

## 焦点ぼけを利用した単眼視計測による表面形状再構築 Surface Shape Reproduction by Monocular Measurement based on Defocus

望月 優介† 青木公也‡  
Yusuke Mochizuki Kimiya Aoki

### 1. まえがき

近年、ロボットやセキュリティ技術の進歩から、画像処理技術による距離計測装置がシステムに組み込まれるようになってきた。これに伴い、3次元計測に用いる装置は小型化、軽量化が望まれている。

3次元形状の計測は、ステレオ計測法や移動計測法等の受動型計測法と光切断法等の能動型計測法の2種に大別することができる[1]。しかし、これらの手法は装置のサイズやコストが大きい等の問題があり、特に、重量制限のある小規模なシステムには組み込み難いと考えられる。そこで本研究では、装置の小型化及び低コスト化を実現する為、受動型計測法に含まれる単眼視計測法によって、3次元形状の計測を行う手法を検討する。本稿では、計測の手掛かりとして焦点ずれによって生じる画像のぼけ具合に注目し、2種類の計測手法を提案し、その有効性を検証した。

### 2. 焦点ぼけによる単眼視計測

本研究では、焦点距離から外れた状態で撮像された際に、画像のディテールがぼやける現象を焦点ぼけとし、この特徴を手掛かりに計測を行う[2]。

画像のディテールがぼける原因としては、他にいくつかの原因を挙げることが出来る。例えば、極端に明るいまたは極端に暗い等の明度によって発生するもの、煙や水蒸気による遮蔽によって発生するもの等である。本研究では、これらの要因によって発生する画像のぼけは無いものとし、一先ず焦点ぼけのみが存在するとしてアルゴリズムを検討した。図1に画像入力系を示す。

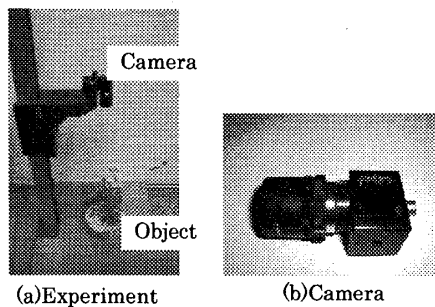


図1 画像入力系

### 3. 提案手法 I

#### 3.1 計測原理

焦点ぼけは、焦点距離から離れるほどぼけ具合が大きくなる。この性質を利用することにより、表面形状の計測を行う。

画像を周波数成分として捉えた場合、焦点の合っている領域と比べ、ぼけ領域は高周波成分のスペクトルが弱い。つまり、高周波にスペクトルが少ない程焦点距離から遠くなり、多い程焦点距離に近くなると考えられる。そこで、本研究では高周波領域の平均値と低周波領域の平均値の割合によってぼけ具合を定量化し、表面形状計測の手掛かりとする。

#### 3.2 周波数解析による振幅特性データ取得

処理の高速化のために、入力画像のグレースケール画像を取得し、これを基に離散フーリエ変換を用いて周波数解析を行う。画像中の16×16画素を基本ブロックとし、図2に示すように画像左上から順に処理していく。

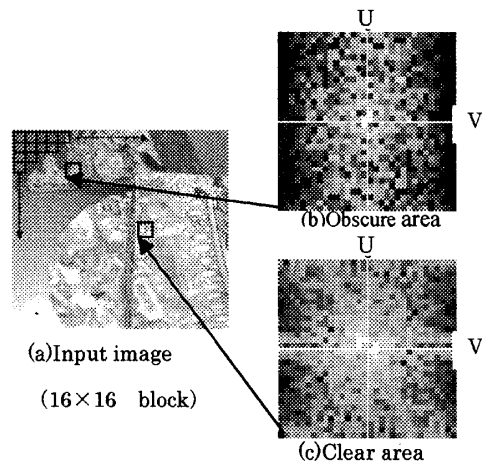


図2 解析範囲と振幅特性グラフ

#### 3.4 ぼけ具合の定量化

振幅特性を表すグラフの例を図2(b)(c)に示す。このグラフはU軸は縦方向の周波数を、V軸は横方向の周波数を表し、濃度はスペクトルの強度を表す。

以下の手順でぼけを定量化する。U、V軸の交点は直流成分を表すが、これを中心とする矩形領域を低周波領域、その外側の範囲を高周波領域とする。低周波スペクトルの平均値L、高周波スペクトルの平均値Hを求め、ぼけ量Obsを次式によって求める。

$$Obs = H / L$$

求められたぼけ量Obsを周波数解析を行ったブロックごとにプロットしていくことにより、距離を濃度で表現したグレースケール画像を生成する。

†中京大学大学院情報科学研究科情報科学専攻

‡中京大学情報理工学部情報システム工学科

4. 提案手法 II

4.1 処理の概要

周波数解析によってぼけ量を定量化するコンセプトは手法 I と同様である。ただし、よりぼけによる情報を、的を絞って獲得するために、周波数解析の範囲をエッジ周囲に限定する。また、手法 I ではぼけ量を定量化する際、低周波領域および高周波領域の境界線（低周波領域を表す矩形）を設定していた。手法 II では、振幅特性をグラフ化した際の値の分散度を利用することにより、経験的に得たしきい値の利用を回避する。

