

カラー画像を用いた合焦評価手法と3次元計測に関する研究

柏木利幸*, 大恵俊一郎**

Toshiyuki Kashiwagi, Shunichiro Oe

抄 録

カラー画像において、各色の出現回数を表す頻度を調べると、エッジ部分の色の頻度はエッジ両側の色の頻度に比べて少なく、合焦の度合いによりその頻度に変化するという特徴がある。この特徴を利用したエッジの新しい合焦評価手法を提案し、これを用いて、表面にテクスチャー性を有する3次元物体の計測を行った結果、3次元形状をほぼ忠実に検出することが可能であった。

1 はじめに

カラー画像を用いると、モノクロ画像では識別できなかった物体の色境界の検出や形状識別だけでなく、質感、光源色などの推定も可能である。これまで、カラー画像処理は、コンピュータの処理速度やメモリ容量の制限で、なかなか実用化が難しかったが、最近のコンピュータの著しい進歩で実用化が可能な領域となってきた。

工業製品や農産物などの3次元物体の検査は、従来のモノクロ画像を利用した手法では、計算時間がかかったり、検出精度が不足する場合があった。そこで、3次元物体の任意の位置に焦点を合わせ、3次元形状を取得する技術について研究を行い、実用化の可能性を探る。

本報告では、従来の合焦評価手法とは異なった新

しい合焦評価手法について説明し、これを用いて、表面にテクスチャー性を有する3次元物体の形状取得実験を行った結果について述べる。¹⁾²⁾

2 検出原理

カラー画像におけるぼけたエッジの特徴について述べ、具体的な処理手法と3次元形状の取得方法について説明する。

2・1 カラー画像におけるぼけたエッジの特徴

本研究では、合焦の評価に、エッジの色の頻度が、エッジ両側の領域の色の頻度に比べて少なく、ぼけの度合いによりその頻度に変化するという特徴を利用する。³⁾⁴⁾

図1に示すような赤と黄色のぼけた境界をRGBカラーヒストグラム空間にプロットした時の様子を図2に示す。図1のぼけ領域は、エッジ両側の色成分を含むため、図2のカラーヒストグラム空間で

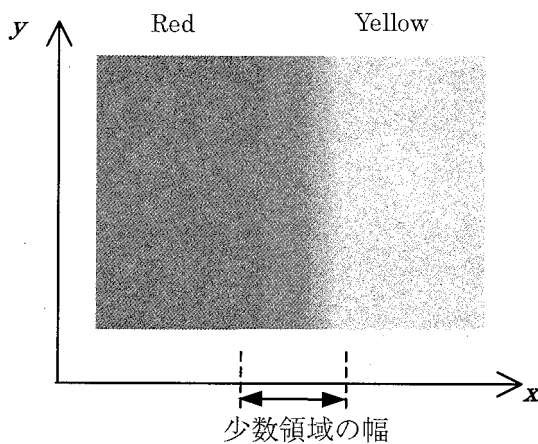


図1 2色のぼけ境界

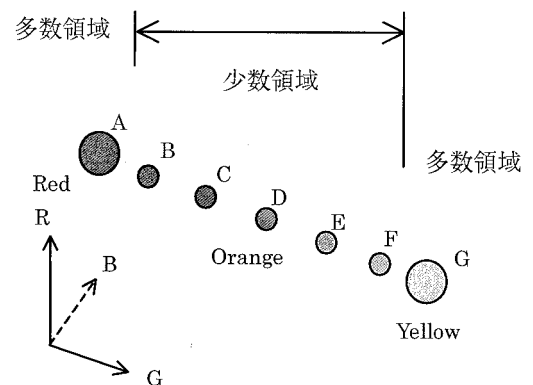


図2 図1のカラーヒストグラム

*電子機械課, **徳島大学工学部

は、エッジの両側の色点Aと点Gの間に位置し、たとえば点B～点Fにプロットされる。この時、色の頻度に注目すると、点A、Gの頻度は多く、点B～Fは頻度が少ない。この様子を点のサイズで表現している。

さて、図2のカラーヒストグラム空間にプロットされた点をその色の頻度により分類すると、大きくは多数領域と少数領域に分類することができる。ぼけ領域は少数領域に該当し、黄色と赤色の部分は多数領域に該当する。

