

# BTF に基づく高精細表面呈示システム

千藤 和也<sup>†</sup>      岩成 英一<sup>†</sup>      岡田 至弘<sup>†</sup>

<sup>†</sup>龍谷大学大学院 理工学研究科 電子情報学専攻

## 1 はじめに

実世界において人間は視覚や触覚を統合的に用いることで物体を認識している。従って、計算機上でリアリティのある物体を表現するにはこれらの感覚を、ユーザに対して統合的に感じさせることのできるシステムが必要であると考えた。

本研究では、傾斜ステージスキャナから得た高精細なテクスチャをもとに、ディスプレイと触覚デバイスを併用することで視覚情報と触覚情報を統合的に表現できるシステムを提案する。

## 2 Bidirectional Texture Functions

実世界の物体表面を表現するための一般的な手法として BTF が提案されている[1]。これは 6 次元の反射率要素で構成されている。

$$BTF(u, v, \phi_i, \theta_i, \phi_o, \theta_o)$$

つまり BTF は各テクスチャ座標  $(u, v)$  における照明の入射方向  $(\phi_i, \theta_i)$  と反射方向  $(\phi_o, \theta_o)$  の関係から成り立つ。つまり、BTF とは照明条件を変化させた環境下でそれぞれ異なった視点方向からキャプチャされた一連の画像のことである。

### 2.1 BTF計測

BTFを計測するため、傾斜ステージスキャナを独自に開発した[2]。これはレンズ部に1次元CCDセンサーを使用しており、従来のカメラによる手法と比べて非常に高精細なテクスチャを得ることが可能になった。

視点を常に対象物の真上に置き光源を対象物に  
“Fine surface production system based on BTF”. Kazuya Chito, Eiichi Iwanari, Yoshihiro Okada. Graduate School of Science and Technology, Ryukoku University

対して  $\phi_i$  は  $60^\circ$  おきに  $0^\circ \sim 300^\circ$  ,  $\theta_i$  は  $10^\circ$  おきに  $20^\circ \sim 80^\circ$  と  $45^\circ$  の計54パターンで計測し(図1)、得られた54枚のテクスチャからBTFを構成した。

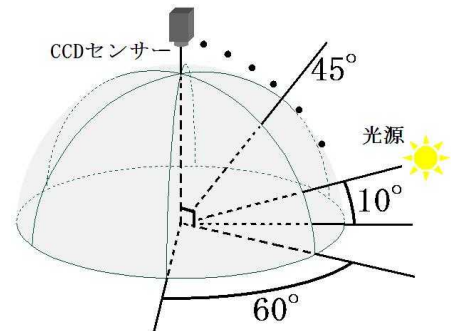


図1 BTFの計測パターン

### 2.2 BTFの圧縮

BTFにおいては、膨大なデータ量が問題となる。そのため、取得データに対して、何らかの圧縮処理が必要になる。そこで、本研究では圧縮手法としてMalzbenderらが提案した多項式関数による近似式[3]を使用する。

異なる方向から照明を照射したときのテクスチャと、それぞれのパワースペクトルを図2に示す。

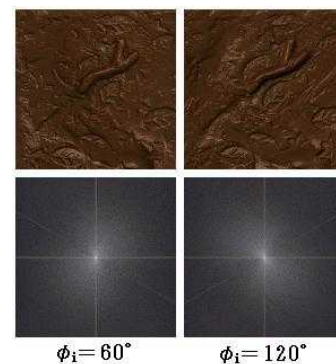


図2 異なる照明の入射方向下でのテクスチャとパワースペクトル  
光源の入射方向の変化により表面上の陰影が変化するため、スペクトルに差異が現れる。仮に、表面が平坦な拡散反射のみや色が変化していた場合にはこのようなスペクトルの変化は現れないため、光源の変化によって変化するのはテクスチャの輝

