

## 輝度変化バンプモデルを用いた物体表面凹凸の計測

Measuring the roughness of real objects  
using brightness varying bump model佐々木 健太<sup>†</sup>, 馬場 雅志<sup>†</sup>, 椋木 雅之<sup>†</sup>, 浅田 尚紀<sup>†</sup>

Kenta Sasaki Masashi Baba Masayuki Mukunoki and Naoki Asada

## 1. はじめに

近年、コンピュータグラフィックス(CG)の分野では、実在する物体を忠実にモデル化する研究が多数行われている。そのひとつとして、数枚の撮影画像と物体の既知の3次元形状から、物体表面における反射特性を推定する手法が提案されている[1]。一方、実物体をCGにより再現する際に、考慮すべき点として物体表面の微細な凹凸の表現が挙げられる。この問題に対して、反射特性の推定結果を用いて、微細な凹凸を表現する法線の分布実写画像から推定する手法が提案されている[2]。しかし、反射モデルパラメータを推定する手法では、鏡面反射成分の高輝度な部分(ハイライト)の明るさや大きさを精度よく再現するのは困難であり、そのため物体表面の凹凸を適切に表現できないという問題がある。本稿では、実物体のハイライトや微細な凹凸を再現する手法として、輝度値を変動させることで微細な凹凸を表現する手法を提案する。

## 2. 物体表面での微細な凹凸の計測と表現

## 2.1 法線変化バンプモデルによる表面凹凸の計測

文献[2]では、実写画像から鏡面反射成分と拡散反射成分の分離を行い、鏡面反射成分画像から得られる輝度分布に対して、実データをモデル関数でフィッティングすることで鏡面反射成分の推定を行っている。実測値とそのモデル関数の推定曲線との角度差を求め、法線の分布を正規分布で近似している。法線を振らすことで物体表面凹凸の表現を行っている(図1)。しかし、鏡面反射モデル関数の推定曲線は、高輝度の部分を低く推定してしまい、ハイライトの明るさや広がりや正確に再現することは困難である。また、その推定結果に基づいて得られる角度差を用いて法線の振れ角のモデルパラメータを

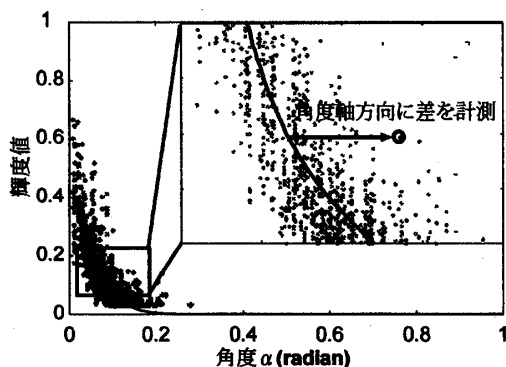


図1: モデル関数との角度差の計測

求めているため、表面の凹凸を適切に表現できていないという問題点がある。そこで、鏡面反射成分の実データから輝度方向の平均を求めることで鏡面反射成分特性を表現し、輝度方向の分散を求めて輝度値を変動させることで物体表面の凹凸を表現する輝度変化バンプモデルを提案する。

## 2.2 輝度変化バンプモデルによる表面凹凸の計測

物体の光源方向ベクトル・視線方向ベクトルのハーフベクトルと法線のなす角を $\alpha$ とする。鏡面反射成分の分布は、角度 $\alpha$ によって変化し、ばらつき方も異なっている。そこで、角度 $\alpha$ によっていくつかの領域に分割し、その分割区間毎に輝度値の平均・分散を求める。ここで、各分割区間の輝度値の平均・分散をそれぞれ $\mu_n, v_n (n=1,2,\dots)$ とする。また、一般に $\alpha$ が0の時に鏡面反射が最大となるため、 $\alpha$ が0の場合は平均値の代わりにデータ中の最大輝度値を使用する。計測して求めた $\mu_n, v_n$ は図2のように表現できる。図中の3本の線のうち、中央の黒い線は各分割区間の平均を、その線の上下にある赤色の線は平均から標準偏差分離れた位置を示している。

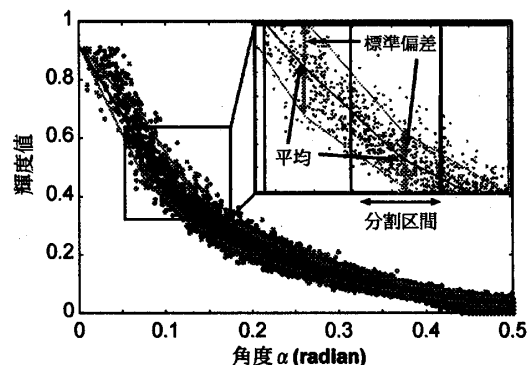


図2: 輝度方向の平均・分散の計測

分割区間ごとに平均・分散を求め、その間を線形補間すると、図2のように鏡面反射成分の角度による変化を直線で表現することになり、鏡面反射成分のなだらかな輝度低下を表現できない。また、分割区間を小さくすると区間内のデータ数が少なくなり計測結果が不安定になる。そこで、ある程度の幅をもった参照領域を設定して、参照領域を微小な間隔で移動させ、その領域の平均・分散を求める。求めた平均・分散をその領域の代表値として参照領域の中央部に設定することにより、輝度変化を表現する(図3)。

