例を用いた処理により取り払うことができることが示された。画像の超解像度化については国内外で多くの研究がなされているが、それを3次元に拡張した例はなく、本研究の成果によって3次元モデルの超解像度化に対する研究が活発に行われることが期待できる。

しかしながら、本研究により3次元モデルのテクスチャの高解像度化は達成されたものの、3次元モデルの形状そのものの超解像度は未だ達成できていない。今後の展望としては、超解像度化された複数視点画像に基づいて形状の高精細化を目指す研究が必要となる。

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2件)

1. 複数視点画像からのテクスチャマッピングにおける模様^の整合性の保存, 飯山将晃, 坂口尚樹, 豊浦正広, 船富卓哉, 角所考, 美濃導彦, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 8 (採録決定), 2010-08, 査読有

2. Distortion Correction for 3D Scan of Trunk Swaying Human Body Segments, Takuya Funatomi, Masaaki Iiyama, Koh Kakusho, Michihiko Minoh, Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis, Vol.7 No.4, pp.51-61, 2009-04, 査読有

[学会発表] (計15件)

1. 飯山将晃, 複数視点画像からのテクスチャマッピングにおける模様^の整合性の保存, 画像の認識理解シンポジウム(MIRU2009), 2009/7/22, くにびきメッセ・松江市

2. 飯山将晃, 複数視点画像と事例画像を用いた超解像度テクスチャマッピング, 電子情報通信学会パターン認識メディア理解研究会, 2009/6/17, 北海道大学・札幌市

3. Masaaki Iiyama, Usage of Needle Maps and Shadows to Overcome Depth Edges in Depth Map Reconstruction, International Conference on Pattern Recognition (ICPR2008), 2008/12/9, Tampa Convention Center・フロリダ州・米国

[その他]

ホームページ:

<http://www.iiyama-lab.org/research-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯山 将晃 (IIYAMA MASA AKI)
京都大学・経済学研究科・准教授
研究者番号: 70362415

(2) 研究協力者

船富 卓哉 (FUNATOMI TAKUYA)
京都大学・学術情報メディアセンター・助教
研究者番号: 20452310

豊浦 正広 (TOYOURA MASAHIRO)
山梨大学・医学工学総合研究部・助教
研究者番号: 80550780