

フォトメトリックステレオによる ユーザフレンドリな質感モデリング

ソフトウェアデザイン研究室

都 09-3002 風呂 環

1. はじめに

近年、インターネットは、携帯電話からも日常的に利用されるほど私たちの生活になくてはならないメディアになっている。しかも、文章だけでなく、画像などの視覚情報も重要なメディア情報である。例えば、ネットショップやブログなどのCGMがその代表である。CGMに載せられている画像や動画は、企業だけでなく個人からの発信も多いのが現状であるが、そのような画像から外観だけでなく、細部の微小な凹凸や質感まで映し出し、伝えることが重要であったり、有効な場合がある。

本研究では、フォトメトリックステレオ法を用いた凹凸や質感の取得方法に注目する。照明方向を変えて物体を撮影した複数の写真から対象表面の法線情報を取得し、バンプマッピングによるCG表示を行う。法線情報を取得する際に、照明変化がどの程度必要となるのかを自動的に検証し、必要となる光源の照らし方を逐次推定してユーザに提示することで、撮影の支援が可能となるユーザフレンドリなシステムを提案する。

2. 提案システム

本研究では、対象物と一緒に鏡面球を撮影し、そこから光源情報を入手し、フォトメトリックステレオ法により、法線情報を取得する方法を基本とする。

また、物体表面の法線分布を表示し、ユーザがうまく法線情報が求められていない場所を見つけて指摘すると、その法線情報の取得にどのような光源が必要なのかを推定し提示する仕組みを構築する。

2.1 バンプマッピング

物体の微小な凹凸を表現するCG手法としてバンプマッピングがある。物体表面の微細な形状を構成する代わりに、密な法線ベクトルに変化を与えることにより、凹凸があるかのように表現することができるCG技術である。

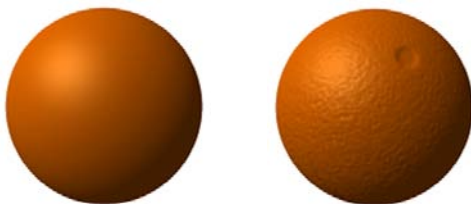


図1 バンプマッピングの例

2.2 フォトメトリックステレオ法

実物の質感や凹凸を表現するために必要な、表面の法線情報を実物から取得する手法として、本研究ではフォトメトリックステレオ法を用いる。カメラを固定し、光源の方向を変えて画像を取得する。画像における対応点の枚数分の明るさ、光源方向の情報に基づき、対象物体の表面法線分布の推定を行う。カメラを固定して撮影するため、視差が生じないという利点がある。そして、得られた画像から、明るさの情報 $E(x,y)$ と光源ベクトルの値から、ある表面での法線ベクトル (p,q) を求める。単位光源ベクトルを s 、表面法線ベクトルを n とすると、像の放射方程式より、

$$E = \rho s \cdot n \quad (1)$$

が得られる。これを単位法線ベクトルで表現すると、

$$E = \frac{1 + p p_s + q q_s}{\sqrt{1 + p^2 + q^2} \sqrt{1 + p_s^2 + q_s^2}} \rho \quad (2)$$

と書ける。この式は3つの未知数 p , q , ρ を含むので、方程式の解を求めるには、3枚以上の入力画像が必要である。

ここで n 枚の入力画像を与え、 p,q について整理すると、

$$\begin{pmatrix} (p_2 E_1 - p_1 E_2 X_2)(q_2 E_1 - q_1 E_2 X_2) \\ (p_3 E_1 - p_1 E_3 X_3)(q_3 E_1 - q_1 E_3 X_3) \\ (p_4 E_1 - p_1 E_4 X_4)(q_4 E_1 - q_1 E_4 X_4) \\ \vdots \\ (p_n E_1 - p_1 E_n X_n)(q_n E_1 - q_1 E_n X_n) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_2 X_2 - E_1 \\ E_3 X_3 - E_1 \\ E_4 X_4 - E_1 \\ \vdots \\ E_n X_n - E_1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