画像生成時には、ある画素に対して視点位置、物体の法線、光源方向から決まる $\alpha$ について、その近傍の測定データから線形補間により $\alpha$ での平均 $\mu_\alpha$ 、分散 $v_\alpha$ を求

<sup>†</sup>広島市立大学大学院 情報科学研究科 知能情報システム工学専攻

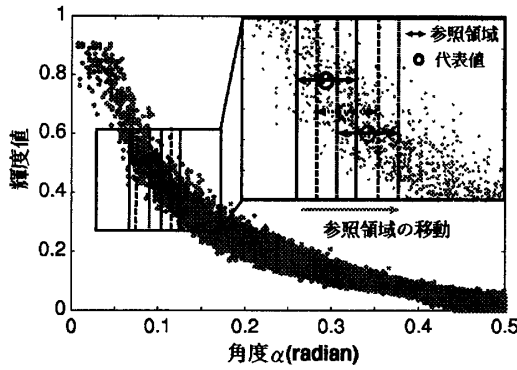


図 3: 参照領域の移動によるパラメータ計測

める。その平均  $\mu_\alpha$ 、分散  $v_\alpha$  に基づいた正規乱数による輝度の変化で物体表面の凹凸を表現する。

### 3. 実験と評価

図 4(a) に示す銀色のメタリック塗装の球体を入力画像として実験を行った。参照領域の幅を 0.03rad に設定し、0.001rad ずつ移動させ平均・分散の計測を行い、求まったモデルパラメータに基づき画像の生成を行った。図 4(b) に示す従来手法による画像では、物体表面の凹凸が目立った画像が生成されているのに対し、図 4(c) に示す提案手法による画像では、実写画像とほぼ同等の質感の画像が生成できている。次に、提案手法による実写画像に対するモデルパラメータの計測結果を図 5(a) に、生成画像の輝度分布を図 5(b) に示す。図 5(a) のグラフから、平均や標準偏差の値が大きく上下に振れることなく安定してパラメータが計測されている。また、図 5(b) の生成画像の輝度分布と実写画像の輝度分布を比較すると、実写画像と同等の輝度分布であることが確認できる。

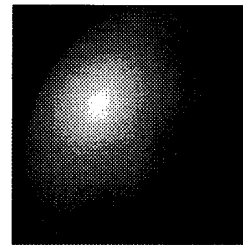
光源方向を変化させた場合のレンダリング画像を図 6 に示す。図 6 をみると、異なる撮影環境を仮定した場合も実際に光源方向を変化させた実写画像のような画像可能である。

### 4. おわりに

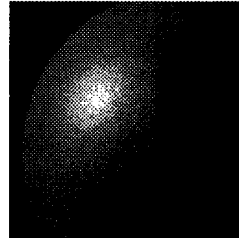
本稿では、実物体の表面凹凸をより適切に表現できるように、輝度の振れに注目した輝度変化バンプモデルを提案した。実写画像に提案手法を適用した結果、実写画像とほぼ同等の画像が得られることを確認した。

### 参考文献

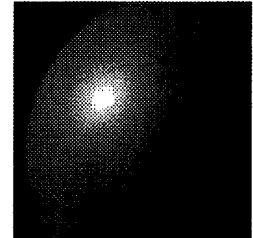
- [1] 西野 恒, 池内 克史, 張 正友, “疎な画像列からの光源状況と反射特性の推定”, 情報処理学会論文誌 CVIM, Vol.44, No.SIG5, pp.1-10, 2003.
- [2] 馬場 雅志, 岡本 崇弘, 椋木 雅之, 浅田 尚紀, “バンプモデルを用いた実物体の反射特性のモデル化とパラメータ推定”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2002) 論文集, Vol.II, pp.175-180, 2004.



(a) 実写画像

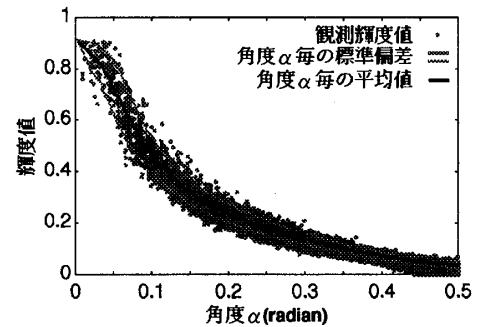


(b) 従来手法

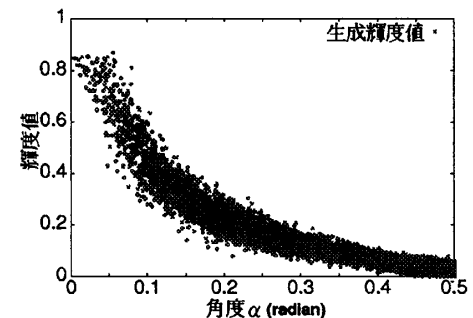


(c) 提案手法

図 4: 生成画像の比較



(a) モデルパラメータ計測結果



(b) 生成画像の輝度分布

図 5: 輝度分布の比較

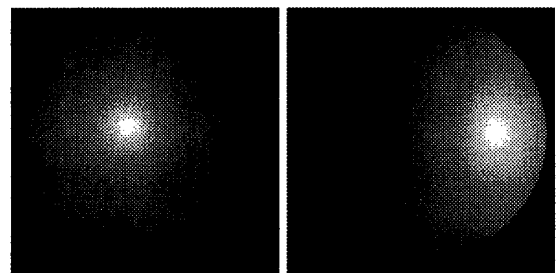


図 6: 光源方向を変化させた場合の生成画像