

機関番号：14301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009年度～2010年度

課題番号：21700194

研究課題名 (和文) 多視点画像を用いた3次元形状と2次元対象領域の同時推定

研究課題名 (英文) Simultaneous estimation of 3D shape and 2D silhouettes from multi-viewpoint images

研究代表者

延原 章平 (NOBUHARA SHOHEI)

京都大学・大学院情報学研究科 講師

研究者番号：00423020

研究成果の概要 (和文) : 対象を撮影した多視点画像を入力として, 対象の3次元形状と各画像上での対象領域を同時に推定するアルゴリズムを新規に考案した. 特に3次元形状と対象領域が互いに矛盾してはならない, という制約条件を明示的に実現した点に学術的新規性が存在する.

研究成果の概要 (英文) : This research proposed a new algorithm that estimates both 3D shape and 2D silhouettes from multi-viewpoint images. The key contribution is the consistency constraint between 3D shape and 2D silhouettes, i.e., the projections of the 3D shape. Unlike conventional methods, the proposed algorithm explicitly models this projective constraint in the 3D shape reconstruction scheme.

交付決定額

(金額単位: 円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：コンピュータビジョン

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：多視点画像, 対象領域抽出, 3次元形状, 3次元ビデオ

1. 研究開始当初の背景

現代社会において映像メディアはテレビや映画をはじめとして生活の様々な場面において必要不可欠なメディアとして広く使用されている。これまで一般に映像メディアという言葉は平面・2次元映像を意味しているが、古くからSFなどで描かれてきたように、これに替わる将来の映像メディアとして、シーン全体を記録したより臨場感の高い3次元・自由視点映像の実現が長らく期待されてきた。しかし3次元・自由視点映像の実現に不可欠である、対象の3次元撮影技術は確立されているとは言い難い。これは3次元形状

をその投影平面像から推定するという問題が、本質的に不良設定問題であることに起因する。これまでの研究はこの不良設定問題になんらかの事前知識を制約条件として追加し、さらに多くの仮説を設定することで特定の条件下で限られた種類のシーンを撮影するという段階にとどまっている。

2. 研究の目的

多視点撮影像からの3次元形状復元問題そのものは不良設定問題であり、観測された多視点映像を生成できる3次元形状を一意には決定できない。またある1視点における対象領域抽出処理においても、一般的な撮影環境下

では対象領域を一意に決定することは困難である。本研究で目指すポイントは、このような2つの問題に対して、本提案で着目する「対象領域は視点間で無矛盾でなくてはならない」という命題がどのように貢献できるかを明らかにし、アルゴリズムとして構築することである。本研究ではこの目標を達成するために以下のように段階を区切って研究を行う。なお研究期間内はアルゴリズムの理論面の構築を重視し、処理の実時間性・効率性など実装上の問題については取り扱わないものとする。

(1)「無矛盾性を利用した対象領域抽出」：そもそも視点間で矛盾が生じる原因は、各視点毎に対象領域を抽出しているためである。そこで本研究では処理の主体を逆転させ、3次元空間を分割して得られる微小領域を中心とした処理を検討する。これによって対象領域間の無矛盾性をアルゴリズム的に保証し、無矛盾性を保つ範囲で従来の対象領域抽出の結果になるべく沿った微小領域の集合を求めることのできるアルゴリズムを考案する。

(2)「3次元形状と対象領域の同時推定」：第1段階で構築した対象領域抽出手法と相互にフィードバックを持つ3次元形状復元手法を構築し、3次元形状と対象領域を同時に推定する。具体的には対象が存在し得る空間を微小な領域に分割し、①従来の対象領域抽出の観点から見たときに対象に含まれるか、②3次元形状としてその領域が対象に含まれることが適切かどうかの2点を同時に満たす最適な微小領域集合を求めるアルゴリズムを考案する。