図2で、エッジのぼけ量が大きくなると、点Aまたは点Gの色を持つ画素の中で、点B～点Fの色を持つ画素が増え、点B～点Fの少数領域の頻度が多くなる。

以上より、境界部分の合焦評価は、少数領域の頻度を比較することで行うことができる。すなわち、合焦している境界ほど、頻度が少ない。

2・2 カラー画像より頻度情報を得る手順

実シーンでは、画素のカラー値は種々のノイズ変動の影響を受けることが多いため、本手法では複数枚のカラー画像を用いて頻度情報を取得する。

具体的な手法を以下に示す。

(1) 時刻 t に取得したカラー画像を $f^{(t)}$ とし、 $f^{(t)}$ を RGB カラーヒストグラム空間上にプロットしたものを $h^{(t)}$ とする。 $h^{(t)}$ は RGB それぞれの座標値とその座標における頻度を持っている。

(2) 元の画像 $f^{(t)}$ のカラー値を $h^{(t)}$ より得られる頻度に置き換えると $f^{(t)}$ は、カラー値の頻度を表す濃淡画像となる。この画像を頻度画像 $g^{(t)}$ と呼ぶ。

(3) $\{f^{(t)}, t=1, 2, \dots, n\}$ から得られる n 枚の頻度画像 $g^{(t)}$ の合計 S を次式により求める。

$$S = \sum_{t=1}^n g^{(t)} \quad (1)$$

以上の手順を図3に示す。

S の値の小さな領域を検出すれば、エッジを含むぼけ領域が検出可能である。

(4) S の最小値は、加算回数 n であるため、 n の値が増えれば、 S の最小値も増加する。そこで S よりこの最小値 n を減じたものを G とおくと、 G は次式により表される。

$$G = \sum_{t=1}^n g^{(t)} - ne \quad (2)$$

ここで e は全ての点が1の頻度画像を表す。

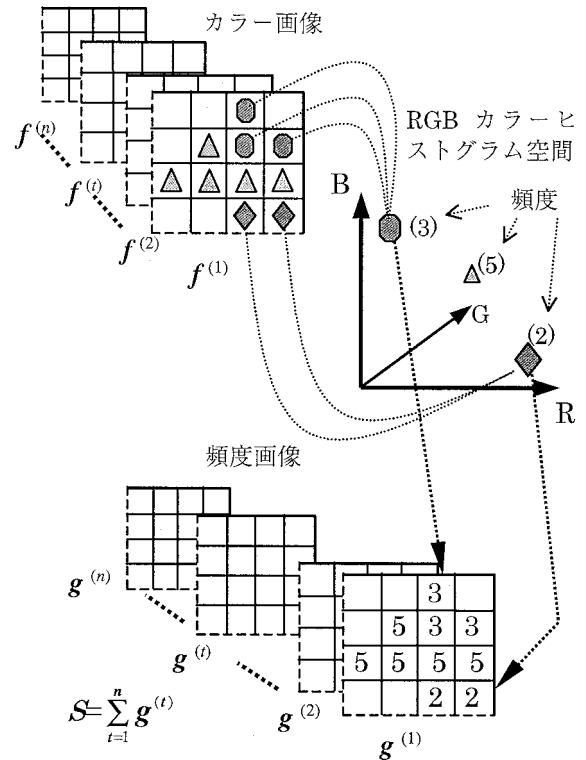


図3 複数のカラー画像から頻度画像の合計 S を得る手順

(5) カラーヒストグラム空間の少数領域の画素は、 G の値の小さい領域である。この領域を m ($0 < m < n$) をパラメータとして次式により検出し、検出した濃淡画像 g_m を頻度特徴検出画像と呼ぶ。

$$g_m = \begin{cases} G/m & (G/m < 2^i - 1) \\ 2^i - 1 & (G/m \geq 2^i - 1) \end{cases} \quad (3)$$

$(m : 0 < m < n)$

ここで i は、画像メモリのビット数を表す。

(6) 上式は、 m の意味が分かりにくいいため、新たに平均頻度 d を導入する。 d は頻度画像の合計 G よりどのレベルの平均頻度まで検出するかを意味する。例えば、 $d = 2$ は、 G より平均で頻度が2未満の少数領域のみを検出する。

m と d の関係は次式のように表される。

$$d = \frac{m(2^i - 1)}{n} + 1 \quad (0 < m < n) \quad (4)$$

これより m は次式のようになる。

$$m = \frac{n(d - 1)}{2^i - 1} \quad (1 < d < 2^i) \quad (5)$$

これを式(3)に代入して、

$$g_d = \begin{cases} \frac{G(2^i - 1)}{n(d - 1)} & (G/n + 1 < d) \\ 2^i - 1 & (G/n + 1 = d) \end{cases} \quad (6)$$