度のみであることがわかる。

ここで、各テクスチャのピクセル $(u, v)$ ごとに以下のように輝度と色度を分離して表す。

$$R(u, v) = L(u, v)R_n(u, v)$$

$$G(u, v) = L(u, v)G_n(u, v)$$

$$B(u, v) = L(u, v)B_n(u, v)$$

これにより、正規化された照明の入射ベクトル $(l_u, l_v)$ 、定数 $a_i (i = 0 \sim 5)$ を引数とした次の2次元多項式を用いてピクセルごとの輝度値 $L$ を近似することで、各テクスチャを圧縮する。

$$L(u, v; l_u, l_v) = a_0(u, v)l_u^2 + a_1(u, v)l_v^2 + a_2(u, v)l_u l_v + a_3(u, v)l_u + a_4(u, v)l_v + a_5(u, v)$$

### 3 3D形状の計測

3D形状は、レーザー計測などを用いて計測するのが一般的であるが、本研究では、2枚の傾斜スキャナー画像から擬似的に求めることにした。

始めに、光源位置の異なる2枚のテクスチャから差分画像を得る。この差分画像は、表面が平坦な部分は変化がなく、凹凸の部分は変化する。従って表面の凹凸情報を知ることができる。各ピクセルに対してHeight Field[4]を行い、輝度値を高さに変換することで表面の3D形状を得る。

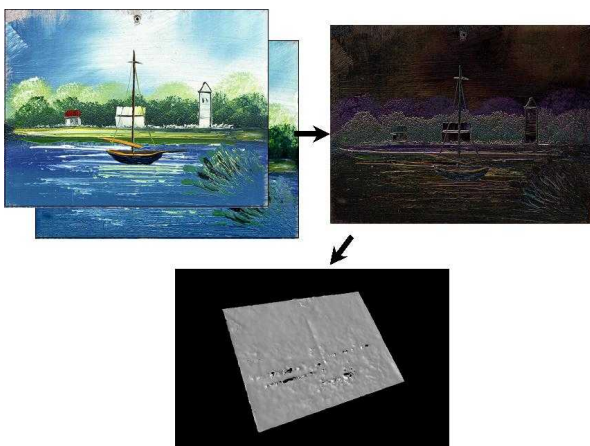


図3 2枚のテクスチャを利用した表面形状復元

### 4 統合呈示システム

BTFによるテクスチャ画像と3D形状を統合し、高精細なテクスチャを表示した上で、3D形状を触

ることのできるシステムを構築した。テクスチャは光源位置に合わせたものをリアルタイムでレンダリングさせ、光源位置は任意に変更可能である。ユーザは、機器の正面からハーフミラーに投影されたディスプレイ映像を見たうえで、ハーフミラーの後方に設置された触覚デバイスを使用し、3D形状モデルを触覚として認知する。このようにハーフミラーを使用することでディスプレイと触覚デバイスの空間的な位置合わせを実現している。

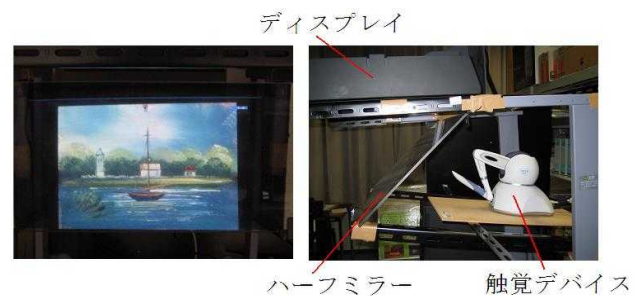


図4 高精細呈示システム

### 5 おわりに

従来とは異なり視覚情報と触覚情報を統合的に呈示することで、より実環境に即したリアリティのある物体表面の表現が可能となった。今後は、3D形状モデルの精度や、ディスプレイと触覚デバイスとの空間的な位置合わせなどを改善させていくことが考えられる。

### 参考文献

- [1] Dana. K. J, Van. G. B, Nayar. S. K, Koenderink. J. J: " Reflectance and texture of real-world surfaces " ACM Transaction on 18
- [2] 千藤 和也, 八木 貴司, 岡田 至弘: " 傾斜ステージ方式質感データ入力 " 電子情報通信学会総合大会講演論文集, pp.71, 2005
- [3] Tom Malzbender, Dan Gelb, Hans Walters: " Polynomial Texture Maps " SIGGRAPH 2001
- [4] Kristin Potter, David Johnson, Elaine Cohen: "Height Field Haptics" 12th System on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2004