

ポータブル光学異方性反射測定装置 と全天周画像撮影装置の開発

武田祐樹[†]
原次良^{††} 脇田航^{††} 坂口嘉之^{††} 田中弘美^{††}

これまで開発された光学異方性反射測定装置は対象物体の形状や大きさに制限があった。本研究では、対象物体の大きさや形状を制限しないポータブルな光学異方性反射測定装置を提案する。デジタルカメラの光軸を中心に、等角度にLED光源を設置した半円弧状のアームが180度回転するようにモーターとアームを組み立てる。アームを回転しながら多方向照明 High Dynamic Range(HDR)画像を撮影することができる。また、周辺環境画像を撮影するための全天周画像撮影装置を提案する。魚眼レンズを装着したデジタルカメラをターンテーブルで制御しながら撮影した画像から全天周画像を生成することができる。実験では、獲得した多方向照明 HDR 画像から異方性反射モデリングし、全天周画像を撮影した環境下で対象物の反射特性を再現したレンダリング結果を確認することができた。

Development of a Portable Anisotropic Reflectance Measurement System and Omni Directional Image Capture Machine

Yuki Takeda[†], Jiro Hara^{††}, Wataru Wakita^{††}
Yoshiyuki Sakaguchi^{††}, and Hiromi T. Tanaka^{††}

Some anisotropic reflectance measurement systems have been developed, but there are limitations of target's shape and size. In this paper, we propose the portable anisotropic reflectance measurement system that has no limit to target's shape and size. Our machine has the arm, of semi-circular arc with equally spaced 9 LED lights, which rotate around optical axis of a digital camera. We can acquire multi-illuminated High Dynamic Range (HDR) images by rotating arm and turning on the lights in order. We also proposed the novel omni directional image capture machine to acquire background image using Image based Lighting (IBL). The machine has a digital camera with fisheye lens on the controllable turntable. We show the result on the reflection simulation, under the background generated from the images acquired by our omni directional image capture machine, using the anisotropic reflection model generated from multi-illuminated HDR images acquired by our portable anisotropic reflectance measurement system.

1. はじめに

近年、カタログ用 CG 画像制作や製品プロモーション用 CG 映像制作において、実物を忠実に再現する CG 制作手法が求められている。しかし、実物を忠実に再現するモデルを制作するために、表面の反射特性を忠実に再現する反射モデルのパラメータを設定することは困難である。最近、実物の表面形状や表面上の反射特性を画像計測できる装置が開発され、計測画像から反射モデルのパラメータを自動的に抽出する手法が研究されている。

本論文では、まず、持ち運び可能で対象物を加工せずに撮影できるポータブル光学異方性反射測定装置を提案する。次に、周辺環境画像を自動的に撮影できる全天周画像撮影装置を提案する。実験では、両装置から取得した画像を用いて、カーペットの Bidirectional Texture Function(BTF)レンダリングをシミュレーションし、質感を再現できることを確認する。

2. 関連研究

これまで様々な反射特性測定装置が開発されている。坂口ら[7]は、分光測定器に対し対象物の回転を2自由度、対象物に対し照明方向を2自由度の計4自由度を持つ分光反射計測装置 S-OGM を開発した。田川ら[5]は機械的な駆動系を利用せず対象物に対し視方向と照明方向を4自由度持ち、9個の光源を利用した高速な反射特性計測システムを開発した。しかし、いずれの装置でも反射特性を計測するためには対象を切り取って装置に設置しなければならない。

Chabertら[1]は、人物に全方位から照明を当て多視点画像を撮影できる Light Stage 6 を開発し、任意照明下の人物を再現することを可能とした。猪瀬ら[2]は、カメラが1自由度、光源が2自由度、対象物を設置するターンテーブルが1自由度の計4自由度を持つ装置にプロジェクタを組み合わせた計測システムを開発し、アーム空間コード化法と位相シフト法を組み合わせた3次元形状計測手法と全方位の照明条件下で撮影された多視点画像から Lafortune モデルのパラメータを抽出する手法を提案した。しかし、いずれの測定装置も、装置の大きさが対象物の大きさに比例する設計であり、測定対象の大きさが制限される。

