

令和元年5月22日現在

機関番号：25403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H02727

研究課題名(和文)メゾスケール構造を有する物体表面の高精度モデリングおよび再現

研究課題名(英文)Precise Modeling and Rendering of the surface of objects with mesoscopic structure

研究代表者

日浦 慎作 (Hiura, Shinsaku)

広島市立大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40314405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,970,000円

研究成果の概要(和文)：複雑な反射特性を有する物体の形状と反射特性を効率よくモデル化・レンダリングする手法を開発した。見えの計測と圧縮については、負値を取り扱う必要がないNMF(非負値行列因子分解)を用いることで、レンダリングの高速化にも寄与することを示した。また形状の計測については、照明の方位が不明でも陰影変化から物体の形状を求めることができる未校正照度差ステレオ法に関する研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

皮革や織物など微細な凹凸とテクスチャを有する実物体の反射特性や形状を計測し、それを任意の形状・視点・光源環境に適用したCGを生成することは従来困難であったが、これを実現する手法を開発した。この技術は、自動車内装や服飾等の分野における品質管理、電子商取引(ネット販売)、試作レス化など、日本独自の高度なものづくりにおける高付加価値化と製造拠点の国際化による低コスト化を両立させるために必須の技術である。

研究成果の概要(英文)：We developed the methods to model and render the shape and reflection of objects with complex reflection property. For the measurement and compression of the appearance of an object, we used NMF (Non-negative Matrix Factorization) which does not need to handle negative values, and confirmed that our method contributes to accelerate rendering with high quality. For the measurement of the 3D shape of objects, we did a research on uncalibrated photometric stereo method which can estimate the shape of objects with unknown illumination conditions.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：双方向テクスチャ関数 照度差ステレオ法 非負値行列因子分解

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

新興国の工業技術水準の向上に伴い、日本のものづくりには伝統工芸が培ってきた繊細な感覚やセンスを活かした、いわば感性的価値に立脚したさらなる高付加価値が求められている。一方で製造拠点の海外移転や資材調達が多様化によるコストダウンも同時に求められており、これらを両立するために、いかにして感性的価値の創造と品質管理を行うのが共通の課題となっている。しかし、例えば自動車ではエンジン出力や燃費など数値で表しやすい要素に対し、内外装の質感のような要素は、その良し悪しを数値化することはおろか、それを記録・再現する手法も確立しているとは言いがたく、依然として現物合わせや職人の勘に依存しがちである。

学術的な観点では、樹脂成形品や塗装面のような均質な素材については、BRDF(双方向反射率分布関数)の計測に基づくCG生成により実写に遜色ない表現が可能となりつつある。しかし皮革や織物など、複雑な反射特性と凹凸を有する素材については、その質感がより問題とされることが多いにも関わらず、決定的な記録・再現手法は存在しない。BRDFの拡張であるBTF(双方向テクスチャ関数)は、そのデータ量の大きさが問題となるだけでなく、物体の凹凸を陽に含まない表現であるため、表面を浅い角度から見た時の凹凸感の表現に問題があることが知られている。このような物体の精確なモデリングとCG再現を行うためには、そのメソスケール構造の「幾何学的形状」と「反射特性」の計測・解析に踏み込むことが必要であるが、同一の物体においてこれら両者を統合的に表現することを可能とする計測・解析技術はまだ確立されていない。

2. 研究の目的

樹脂や塗装表面など均質な物体は、その反射特性を計測しCGモデルに適用することで本物そっくりのCGを生成することが出来る。それに対し、皮革や織物など微細な凹凸とテクスチャを有する実物体の反射特性を計測し、それを任意の形状・視点・光源環境に適用したCGを生成することは困難である。本研究では研究組織構成員が有する表面反射解析・形状計測およびCG生成に関する知見を結集し、物体表面のメソスケール構造の幾何学的・測光学的特性を計測・分析し、ノンパラメトリックなレンダリング法と組み合わせることで、実物のありのままの質感をCG上で再現する手法の開発を行う。この技術は、自動車内装や服飾等の分野における試作レス化、日本独自の高度なものづくりと製造拠点の国際化を両立させる感性的品質管理等に寄与するものである。

