

氏 名	江 文 彪
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 乙 第 82 号
学位授与の日付	平成12年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当
学位論文題目	Studies on 3-D Shape Recovery from Shading (単眼明度画像からの三次元物体形状復元に関する研究)
審 査 委 員	(主査) 教 授 塩 山 忠 義 教 授 吉 田 靖 夫 教 授 黒 川 隆 夫

論 文 内 容 の 要 旨

二次元画像から三次元物体の形状を復元することは、人間の視覚認識の機能を工学的に実現させるコンピュータ・ビジョンにおける一つの重要な問題である。従来の三次元形状復元方法には、2台のカメラで捉えた画像から三角測量の原理で物体の形状を推定するステレオ法があるが、2枚の画像における特徴点が多い場合、対応付けが困難であり、また、対応付けの誤りが推定結果に大きな影響を及ぼす。本論文では、一台のカメラで観測された単眼明度画像から三次元物体形状を復元する(shape from shading)問題を取り扱う。shape from shadingは三次元物体の表面方位に関連した情報を含んでいる画像明度と反射率分布図を利用することによって、三次元物体形状を復元するものである。本論文では、従来shape from shadingにおいて課題となっていた次の問題

- 1) アルゴリズムの収束性の向上
- 2) non-Lambertian に対応できるアルゴリズムの開発
- 3) エッジを有する物体に対応できるアルゴリズムの開発

に関して取り扱うものである。

第1章は緒論で、単眼明度画像から三次元物体形状を復元する問題について、その意義や必要性と共に、本研究に取り組むに至った動機について述べたものである。更にこれまでの研究について触れ、本研究の目的と意義を明らかにしている。

第2章では、単眼明度画像から三次元物体形状を復元するための定式化について述べている。

第3章では、三次元形状を推定するアルゴリズムの収束速度の改善について述べている。IkeuchiとHornは明度情報と三次元物体表面方位の関係を利用して三次元形状を推定するアルゴリズムを提案したが、そのアルゴリズムの収束速度における問題があった。本論文では、三次元物体の表面方位と画像の明度勾配に関する新しい制約式を導出し、面方位と画像明度の関係を同時に利用して、高速化した三次元形状推定のアルゴリズムを提案している。この制約式の物体表面方位推定への効果について理論的に考察し、新しい制約式を用いるとアルゴリズムの収束性が向上することを明らかにしている。また、その効果が数値実験結果により、示されている。

第4章では、non-Lambertianの場合における明度画像からの三次元形状復元の手法を提案している。一般の反射特性(non-Lambertian)を持つ物体の輝度を表す式(反射率分布図)は物体を構成する材質によって異なるため、そのような物体の三次元形状の復元をするのは困難であった。この問題を解決するために、Occluding Boundaryを利用して、non-Lambertianの反射特性を決定するパラメータを同定しながら、物体の表面方位を推定する三次元形状復元の反復アルゴリズムを提案している。その反復アルゴリ

ズムの収束性についてR-factorを用いて理論的に証明し保証している。

第5章では、画像のカラー情報を利用して、non-Lambertianの反射特性を決定するパラメータを推定するアルゴリズムを提案している。dichromatic反射モデルに基づけば、カラーシグナルはRGB空間のDCP平面上にある。カラーシグナルのモーメント行列の最大固有値に対応する固有ベクトルと最小固有値に対応する固有ベクトルを用いてDCP平面を求め、non-Lambertianの反射特性を決定するパラメータを推定している。物体の表面方位は第4章で提案したアルゴリズムを利用して復元している。実画像を用いて実験を行い、良好な復元結果が得られている。

第6章では、エッジを含む三次元物体の形状復元法を提案している。従来の三次元形状を復元するアルゴリズムにおいては、正則化項として滑らかさを表す二次convex関数を用いている。従って、エッジを含む物体のように、表面方位が不連続に変化する所がある場合、正確に復元できない弱点がある。本論文では、concaveな関数を正則化項として用い、エッジを含む三次元物体の形状を推定するアルゴリズムを提案し、その収束性について理論的に考察している。提案する正則化項のエッジ強調の効果は数値実験と実画像実験結果より明らかにしている。