宮崎ら[3]は、Photometric Stereo 法に基づき3次元形状と反射特性を抽出した。しかし、異方性反射特性を抽出できていない。

一方、全天周画像撮影装置には、Point Grey 社の LadyBug や SpheronVR 社の

[†] 大日本印刷株式会社
Dai Nippon Printing Co., Ltd.
^{††} 立命館大学
Ritsumeikan University

SpheronCam HDR がある。LadyBug は全天周の動画を撮影できるが解像度が低い。SpheronCam HDR は高解像度の全天周画像を撮影できるが、非常に高価な上に必要な個所だけを撮り直すこともできない。

我々は、光源 2 自由度の持ち運び可能な光学異方性反射測定装置を開発する。対象物の大きさや形状に合わせて装置を移動しながら測定できるため、対象物を切り取る必要がなく、大きさにも制限がない。また、魚眼レンズを装着したデジタルカメラをターンテーブルで制御できる全天周画像撮影装置を開発する。市販品を組み合わせて製造するため製造コストが安価で、コンピュータ制御可能なターンテーブルでデジタルカメラを回転させながら高精細な画像を撮影できる。もちろん、必要な個所だけを撮り直すことも可能である。

3. 開発装置

3.1 ポータブル光学異方性反射測定装置

図 1 に示すように、ポータブル光学異方性反射測定装置は、デジタル一眼レフカメラ、三脚、照明固定用アーム、ステッピングモーター、アブソリュートエンコーダー、アーム回転制御ボード、カメラとアーム回転の制御用 PC で構成される。画像撮影用カメラには Nikon 社の D5100 を使用し、三脚に固定している。アームは 1/4 円弧状のアルミ角材で、円弧の中心に対し 10 度毎に LED 光源を設置している。ステッピングモーターをカメラの後ろに設置し、モーターとアブソリュートエンコーダーの回転を歯車で同期し、エンコーダーの中心軸と一致するカメラの光軸を中心にアームの回転を 180 度の範囲で制御できる。回転制御ボードと PC を USB 接続し、PC からコマンドを送ることでアームの回転角度や LED の発光を制御できる。

アームの回転は、ステッピングモーターの 360 度の回転を 0 から 255 の値で制御するため、約 1.4 度毎に回転が可能である。撮影範囲は、アームの円弧中心からアームまでの半径が 900mm のため、200mm×200mm×200mm 程度以内を想定している。この範囲に収まらない対象物を撮影する場合、装置を移動しながら部分毎に撮影する。撮影画像は、PC からカメラの露出を制御して多重露光撮影画像を取得でき、ハイダイナミックレンジ画像生成に活用できる。



図 1 ポータブル光学異方性反射測定装置

3.2 全天周画像撮影装置

図 2 に示すように、全天周画像撮影装置は、デジタル一眼レフカメラ、魚眼レンズ、カメラ取り付けネジ、回転テーブル、ステッピングモーター、テーブル回転制御ボード、カメラとテーブル回転の制御用 PC、バッテリーで構成される。画像撮影用カメラには Nikon 社の D5100 を使用し、魚眼レンズ AF DX Fisheye-Nikkor 10.5mm f/2.8G を装着している。カメラは三脚用の取り付けネジで回転テーブルに固定し、カメラを任意の向きで固定できる。回転テーブルはステッピングモーターに取り付けたシャフトを中心に 360 度回転できる。ステッピングモーターは PIC と周辺回路からなる制御ボードに接続されている。また、制御ボードは PC と USB で接続され、PC からコマンドにより回転テーブルの回転角度を制御できる。アームの半径が 90cm と大きいので、回転動作時には加減速制御を行い、アームの振動を低減するようにしている。

回転テーブルの回転は、ステッピングモーターの 360 度の回転を 0 から 255 の値で制御するため、約 1.4 度毎に回転が可能である。魚眼レンズを装着したカメラの垂直角が 180 度未満の場合、カメラの角度を調節して水平回転一周の画像を多段階で撮影する。なお、カメラ真下の装置が写り込む箇所はパノラマ画像合成ソフトで削除し補間することができる。撮影画像は、ポータブル光学異方性反射測定装置と同様に PC からカメラの露出を制御して多重露光撮影画像を取得でき、ハイダイナミックレンジ画像生成に活用できる。またバッテリーを搭載しているため、撮影時に外部電源が不要で、装置単独で稼働できる。



図 2 全天周画像撮影装置

4. 実験

4.1 異方性反射特性の抽出

ポータブル光学異方性反射測定装置で対象物を撮影し、武田ら[6]の手法を用いて撮影画像を解析して反射特性を抽出した。図 3 に示すように、対象物は赤いカーペットとした。図 4 に示すように、実験環境は暗室内にカーペットとポータブル光学異方性反射測定装置を設置し、カーペットをアームの円弧中心とカメラの光軸の交差点を中心に、光軸に対し垂直に固定した。アームの回転は 10 度毎、画像解像度は 4928×3264 ピクセル、露光時間は 10, 5, 1.6, 1/8 秒に設定し、90 分間で計 684 枚の画像を獲得した。

