

Vision Assisted Graphics の実験 — カラー画像の光源方向変更 —

田島 譲二

日本電気㈱C&C情報研究所

北野 昌秀*

日本電気技術情報システム開発㈱*

1. はじめに

景観やデザインのシミュレーション画像を複数の画像から自然に合成するには、複数の画像の光源方向を揃えることは重要な要素である。そのためには画像からコンピュータ・ビジョン(CV)の手法により立体復元を行ない、更にコンピュータ・グラフィックス(CG)によりレンダリングし直すことが必要である。この技法を Vision Assisted Graphics (VAG) と呼ぶことにする(図1)。VAGではCVで立体を完全に復元することができない部分を Human Interface (HI) で補う必要があるが、画像合成のためには復元は必ずしも正確でなくてもよいので、3Dモデリングを行なうよりはるかに少ないインタラクションで済むと考えられる。

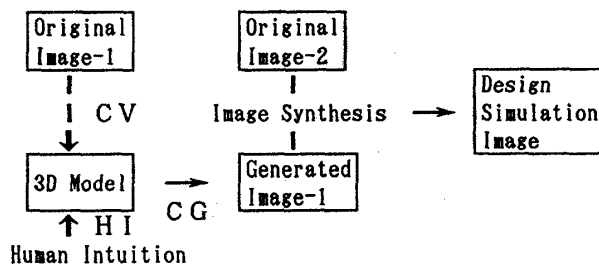


図1 Vision Assisted Graphics

2. Shape from Color による法線方向の復元

筆者らは、以前に Phong 型の反射モデルを利用した色変更アルゴリズムを開発した^[1]。今回、このモデルを法線方向の復元に利用する。まず^[1]と同様に式(1)により、三刺激値 $(R, G, B)^t$ を、物体色成分と光源色成分に分解する。各画素毎に成分 α と β が求まる。

$$\begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_o \\ G_o \\ B_o \end{pmatrix} \alpha + \begin{pmatrix} R_s \\ G_s \\ B_s \end{pmatrix} \beta \quad (1)$$

ここで、 $(R_o, G_o, B_o)^t$ は物体色の三刺激値、 $(R_s, G_s, B_s)^t$ は光源色の三刺激値である。

Phong のモデルによれば^[2]、

$$\begin{aligned} \alpha &= (1-d) S \cdot N + d \\ \beta &= (2 \cdot N_z (S \cdot N) - S_z)^n \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 S : 光源方向ベクトル

N : 表面の法線方向ベクトル

d, n : Phong のモデルの環境光、材質に関するパラメータ (但し z は視線方向)

と表わされるので、 N_z は

$$N_z = \frac{(1-d)(S_z + \sqrt{\beta})}{2(\alpha - d)} \quad (3)$$

と解け、 (N_x, N_y) は二次方程式の解として得ることができ

る。しかし、2つの根のどちらをとるかという不定性が残ること、入力プロセスにおけるノイズの影響などから、法線方向は正確には求まらない。人が、画像から立体形状を理解できるのは、表面の色のみでなく、(a) 物体形状に関する知識、(b) 輪郭形状の拘束、(c) 曲面の法線方向変化の緩やかさ、などを利用しているためと考えられる。

3. 信頼度を考慮した弛緩法

上述のように反射モデルを用いると、一応法線方向は求まるが、各画素についてその確かさは異なる。そのため、文献^[3]に倣い信頼度を導入し、物体画像について式(4)のように定義したエネルギーを最小化することにより法線方向を求める。

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sum R_1 (S \cdot N - \frac{\alpha - d}{1 - d})^2 \\ &+ \sum R_2 \{ N_z (S \cdot N) - \frac{S_z + \sqrt{\beta}}{2} \}^2 \\ &+ \sum \gamma (\sum_x (N - N_*)^2) \end{aligned} \quad (4)$$

第1項は拡散反射の項、第2項は鏡面反射の項の解とのずれを示している。第3項は周囲の画素の法線方向 N_* とのずれを示しており、変化の滑らかさの項である。エネルギーの第1項、第2項は解がモデルに合っている場合は小さくなる。

また、第3項は法線方向が滑らかに変化している場合は小さくなる。 R_1, R_2 は各項の信頼度であり、 α, β の値に比例して求めている。 γ は、それに対し、 α, β が不確かである場合に大きくなるように設定した重みであり、 γ が大きな画素では法線方向は平滑化される。

更に、物体形状に関する人の知識を利用し、対話的に法線が視線方向を向いている画素に法線方向を与えた。また、曲面体では輪郭部分では、法線は接線に垂直な方向を向いていると考えられるのでその方向を与えた。これらの方向は確実であるので、その画素では $R_1=R_2=1$ とした。そのため、方向は以下の弛緩法によっても更新されない。