を得る。この式は、各画素の n 回の頻度の加算平均が、検出したい平均頻度 d を越える場合は、その画素値を画像の最大レベルとし、それ以外は、頻度のレベルに応じた濃淡画像として表示することを意味している。画像 g_d を改めて頻度特徴検出画像と呼ぶ。

n と d は、利用する画像入力システム、照明環境、対象物の色周波数などにより決める必要があるが、実験的には室内のような人工物の多いシーンで、 $n = 10 \sim 50$ 、 $d = 3 \sim 20$ 程度であった。

図4は、合焦エッジとぼけたエッジの頻度加算画像 G 中の頻度の比較を示している。縦軸は頻度を、横軸はエッジの幅を表している。両エッジとも低い頻度であるが、合焦エッジは、最も低い頻度を持ち、ぼけたエッジはそれよりはやや高い頻度を持つ。

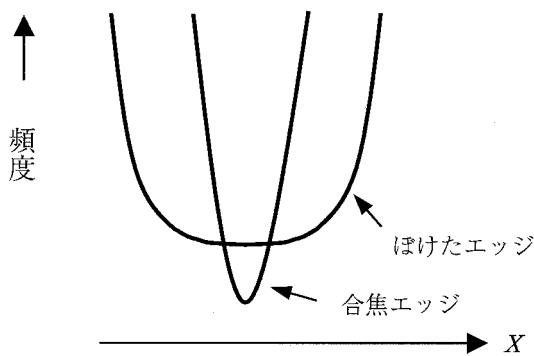


図4 ぼけたエッジと合焦エッジの頻度比較

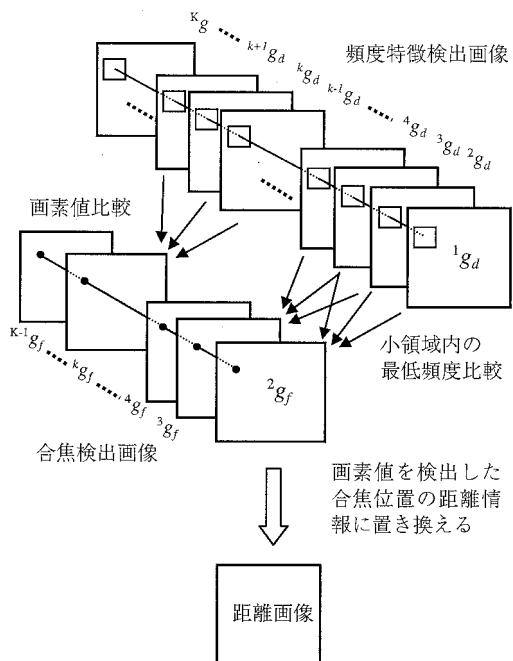


図5 距離画像作成手順

2・3 合焦評価による3次元形状取得方法

2・2で説明した原理に基づき、カメラをレンズの軸方向に直線移動させながら取得した焦点位置の異なる複数のカラー画像から、合焦位置を検出し3次元形状を取得する方法について説明する。

まず、焦点位置の少しずつ異なる画像を連続的にカメラを微小移動させながら取得する。この時、各位置では、 K 個の画像取得位置で、 K 枚の頻度特徴検出画像 g_d を得る。

今 k 番目の頻度特徴検出画像を ${}^k g_d$ とすると、 k 番目に合焦している画素の検出を、 ${}^{k-1} g_d, {}^k g_d, {}^{k+1} g_d$ の低頻度の画素に対してのみ、次式を適用し、得られた画像を合焦検出画像と呼ぶ。

$${}^k g_f = ({}^{k-1} g_d - {}^k g_d) \times ({}^{k+1} g_d - {}^k g_d) \quad (7)$$

この画像の画素の値は、合焦の度合いを表し、レベルの高いものほど合焦していることを表す。実際には、 $k - 1, k, k + 1$ の頻度特徴検出画像において対応する画像にずれが多少あるため、小領域内の最低画素値を計算に用いる。