武田ら[6]の方法に従い、以下の手順で獲得した画像から異方性反射特性を抽出した。

1. 多方向照明 HDR 画像合成
2. 固定視点下における BTF 獲得
3. 微視的幾何構造の三次元形状推定
4. 拡散反射率の推定
5. 異方性反射特性の抽出
6. 異方性 BTF 生成
7. 多重解像度 BTF 生成

図 5 に、抽出した BTF パラメータを示す。鏡面反射成分、拡散反射成分、微視的幾何構造の法線と接線を表現する BTF パラメータに基づき BTF レンダリングのシミュレーションを行う。



図 3 対象物

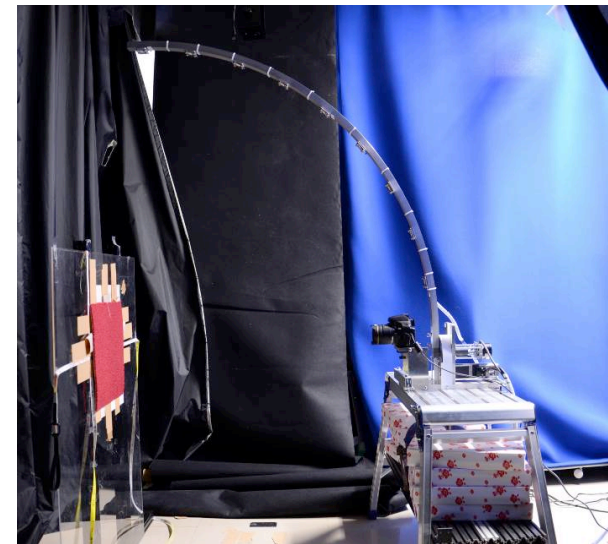


図 4 実験環境

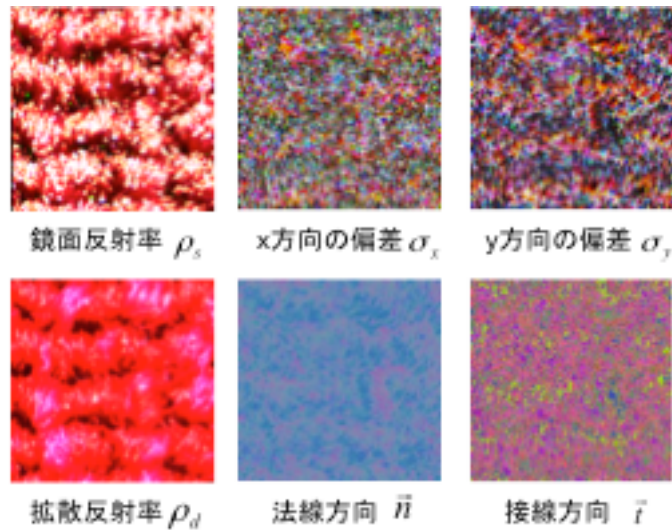


図 5 BTF パラメータ

4.2 全天周画像の生成

全天周画像撮影装置で屋内と屋外の撮影を行った。カメラを 30 度毎に回転、カメラの向きは地面に水平な角度から上に 15 度と 45 度の 2 段階に設定した。画像解像度は 2464×1632 ピクセル、露光時間は $1/1.6$, $1/8$, $1/50$, $1/400$, $1/640$, $1/1250$ 秒に設定し、9 分間で計 144 枚の画像を獲得した。

全天周画像を統合するため、パノラマ合成ソフトに Easypano 社の Panoweaver7.4 を使用した。全天周画像撮影装置で獲得した多重露光画像を Panoweaver7.4 に入力し、HDR 画像合成、パノラマ合成処理を実行後、画像解像度 8000×4000 ピクセルの全天周画像が出力された。入力から出力までの処理時間は 15 分であった。図 6(a), (b)に示すように、屋内と屋外で全天周画像を撮影した。