エネルギー ε を最小化する法線方向の (N_x, N_y) を弛緩法により求める。解法はヤコビ法に倣っているが、式(4)は N_x, N_y について線形ではないので、便宜的な修正を加えている。

4. 実験

図2に、本手法の実験例を示す。図2(a)は原画像であり、右下から赤い球に光が当たっているシミュレーション画像である。これに対し上記の手法により法線方向を復元したのが図2(b)、更に Phong のモデルにより、光源方向を左上とした画像が図2(c)である。ほぼ正しい法線方向と自然な光源方向変更画像が得られていることが分かる。

図3に、本手法の適用限界を調べるため、いくつかの形状について法線方向復元の実験を行なった結果を示す。上がCGにより作成した原画像、下は上記の処理により法線

方向を求め、光源を同じ方向から当てた生成画像である。この2つは理想的には同じ画像になるべきものである。(a)はトーラス、(b)はメタボールで作成した曲面、(c)は直方体である。

当然のことであるが、式(4)の γ を大きくすると平滑化がつよく働くため、曲面体の場合は良い結果が得られ、多面体ではエッジがなまるため好ましくない結果が得られる。そのため、対象毎にパラメータを変えるのが適当であり、ここでは R_1, R_2 と γ の比をそれぞれ、ほぼ、1:25、1:100、1:4 とした。どの場合も完全ではないが、デザインシミュレーションの用途には十分な再現ができています。

5. むすび

自然画像に対し、CVとCG、更にHIを利用してシミュレーション画像を作成する技法として、Vision Assisted Graphics (VAG) を提案し、実際に画像内の光源方向の変更を試み、その可能性を示した。Shape from Color

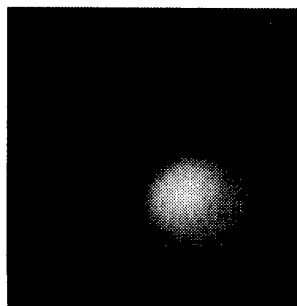
のアルゴリズムのみでは実用的なレベルで法線方向を復元するのは難しいが、輪郭情報や人からの直感的な教示によりこれが実用レベルに近づくことが分かった。

本報告で示した手法は対象が曲面であることを前提にしているため、元々直方体のような物体の復元は困難であるが、弛緩法のパラメータの調節である程度の成果が得られている。また、Phong のモデルのパラメータやノイズ量の変化についてもロバスト性があることが分かっている。

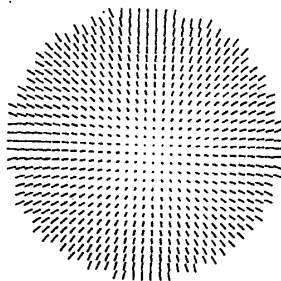
今のところ複雑な物体については適用は難しい。人とのインタラクションの高度化を含め、許容度を更に高めていくのが今後の課題である。

【文献】

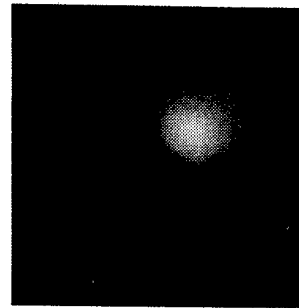
- [1] 田島、麦谷：情処研報 CV59-6, 1989
- [2] Phong B.T.: Comm. ACM, Vol. 18, No. 6, pp. 311-317, 1975
- [3] Ohta N.: IEICE Trans., Vol. E-74, No. 10, pp. 3379-3388, 1991



(a) 原画像

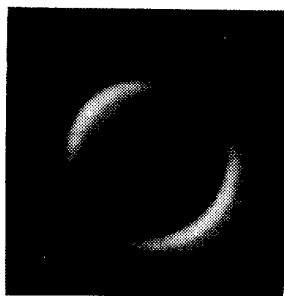


(b) 復元された法線方向

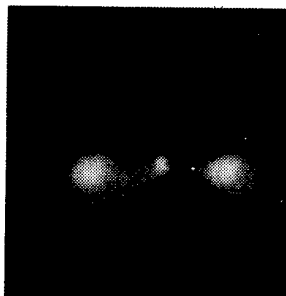


(c) 光源方向変更画像

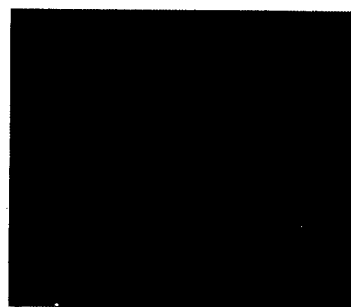
図2 球の光源方向変更



(a) トーラス



(b) メタボール



(c) 直方体

図3 種々の形状への適用