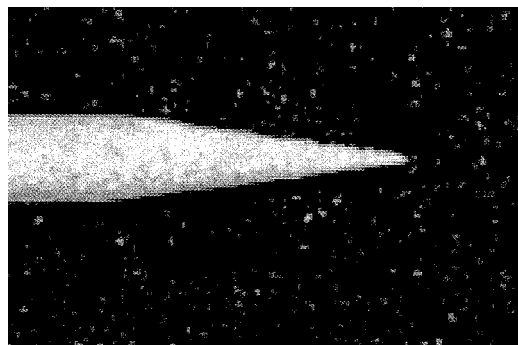


図6 木製の円錐（被測定物）

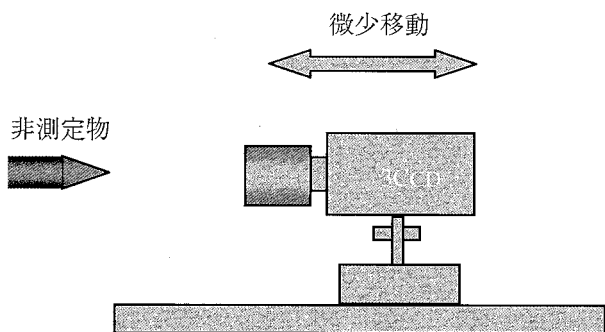


図7 撮影方法

得られた合焦検出画像系列 $\{g^k, k=2, \dots, K-1\}$ において、各画像の同座標値の画素値を比較し、最も高いレベルのものをその座標値の合焦位置とする。

最後に、検出した画素の値をその位置での距離情報に置き換えることにより距離画像を得る。以上の手順を図5に示す。

3 実験結果

図6のような木製の円錐を、図7のように先端方向から直線上にカメラを1mm間隔で移動しながら20個所で撮影した。この時、レンズは焦点位置が変わっても像の変化の少ないテレセントリックレンズを使用し、照明にはカメラに取り付けたリング状の蛍光灯照明を用いた。取得画像と対応する頻度特徴検出画像を図8に示す。これらより合焦検出画像を作成し、距離画像を生成した結果を図9に示す。こ

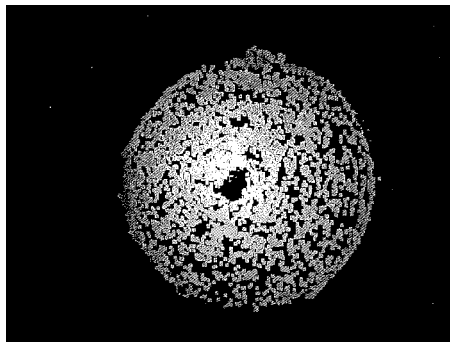


図9 距離画像

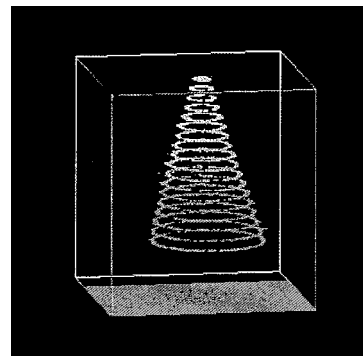


図10 図9の3次元表示

の図では、カメラに近い部分ほど明るく表示されており、黒い部分は距離情報が取得できなかった部分、即ちエッジ情報の無い部分である。また、この図を3次元表示した結果を図10に示す。円錐の形状がほぼ忠実に検出されていることがわかる。

4 まとめ

カラー画像において、焦点の合ったエッジが最も頻度が少ないという特徴を利用して合焦の評価を行なう手法と、その評価手法を用いて合焦点位置から3次元情報を取得する実験を行なった。