(a)屋内



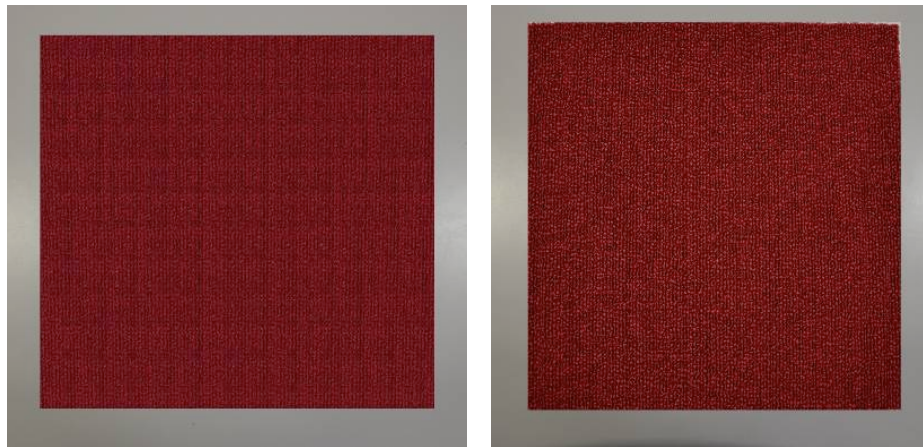
(b)屋外

図 6 全天周画像

4.3 シミュレーション

西脇ら[4]の手法を用いて BTF レンダリングを実現し、屋内の全天周画像の撮影環境下における反射シミュレーションを行った。シミュレーション実行環境は、CPU に Intel Core i7、GPU に GeForce GTX 285 を搭載した PC を使用している。ライブラリは OpenGL と Cg(C for Graphics)を使用した。

図 7(a), (b)に屋内環境下でのカーペットのシミュレーション結果と実物の撮影画像を示す。実物に似た質感を表現する赤いカーペットのシミュレーション結果を得ることができた。



(a) シミュレーション結果 (b) 実物

図 7 シミュレーション結果と実物の比較

5. おわりに

本論文では、まず、持ち運び可能で対象物を加工せずに撮影できるポータブル光学異方性反射測定装置を提案した。次に、周辺環境画像を自動的に撮影できる全天周画像撮影装置を提案した。実験では、両装置から取得した画像を用いて、カーペットの Bidirectional Texture Function(BTF)レンダリングをシミュレーションし、質感を再現できることを確認した。

ただし、ポータブル光学異方性反射測定装置には、撮影中にアームの回転によって装置の重心が移動し、カメラが僅かだが傾く問題がある。三脚を強化すれば解決できるが、それではポータブル性が確保できなくなるため、アームの回転角度毎に画像中の物体を移動、回転し、撮影画像間の対象物の位置を補正する予定である。また、アームの回転角度、露光時間の設定の違いによる品質の評価を行う必要がある。

今後、3次元形状取得手法をポータブル光学異方性反射測定装置に組み込み、対象物の3次元形状と反射特性を同時に測定できるシステムを開発する。

参考文献

1) Chabert, C., Einarsson, P., Jones, A., Lamond, B., Ma, A., Sylwan, S., Hawkins, T., and Debevec, P.: Relighting human locomotion with flowed reflectance fields, ACM SIGGRAPH 2006 Sketches, p.76 (2006).

2) 猪瀬 健二, 福田 悠人, 川崎 洋, 古川 亮: 3次元物体の全周形状の高精度な計測および双方向反射特性の効率的獲得手法, 第12回 画像の認識・理解シンポジウム論文集(MIRU2009 論文集), pp.1202-1207 (2009).

3) Miyazaki, D., Ikeuchi, K., "Photometric stereo using graph cut and M-estimation for a virtual tumulus in the presence of highlights and shadows," Proc. Workshop on Applications of Computer Vision in Archaeology, pp.70-77 (2010).

4) 西脇靖洋, 坂口嘉之, 田中弘美: 動的照明による織物の異方性反射レンダリング, 信学技報, vol. 110, No. 382, MVE2010-102, pp. 223-228 (2011).

5) 田川聖一, 向川康博, 八木康史: 複数光源の同時照明による BRDF の高速計測, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J92-D No.8, pp.1393-1402 (2009).

6) 武田祐樹, 田中弘美: 多方向照明 HDR 画像を用いた金襴の多重解像度異方性 BTF モデリング, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J91-D, No. 12, pp.2729-2738 (2008).

7) 坂口嘉之, 今尾公二: 分光反射計測と CG, 計測自動制御学会誌「計測と制御」, Vol.47, No.1, pp.52-56 (2008).