3. 研究の方法

(1)【無矛盾性を利用した対象領域抽出の実現】

本研究の状況設定として、互いに位置・姿勢が既知なカメラ群で対象となる物体を撮影した前景画像群と、対象が存在しない状態で撮影した背景画像群が得られているとする。従来の対象領域抽出では、視点独立に前景と背景画像の差分を計算し、差分が一定の閾値以上である画素の集合を対象領域と見なしていた。このような状況下では、前景と背景の色が近い部分において対象領域の欠損が生じるが、別の視点から観測した場合は異なる背景との差分を計算するため、閾値を上回ることも起こりえる。こうして視点間で対象領域の矛盾が生じる。

このような問題が生じる原因を、本研究では処理の主体が各視点における平面画像領域におかれているためであると考え、逆に3次元空間を構成する微小領域を処理の主体と

するアルゴリズムについて検討する。すなわち、

Step 1. まず対象が存在し得る3次元空間を微小な領域へと分割する。

Step 2. 各微小領域が対象の3次元形状の一部であることが適切であるかどうかを、各視点における前景・背景画像を用いて検証する。すなわち、その微小領域を各視点に投影したとき、前景-背景間の差分値が全ての視点において十分大きいときはその微小領域が3次元形状の一部である可能性が高く、逆にほとんどの視点において小さいときは可能性が低いと見なす。

Step 3. 任意の微小領域の集合を各視点に投影して得られる像はその定義から互いに無矛盾である。そこで対象の3次元形状の一部であることが適切であるような微小領域の集合を、「各微小領域が対象形状に含まれるか否か」という2値の組み合わせ最適化[1]によって計算し、これを投影することで対象領域抽出を行う。

というアルゴリズムを検討する。ここで検討すべき主な課題は、

- 3次元空間における微小領域は、位置のみを表す点 (voxel) として定義するべきか、それとも位置と方向を持った微小平面 (oriented patch) として定義するべきか。
- 3次元空間における微小領域とその投影先は多対一の対応関係にある。つまり前景画像の1画素に対応する微小領域は、その画素とカメラの投影中心を結ぶ線上に複数存在するが、そのうちどれか1つが対象の3次元形状に含まれるとすると、カメラから見てそれより後ろの領域については観測不可能であったはずであるため、3次元形状に含まれているか否かについてはこのカメラは何も情報を与えるべきではない。このように微小領域を対象の3次元形状に含めるか否かは、各微小領域独立に決まるのではなく、互いに依存している。

という点である。特に後者の理由により、複雑かつ非線形な依存関係を持った要素集合の最適化となる可能性がある。そのため厳密な大局最適解を求めることが現実的な計算量では困難である場合は、対象の形状に関する滑らかさの仮定など、一般に使用される前提を導入した近似最適解を求める方式も検討する。

(2)【3次元形状と対象領域の同時推定の実現】

第1段階における対象領域抽出アルゴリズムに3次元形状復元を統合する。これは前述の

表1にあるように、第1段階における視点独立処理としての前景-背景差分値による対象領域らしきに加えて、視点間でのテクスチャ一致度計算によるステレオ法な形状復元要素を加えることで実現する。すなわち、3次元形状に含まれた微小領域において

- その微小領域を観測可能なカメラ間でテクスチャの一致度が高く、かつ
- その微小領域の各カメラにおける投影先では前景-背景差分値が大きい
- という条件を最もよく満たす微小領域の集合を、第1段階同様に2値の組み合わせ最適化問題として定式化する。ここで検討すべき課題は、下記の通りである。
- テクスチャ一致度の計算：視点移動に伴う見え方の変化に頑健なアルゴリズム[2]を使用することを検討する。
- テクスチャ一致度を計算する際の可視判定：テクスチャ一致度を計算するためには、どのカメラからその微小領域が観測可能であるかを知る必要がある。しかし対象形状による自己遮蔽の状態を知るには、対象の3次元形状が必要であり、鳥と卵の関係になっている。そこで oriented visibility と Parzen filtering[3]の考え方を導入し、統計的处理によって可視判定の失敗を回避することを検討する。
- テクスチャ一致度の確信度：テクスチャの一致度は、①確信度の高い、つまり一意に識別可能な領域と、②確信度の低い、有意なテクスチャに乏しい領域のように、必ずしも対象領域全域にわたって正確に計算できるわけではない。そこで第1段階同様に大域的な最適化が困難である場合は、確信度の高い部分から粗密探索によって徐々に推定を確定させ、近似最適解を得る方法を検討する。