木製の円錐を撮影した結果、3次元形状をほぼ忠実に検出することができた。

提案した合焦評価手法は、色の頻度を利用するため照明環境の変化の影響を受け難く、従来の合焦評価法に比べて計算量が少ないという特長を有してい

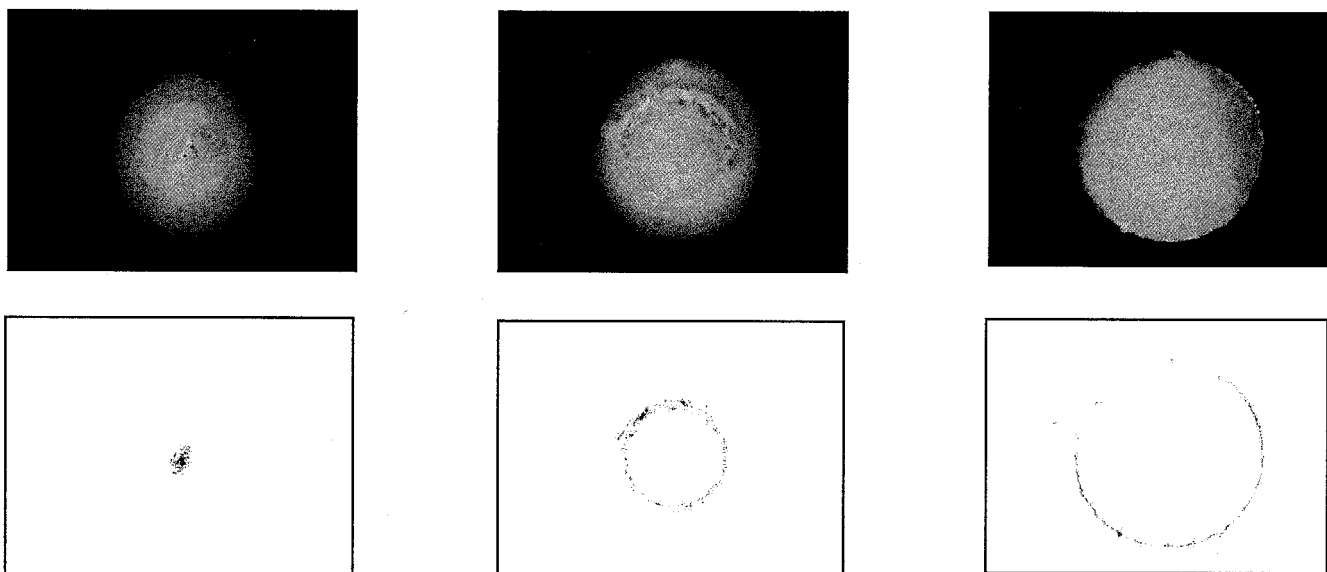


図8 円錐物体の異なる焦点位置での取得画像(上)とその少数領域検出結果(下)

る。

一方，本手法は，物体表面上のエッジのぼけ情報を利用しているため，エッジ情報の無い部分については3次元情報は得られない。また，物体表面に反射がある場合も，物体本来の色が隠されるため，検出は困難である。

実験で用いた3次元形状の取得方法は，接触式のプローブなどを必要とせず，1台のカメラで，非接触で3次元情報を取得可能である。その他の非接触式の3次元計測方法として，光切断法とステレオ法があるが，今回の方法は，光切断法で用いるようなレーザー光源が不必要であり，2台のカメラを用いるステレオ法のように対応点探索の必要もない。また，これらの2つの方法に比べて検出の分解能が高く，より細かな形状が取得可能である。

今後この技術は，ズームとフォーカス制御を用いた距離情報の取得や，任意の位置で領域を指定し，焦点を合わせることでできるオートフォーカスカメラなどへの応用が考えられるため，それらの可能性についても引き続き検討して行きたい。

謝 辞

本研究は，科学技術振興事業団（JST）の地域研究開発促進拠点支援事業（RSP）の「カラー画像を用いた3次元物体の特徴抽出に関する可能性試験」の一環として実施いたしました。研究の機会を与えていただいた科学技術振興事業団ならびに(財)とくしま産業振興機構に感謝の意を表します。

また，本研究の実験及びプログラミングに協力いただいた徳島大学大学院工学研究科の鈴木諭君に感謝致します。

参考文献

- 1) Eric Krotkov, " Focusing ", International Journal Computer Vision, 1, 223 - 237, pp.223 - 237 (1987)
- 2) R.A. Jarvis, " A perspective on range finding techniques for computer vision ", IEEE Trans., Vol. PAMI - 5, No 2, pp.122 - 139, Feb. 1983 .
- 3) 柏木利幸, 大恵俊一郎, 寺田賢治, " カラー画像におけるエッジ部分の特徴とカラーヒストグラムを用いたエッジ検出法 " 電気学会論文誌C, Vol .120 - C, No 5, pp.715 - 723, May, 2000

- 4) Toshiyuki Kashiwagi, Toshihito Egami, Shunichiro Oe and Kenji Terada: " Focused Edge Detection Using Color Histogram ", Proceedings of 2000 IEEE International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation, pp 830 - 835 Nagoya, October, 2000