3. 研究の方法

織物や皮革のように凹凸を有する物体の見えは視点・光源環境・凹凸の形状により様々に変化する。従来広く用いられてきたテクスチャマッピングは、その模様を写真に撮って物体表面に貼り付けただけの表現であるため、光源方位に依存して凸部が凹部へ影を落としたり、手前の凸部が奥の凸部を隠すような効果は再現できない。視点依存テクスチャは視点方位によりテクスチャを切り替える方法であり、それを光源方位の変化にも拡張したものがBTFであるが、これらは依然として平滑な面の上に写真を貼り付けただけの表現であるため、遮蔽輪郭の凹凸の表現が出来ない。そこで本研究では物体の凹凸と、表面各点の反射特性の双方を精確にモデリングする手法を開発する。

4. 研究成果

(1) レンダリング高速化のための非負値行列因子分解による双方向テクスチャ関数の圧縮

表面に複雑な構造を有する非均質な物体のレンダリングには、様々な照明方位・観測方位における物体の見えを記録した双方向テクスチャ関数(Bi-directional Texture Function, BTF)が有効である。しかしBTFの膨大なデータ量は計測時間・記憶容量およびレンダリング時間の全てにおいて問題となる。本研究成果では、粗なBTF計測データからの補間、圧縮、およびレンダリング速度の改善を非負値行列因子分解(Non-negative Matrix Factorization, NMF)を用いて実現する手法を開発した。非負値行列因子分解では分解後のデータが全て非負値となるため整数演算に最適化されたGPU(Graphics Processing Unit)との親和性が高く、従来手法に比べレンダリング速度が高速であることを実験により確認した。

非負値行列因子分解(Non-negative Matrix Factorization, NMF)は因子分解の一種であり、非負値のみを要素に持つもとのデータを並べた行列Wを、ともに非負値のみを各要素に持つ行列V、Hに分解する。このときVの列数がWの列数より十分小さければ、データWは圧縮されることになる。NMFは基底と係数のすべての要素が非負値であるから、最終的なレンダリング画像が各色8ビットの画像である場合、各要素を8ビット整数値型のデータとして格納・保存することができる。このことは特にGPU実装において大きな利点を有する。GPUにおいて、ポリゴン内を塗りつぶす描画処理(ビットマップ処理)には8ビット整数演算が多く用いられる。近年のGPUおよびグラフィックスAPIではテクスチャデータとして浮動小数点型を扱うこともできるが、依然として整数演算に比べ大きな速度低下がある。

基底ベクトルを非負値で扱うことには別の利点もある。単精度浮動小数点型(32ビット)に比べ、8ビット整数値型のデータはデータ量が単に1/4となる。一般にリアルタイム描画は8ビット画像により行われ、現在利用されているほとんどのディスプレイも8ビット表示にしか対応していないことから、テクスチャデータ、およびその演算処理が8ビット整数値型で行われることによる画質の低下はBTFの補間による誤差に比べ小さく、無視することができる。NMFは正規直交分解ではないため、基底数がPCAと同じであれば、再現されるデータの誤差はより大きい。しかし上記のようにPCAに比べより高速に処理ができるのであれば、その分だけ基底数を増やして処理することができる。また前述のようにデータ量は単精度浮動小数を用いる場合に比べ1/4で済むことから、基底数が4倍までであればテクスチャバッファ

等の記憶容量も小さくて済むという利点がある。

実験では実際に提案手法を3種類の GPU に実装し、レンダリング速度と精度の関係を比較した。比較にはピーク信号対雑音比(PSNR)を用いた。実験に用いた BTF データベースは BTFDBB UB2003 Datasets で、1つの素材に対し視点数 81, 光源方位 81 の組み合わせである 6,561 枚の画像が格納されている。このデータベースでは6種類の素材が計測されており、本実験ではこれらをすべて用いて画質の評価を行った。実測したレンダリング速度と PSNR の関係を図 1 に示す。NMF と PCA を比較したとき、規底数が同じであれば PCA のほうが高画質であるがレンダリング時間が長くなるため、レンダリング時間と PSNR の関係で評価した場合、NMF のほうが同一時間内でより高画質なレンダリングが可能であることがわかる。

