

## テクスチャパターンを持った物体の形状再構成

1F-2

新本 浩一† 本多 庸悟†† 金子 俊一††

† ㈱コーセー 研究所, †† 東京農工大学工学部

## 1. はじめに

照度差ステレオ法<sup>(1)</sup>を用いて, テクスチャパターンを持った物体形状の再構成を行なう方法を述べる. 照度差ステレオ法では通常3光源が用いられるが, 対象物体自身のオクルージョンによって照明の当たらない領域が発生し対象物体全面について再構成を行なうことができなかった<sup>(2)</sup>. 本報告では, 新たな拘束条件を導入することで, 2光源および1光源によってのみ照明される領域でも勾配および反射係数を決定できることを示す. また, 実際にテクスチャを持った物体の再構成実験を行ない本手法の有効性を示す.

## 2. 法線ベクトルおよび反射係数の推定

## 2.1 3光源から照らされる領域での推定方法

各光源を添え字  $i$  ( $i=1,2,3$ ), 視線方向の単位ベクトルを  $v(v_x, v_y, v_z)$ , 単位法線ベクトルを  $n(n_x, n_y, n_z)$ , 光源方向単位ベクトルを  $s(s_{xi}, s_{yi}, s_{zi})$ , 反射係数を  $\rho$  とすると, 任意の画素に対応する輝度値  $E_i$  ( $i=1,2,3$ )は(1)式により表わされる.

$$E_i = \rho \mathbf{n} \cdot \mathbf{s}_i \quad (i=1,2,3) \quad (1)$$

また, 3つの任意のスカラー  $u, v, w$  を用いると法線ベクトルは(2)式で表わされる.

$$\mathbf{n} = u(\mathbf{s}_1 \times \mathbf{s}_2) + v(\mathbf{s}_2 \times \mathbf{s}_3) + w(\mathbf{s}_3 \times \mathbf{s}_1) \quad (2)$$

(2)式は解けて, (3)式が得られる<sup>(3)</sup>.

$$\rho \mathbf{n} = \frac{(\mathbf{s}_1 \times \mathbf{s}_2)(\mathbf{s}_2 \times \mathbf{s}_3)(\mathbf{s}_3 \times \mathbf{s}_1) \cdot \mathbf{E}}{[\mathbf{s}_1 \mathbf{s}_2 \mathbf{s}_3]} \quad (3)$$

## 2.2 2光源によって照らされる領域の再構成

光源3からの光が当たらないとき, 法線ベクトルは3つの任意のスカラー  $u, v, w$  を用いると次式により表わされる.

$$\mathbf{n} = u\mathbf{s}_1 + v\mathbf{s}_2 + w(\mathbf{s}_1 \times \mathbf{s}_2) \quad (4)$$

(1), (4)式から法線ベクトルと反射係数の関係式が得られる.

A Method for Reconstruction of an Object with Texture Pattern.

† Koichi SHINMOTO

Research Lab., KOSE Corp.

†† Tsunenori HONDA and Shun'ichi KANEKO

Dep. of Comp. Sci., Tokyo Univ. of Agri. and Tech.

$$\rho \mathbf{n} = \frac{E_1 - E_2(\mathbf{s}_1 \cdot \mathbf{s}_2)}{|\mathbf{s}_1 \times \mathbf{s}_2|^2} \mathbf{s}_1 + \frac{E_2 - E_1(\mathbf{s}_1 \cdot \mathbf{s}_2)}{|\mathbf{s}_1 \times \mathbf{s}_2|^2} \mathbf{s}_2 \pm \frac{\sqrt{|\mathbf{s}_1 \times \mathbf{s}_2|^2 - |E_2 \mathbf{s}_1 - E_1 \mathbf{s}_2|^2}}{|\mathbf{s}_1 \times \mathbf{s}_2|^2} (\mathbf{s}_1 \times \mathbf{s}_2) \quad (5)$$

(5)式の解は一意に定まらない. そこで他の拘束条件を導入する.

2.3 表面自由エネルギーを用いた拘束条件の導入<sup>(4)</sup>

拘束条件として薄膜の表面自由エネルギーの近似式を用いる.

$$U = \iint |\nabla^2 \mathbf{n}| dudv \quad (6)$$

オイラーの方程式を用い  $U$  最小化の条件で(7)式を解くと拘束条件として(7)式が得られる.

$$\nabla^2 \mathbf{n} = 0 \quad (7)$$

輝度と表面反射率の関係式が得られる.

$$\rho^2 \nabla^2 E_i - \rho E_i \nabla^2 \rho - 2\rho \nabla E_i + 2E_i \nabla \rho = 0 \quad (8)$$

ここで, (8)式は各光源において成立し,  $\rho \neq 0$  であることから表面反射係数の推定値は,

$$\rho = \frac{2(E_2 \nabla \cdot E_1 - E_1 \nabla \cdot E_2)}{E_2 \nabla^2 E_1 - E_1 \nabla^2 E_2} \quad (9)$$

ここで,  $E_i, \nabla E_i$  と  $\nabla^2 E_i$  の値は画像の輝度から計算可能である.