第7章では、三次元物体形状の復元の応用例として、単眼明度画像から復元された三次元情報を用いて、運動前後の物体の姿勢を推定する方法を提案している。物体の姿勢を推定する方法には、物体運動前後の特徴点の対応関係を用いる方法がある。しかし、未知の物体から、効率的かつ精度よく特徴点を抽出することや、その対応関係を確定することは困難であり、その誤りが推定精度に大きな影響を与える。特徴点の対応付け問題を避けるために、本論文では、運動前後の物体の全領域の三次元データから計算される複素モーメントを用いて回転行列に従うベクトルを構成し、特異値分解法により回転行列を推定している。数値実験結果を通じて提案手法の有効性を示している。

最後の第8章では結論について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、申請者が本学大学院博士後期課程に在学していた1年間およびその後、ウッドランド(株)先端技術部に勤務してきた2年間半において研究した成果をまとめたものである。その内容は、コンピュータビジョンにおける一つの重要な問題である二次元画像情報から三次元物体形状を復元するshape from shadingの新しい手法を提案し、その理論的考察を与え、実画像実験により、提案手法の有効性を検証したものである。

Shape from shadingの繰り返し反復法の収束性を向上させるために本論文では画像明度と物体表面方位が満足すべき新しい制約式を導出し、この制約式を従来の画像照度方程式とともに用いる新しい復元法により、収束性が向上することを理論的に証明し、実験的にも収束性の改善を確認しており、shape from shadingの問題において理論的な取り扱いの手法を与えた学術的価値は高い。

non-Lambertian surfaceの物体に対する単一光源によるshape from shadingの手法は未だ確立されていなかったが、申請者は反射率分布図を支配する複数のパラメータを効率的に推定し、物体形状を復元する反復手法を提案し、そのアルゴリズムの収束性を理論的に保証している。また、実験的にその有効性を確認している。更に、shape from shadingにおいて、初めて、カラー情報を本格的に利用し、反射率分布図を支配するパラメータ推定の精度の向上を図っている。従来、困難な問題とされていたnon-Lambertian surfaceの場合のshape from shadingに対する一つの解決法を与えた意義は大きい。

従来のshape from shadingの手法は物体表面の滑らかさを前提としたものであり、エッジを含む物体に対しては有効ではなかった。申請者は正則化項としてconcave functionを用いればエッジを強調できることを見出し、これを利用してエッジを含む物体に対しても物体形状を復元できる手法を提案し、その収束性を理論的に考察し、実験によりその有効性を確認している。

また、shape from shadingにより復元された物体形状復元結果を用い、物体の姿勢推定を行う方法を提

案し、shape from shadingの応用の一つを開発している。

以上のように、本論文はshape from shadingの問題において、従来、課題とされていた、いくつかの難点を解決する新しい方法を提案しており、同時に、理論的考察も与えており、コンピュータビジョンの分野において重要な寄与をなしたもので、その内容は十分な新規性と独創性を有し、学術的および工学的価値が高いことを全審査員が認めた。

なお、本論文の基になる論文は、以下の6編の学術論文として公表されており、その内4編は申請者が筆頭著者である。

1. T. Shioyama and W. B. Jiang, Numerical 3-D Shape Inference from Shading with New Type of Constraint, Proc. of the 13th International Conference on Pattern Recognition, Vol. I, pp. 364-368 (1996).
2. W. B. Jiang, H. Y. Wu and T. Shioyama, 3-D Shape Recovery from Image Brightness for non-Lambertian Surface, J. Imaging Science and Technology, Vol. 41, No. 4, pp. 429-437 (1997).
3. W. B. Jiang and T. Shioyama, Numerical 3-D Shape Inference from Image Brightness for non-Lambertian Surface, JSME International Journal, Series C, Vol. 41, No. 4, pp. 781-785 (1998).
4. W. B. Jiang, H. Y. Wu and T. Shioyama, 3-D Shape Recovery from Color Information for a non-Lambertian Surface, J. Imaging Science and Technology, Vol. 42, No. 4, pp. 325-330 (1998).
5. 呉海元、江文彪、塩山忠義、単眼明度画像からの三次元物体姿勢推定、日本機械学会論文集、(C編)、64巻619号、pp. 201-206 (1998)。
6. W. B. Jiang, H. Y. Wu and T. Shioyama, Inference of 3-D Shape with Edge from Image Brightness, J. Imaging Science and Technology, Vol. 44, No. 2, pp. 145-155 (2000).