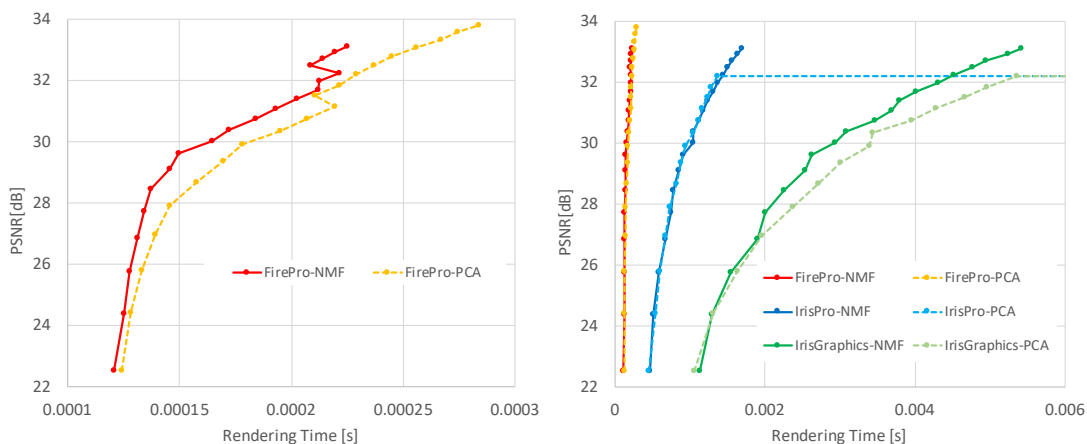


図1 レンダリング時間と画質の関係(左:HighSpec GPU, 右:Middle/Low Spec GPU)

(2) 遮蔽境界の法線と平均画像を前処理に用いた未校正照度差ステレオ法

未校正照度差ステレオ法は光源方向を与える代わりになんらかの制約条件によって表面情報を取得する方法である。物体表面が複数の反射率を有している場合は領域ごとに処理を行うか、反射率に関する事前知識や仮定による制約条件を取り入れる必要がある。そこで本研究成果では入力平均画像を用いて単色物体として処理を行うことにより多色物体に対応した未校正照度差ステレオ法を提案した。また、法線に対する制約条件として遮蔽境界を基にした形状の概形を使用した。

物体の見かけは照明方位により変化する。その効果を抑制するため、すべての入力画像の平均を求め、その画像に対しバイラテラルフィルタを適用することで推定アルベドの初期値を得る。また、GBR 不定性を解決するために物体の遮蔽輪郭の法線を用いる。遮蔽境界は画像から物体を観測できるところと観測できないところの境界線である。物体の形状はなめらかで閉じていると仮定し、遮蔽境界の法線をガウシアンフィルタにより内部に伝搬しガイド法線とする。

図2に実験結果を示す。多色に塗り分けられた計測対象を多様な方位から照明し、得られた画像の平均から推定したアルベド(c)は塗り分けに応じた輝度が求められており、また、ガイド法線(d)も遮蔽輪郭の周辺では真値(g)に類似した法線が得られている。求められた法線マップ(f)とそれをもとにした復元形状(i)は真値に比べ平坦な形状となっているが、大きな歪は見られない。今後ガイド法線の評価方法を見直すことでより正確な形状が得られると考えられる。