## 2.4 1光源によって照らされる領域の再構成

光源2, 3からの光が当たらない場合, 一意に法線ベクトルと反射係数を求めることはできないため領域内法線ベクトルの平均値をその代表値として用いる.

$$\mathbf{n} = \frac{((\mathbf{s}_2 \times \mathbf{s}_3) + (\mathbf{s}_2 \times \mathbf{v}) + (\mathbf{s}_3 \times \mathbf{v}))}{3} \quad (10)$$

このときの見掛けの反射係数は次式から求める.

$$\rho = \frac{3E_1}{|((\mathbf{s}_2 \times \mathbf{s}_3) + (\mathbf{s}_2 \times \mathbf{v}) + (\mathbf{s}_3 \times \mathbf{v}))|} \quad (11)$$

## 3. 奥行き再構成

推定された法線ベクトルを基にして奥行き再構成を行なう. 奥行きは対象画像のスキャンラインに沿って順次積分することによって得る. このとき背景領域は得られた反射係数の推定値によってセグメンテーションされ, 自動的に取り除かれる.



図1 対象画像

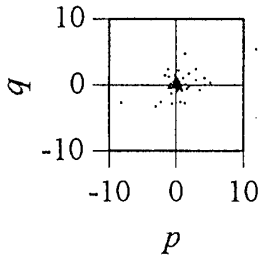


図2 推定された勾配値

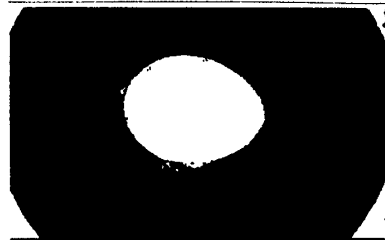


図3 セグメンテーションの結果

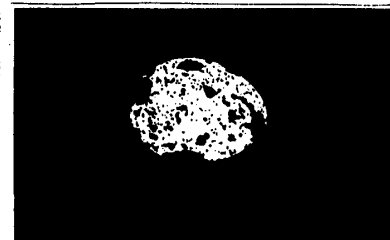


図4 反射係数の推定結果

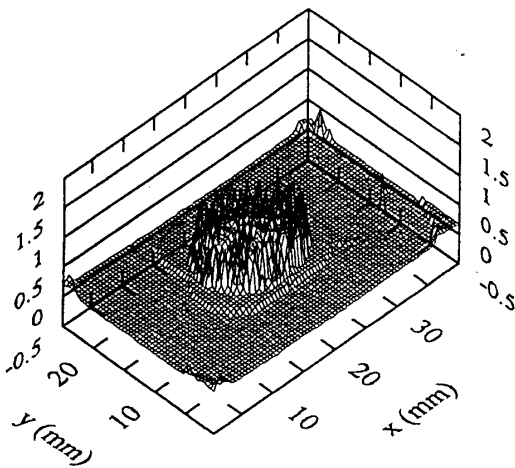


図5 反射係数の推定結果

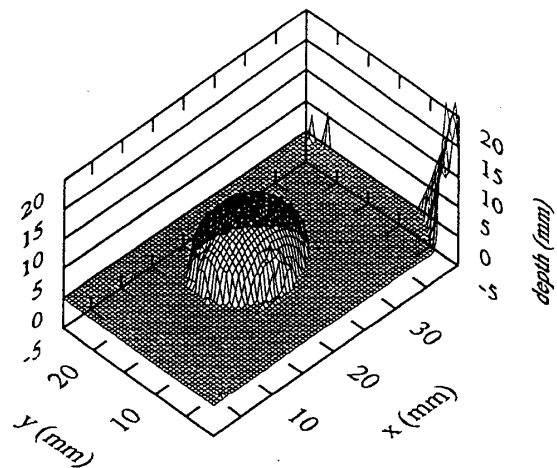


図6 推定された形状

#### 4. 実験および結果

マーブル様のグラデーションを持った対象物体の例としてうずら卵を用いて再構成の実験を行なった。実験に用いた画像を図1に、推定された勾配の値を図2に示す。また、図3に積分の過程で得られた反射係数によるセグメンテーションの結果、図4に推定された反射係数をグレースケールに変換したもの、図5に推定された反射係数の値を示す。表面反射係数は極めてきれいに推定されていることがわかる。図6に再構成された形状を示す。多少の歪みが生じているものの良好な結果が得られた。

#### 5. まとめ

照度差ステレオ法を用いて、テクスチャパターンを持った物体形状の再構成を行なう方法を示すと

もに、実際に実験を行ない良好な結果を得た。本手法での再構成の精度は画像輝度値に比例するため、テクスチャ部分でのダイナミックレンジの不足をどう補うかが今後の課題である。

#### 文献

- (1) R.J.Woodham : "Photometric method for determining surface orientation from multiple images", *Optical Engineering*, 19, 139 (1980).
- (2) B.Kim, P.Burger : "Calculation of Surface Position and Orientation using the Photometric Stereo Method.", *IEEE Computer Society, Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (San Diego, California)*, 38 (1989).
- (3) B.K.P.Horn : "Robot Vision", The MIT Press (1986).
- (4) K.Shinmoto, S.Kaneko, T.Honda : "A Method for Determining 3-D Surface Orientation of Objects with Textures Based on Photometric Stereo.", *Proc. of 10th International Conference on Computer Aided Production Engineering (Palermo, Italy)*, 454 (1994).