4.2 エッジ周囲における振幅特性データ取得

焦点ぼけは物体のエッジが不鮮明になることにより画像に現れる。手法 I では、周波数解析の範囲（16×16 のブロック）にぼけによる情報を必ずしも含んでいない可能性がある。手法 II では、検出された全てのエッジ画素毎に、それを中心とする 32×32 画素の範囲に周波数解析を限定することにより、焦点ぼけによる情報を的確に取得する。なお、エッジは 2×2 エッジ検出フィルターを用いて検出した。

4.3 分散度によるぼけ量の定量化

振幅特性を表すグラフの U 軸、V 軸、および振幅特性値 A を垂直な軸としたときの 3 次元的なグラフを図 3 に示す。振幅特性の分散  $\sigma$  を次式により求める。

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \sqrt{V_n^2 + U_n^2 + A_n^2}$$

(N : Number of data, A : Amplitude characteristic)

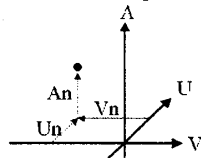


図 3 振幅特性グラフ概略

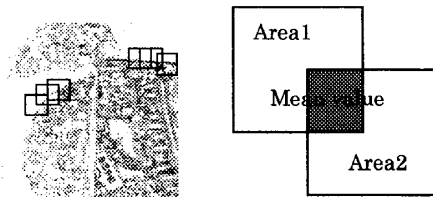
算出された分散値を該当するエッジ周囲に順次プロットしていく。ただし、隣接するエッジの解析範囲が重複していた場合、重複部分の値は互いに重複した 2 つの範囲の中間値を置くことにより、注目点間を補間する。図 4 に解析範囲および注目点間の補間の概略図を示す。

5. 出力結果

以上の手法を用いて距離を濃度で表現したグレースケール画像を出力した結果を図 5, 6 に示す。出力画像は濃度が低いほどカメラに近いことを表し、濃度が高いほど遠いことを表す。

図 5 は辞書の上に単眼カメラを配置し撮影した画像を手法 I によって計測した出力結果である。図 5(c) は出力画像の横方向の中心ラインの濃度グラフである。

焦点深度周辺の領域の特徴は捉えることが出来ているが、ある一定以上遠方は抜き出せていないことがわかる。



(a) Analysis mask (b) Interpolation Scanning

図 4 解析範囲と注目点間の補間

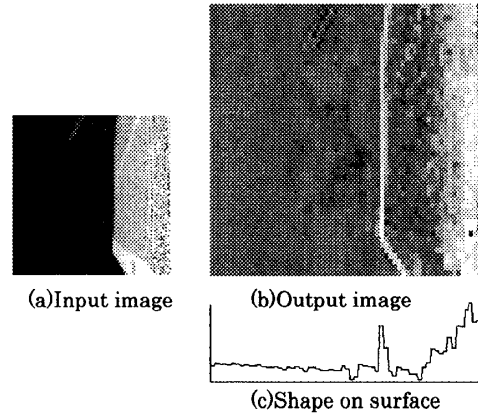


図 5 手法 I 出力画像

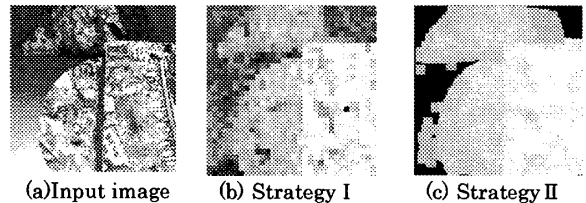


図 6 手法 I・手法 II 出力結果

図 6 は、同じ入力画像に対して手法 I 及び手法 II を適用した結果である。手法 II は解析をエッジ周囲に限定し、また、画像にプロットしていく際に重複範囲に中間値を置いていることから、注目点間の補間が行われる。この為、手法 I に見られるようなブロックノイズが消えていることがわかる。

6. むすび

本研究では、単眼カメラによって取得した静止画像から、撮影された対象物体群の表面形状の計測を試みた。焦点ずれによるぼけ具合を手掛かりとする 2 つの手法を提案し、その有効性について検証した。

謝辞 本研究の一部は、科研費（課題番号:19700183）を用いて実施された。

参考文献

[1] 3次元画像計測（著者：井口征士 佐藤宏介 出版：昭晃堂）1990. 11. 20 初版  
 [2] 焦点ボケ量推定を用いた単一画像の距離計測方式（杉浦彰彦 相澤清晴 原島博 論文：電子情報通信学会論文誌 A Vol. J81-A No. 4 pp. 518-526）1998. 4  
 [3] 波形の特徴抽出のための数学的処理（著者：大川善邦 出版：CQ 出版社）2005. 2. 1 初版