と書くことができ、以下のように置き換える。

$$Ax = b \quad (4)$$

$$A^T Ax = A^T b \quad (5)$$

として、最小二乗法により x について解く。同様にして各点について法線ベクトルを計算する。

2.3 光源ベクトルの推定

対象物と一緒に撮影した鏡面球を高さと幅が直径になるように切り取った。画像から、光源を反射している輝点の座標値と、その中心からの距離を求める。高さを $height$ 、幅を $width$ とし、求める光源の座標を (x, y) とすると、画像の中心からの距離は、

$$d = \sqrt{(x - width/2)^2 + (height/2 - y)^2} \quad (6)$$

で求められる。光源の座標は、カメラと鏡面球の位置関係より、

$$\phi = 2 \sin^{-1} \left(\frac{r}{R} \right) \quad (7)$$

x - y 平面の位置関係より、

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (8)$$

が求まる．ここで， (x,y,z) からの位置関係より，求める光源方向ベクトルは，次式で求められる．

$$\vec{s} = (\sin \varphi \cos \gamma, \sin \varphi \sin \gamma, \cos \varphi) \quad (9)$$

3.1 必要な光源方向の推定

(5)式左辺の係数行列に注目し，係数行列の行列式の値の絶対値が十分大きい時，法線情報は正しく求められていると考える．既に求められた法線分布において，法線が得られなかった場所に対して，その近傍で得られた法線の情報をもとに，次に追加するのに適切な光源方向を推定する．法線ベクトルの平均を (a,b,c) とする．また，すでに利用した光源方向の平均を (l_x, l_y, l_z) ，求める追加光源方向を (x,y,z) とする．光源方向と未計測法線とは主に直角をなすと仮定し，計測された法線の平均ベクトルに関して，光源方向と反対側に追加光源方向を求めるものとする．以下の(10),(11)式が成り立つ．

$$l_x \times x + l_y \times y + l_z \times z = 0 \quad (10)$$

$$(x, y, z) \times (a, b, c) = (a, b, c) \times (l_x, l_y, l_z) \quad (11)$$

(10), (11)式を連立させると，以下のように必要となる光源方向 (x, y, z) を求めることができる．

$$x = \frac{az - (cl_x - al_z)}{c}$$

$$y = \frac{bz + (bl_z - cl_y)}{c}$$

$$z = \frac{cl_x^2 - al_x l_z - bl_y l_z + cl_y^2}{al_x + bl_y + cl_z}$$

3. 実験

3.1 実験環境

暗室で光源を手で動かしながら，対象物体と鏡面球が収まるように配置し，複数枚撮影する．その中から5枚選択し，図2のように鏡面球のみを切り取った画像から，光源方向ベクトルを求めた．



図2 鏡面球

さらに，対象物体の画像を読み込み，明るさ E と光源方向ベクトルから法線ベクトルを求め，画像構築を行った．カメラ，対象物体，鏡面球，光源の位置関係は図3に示す．



図3 実験の位置関係

3.2 実験結果

まず，主にサンプルの右方向から照明を当てて撮影した5枚の画像を使用した．その5枚で，指定した点の 21×21 近傍で正しく求められている法線は，441個中323個であった．次に，この点において必要な光源方向ベクトルを求め，その光源設定で撮影した画像を1枚追加した．結果，求められた法線は，400個となった．よって，必要な光源方向ベクトルを推定し，その光源を追加することによって効率的に欠落していた法線情報を補填することができた．図4に， x,y,z 成分に r,g,b を割り当てて表示した法線分布と，各ポイントで必要となる光源方向の算出結果を示す．

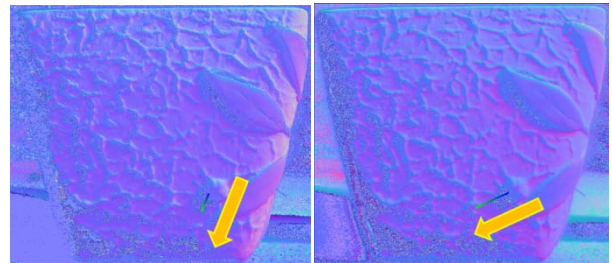


図4 追加撮影に必要な光源方向ベクトル

4. まとめ

本研究では，フォトメトリックステレオ法によって，法線分布として物体の凹凸や質感を取得する際に，各計測点で不足している照明の方向を推定する方法を提案した．推定された照明による計測を追加することにより，計測結果が向上することが確認できた．画像全体で大局的に効率のよい照明方向を与えられるような改善が今後の課題となる．

参考文献

- [1] 納多恵梨子：フォトメトリックステレオによる簡易質感モデリング，関西大学平成20年度特別研究
- [2] 水永雄介，大西洋，徳島尚生，原重臣，堂園臣，野口義夫：フォトメトリックステレオ法による物体形状の再構築，佐賀大学，2004年