【参考文献】

- [1] Y. Boykov and O. Veksler and R. Zabih: Fast Approximate Energy Minimization via Graph Cuts. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 23(11), pp. 1222-1239, 2001.
- [2] D. G. Lowe: Distinctive image features from scale-invariant keypoints. International Journal of Computer Vision, vol. 60(2), pp. 91-110, 2004.
- [3] G. Vogiatzis and C. Hernandez and P. Torr and R. Cipolla: Multi-view Stereo via Volumetric Graph-cuts and Occlusion Robust Photo-Consistency. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 29(12), pp. 2241-2246, 2007.

4. 研究成果

本研究の目標は対象が存在し得る空間を微小な領域に分割し、①従来の単視点対象領域抽出の観点から見たときに対象に含まれるか、②3次元形状としてその領域が対象に含まれることが適切かどうかの2点を同時に満たす最適な微小領域集合を求めるアルゴリズムを考案することであった。この方針に従って具体的には空間を単位立方体に分割し、Graph-cuts アルゴリズムによって上記2点を同時に満たすような対象3次元表面形状の大域最適解を得ることのできるアルゴリズムを考案した。このアルゴリズムを用いた結果を以下の図1～4に示す。



図1：入力多視点画像

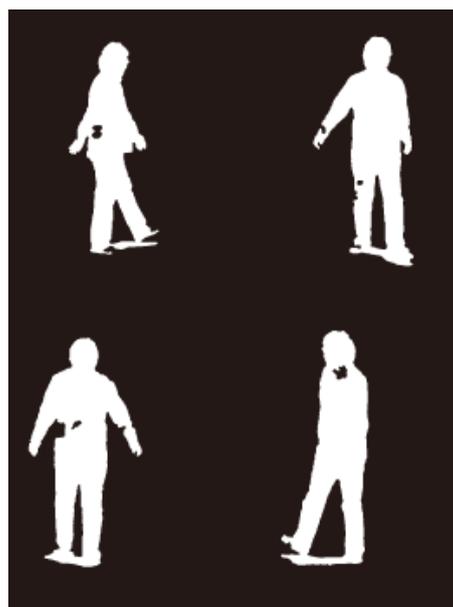


図2：従来手法による結果



図 3 : 従来手法による結果



図 4 : 提案手法による結果

図 1 のような入力多視点画像（一部）が与えられたとき、従来手法では対象領域（図 2）、3次元形状（図 3）ともに欠損が生じてしまっているのに対して、提案手法（図 4）ではこの欠損を補うことができていることがわかる。

またこのような復元アルゴリズムの前段階として多視点カメラ間の色校正を行うアルゴリズムの新規に考案した。これは相異なるカメラを用いて対象を撮影した際の、センサとしての特性に起因した計測値の変動をモデル化・補正する手法である。これによって

多視点画像間での対象表面色の計測値の比較に依存した本アルゴリズムをより有効に働かせることが期待できる。以上より本研究の意義は上述の 2 点を満たすような対象 3 次元表面形状とその投影像としての多視点対象領域の大域最適解を得ることができたこと、またこの処理をより有効に働かせるための多視点カメラ間の色校正手法を新規に開発した点にある。この成果によって、次世代の映像メディアである 3 次元・自由視点映像の実現に向けた一定の貢献することができたと考えられる。

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 1 件）

- ① Shohei Nobuhara, Yuta Kimura and Takashi Matsuyama, “Object-Oriented Color Calibration of Multi-viewpoint Cameras in Sparse and Convergent Arrangement,” IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol.2 (2010), 132-144. (査読有)

〔学会発表〕（計 1 件）

- ① 延原章平, 松山隆司, ウ小軍, 松浦宣彦. 多視点画像を用いた複雑環境下における 3 次元形状・対象領域の同時推定. MIRU2011 (査読有, 発表予定).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

延原 章平 (NOBUHARA SHOHEI)
京都大学・大学院情報学研究科・講師
研究者番号：00423020

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究者

該当無し