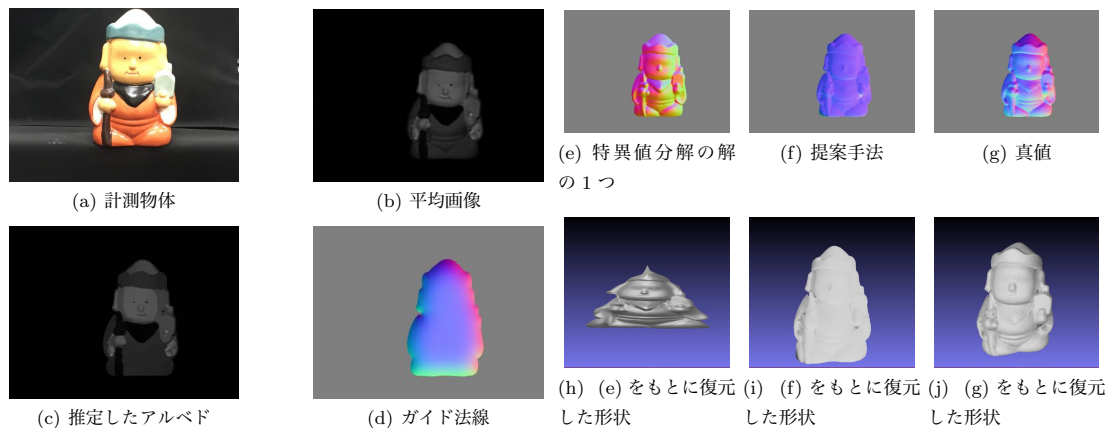


図2 実物体の形状計測の実験結果

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 3 件)

1. Daisuke Miyazaki, Takuya Shigetomi, Masashi Baba, Ryo Furukawa, Shinsaku Hiura and Naoki Asada, Surface normal estimation of black specular objects from multiview polarization images, SPIE Optical Engineering, Vol. 56, No. 4, pp. 041303-1 – 041303-17, 2016.
2. Daisuke Miyazaki, Mia Nakamura, Masashi Baba, Ryo Furukawa and Shinsaku Hiura, Optimization of Illumination for Generating Metamerism, Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 60, No. 6, pp. 60502-1 – 60502-15, 2016.
3. 河本悠, 日浦慎作, 宮崎大輔, 古川亮, 馬場 雅志, 認識対象に適した符号化開口形状の設計と評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 2, pp. 783-793, 2016.

[学会発表](計 9 件)

1. Shuhei Hashimoto, Daisuke Miyazaki, Shinsaku HIURA, Uncalibrated photometric stereo constrained by intrinsic reflectance image and shape from silhouette, The 16th International Conference on Machine Vision Applications (MVA2019), to appear. (Oral)
2. 橋本修平, 宮崎大輔, 河本悠, 日浦慎作, 遮蔽境界の法線と平均画像を前処理に用いた未校正照度差ステレオ法, MIRU2018 画像の認識・理解シンポジウム
3. 宮崎 大輔, 川崎 拓, 河本 悠, 日浦 慎作, 偏光とエントロピー最小化による未校正照度差ステレオ法の検討, MIRU2017 画像の認識・理解シンポジウム
4. 宮崎 大輔, 石黒 健司, 河本 悠, 日浦 慎作, ジョイントバイラテラルフィルタを用いた多波長カラー照度差ステレオ法, 情報処理学会研究報告, Vol.2017-CVIM-207, No.40, pp. 1-8, 2017.
5. 水本憲志, 宮崎大輔, 古川亮, 馬場雅志, 日浦慎作, NMF による BTF データベースの圧縮・補完と GPGPU による IBR の高速化, 情報処理学会研究報告, Vol.2014-CVIM-204, No.14, 2017.
6. 津田 香林, 宮崎 大輔, 古川 亮, 日浦 慎作, マルチバンドカメラを用いたワンショット照度差ステレオ法, MIRU2016 画像の認識・理解シンポジウム
7. 宮崎 大輔, 松原 充駿, 馬場 雅志, 古川 亮, 日浦 慎作, 既知形状物体の陰影を利用したカメラ応答関数の推定, MIRU2015 画像の認識・理解シンポジウム
8. 宮崎 大輔, 中村 美亜, 馬場 雅志, 古川 亮, 日浦 慎作, メタメリズム生起のための LED 照明の最適化, MIRU2015 画像の認識・理解シンポジウム
9. Kenshi MIZIMOTO, Shinsaku HIURA, Daisuke MIYAZAKI, Ryo FURUKAWA, Masashi BABA, Compression and Interpolation of BTF Database using Non-negative Matrix Factorization, MIRU2015 画像の認識・理解シンポジウム

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.eng.u-hyogo.ac.jp/faculty/hiura/index.html>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名:宮崎 大輔

ローマ字氏名:(MIYAZAKI, daisuke)

所属研究機関名:広島市立大学

部局名:大学院情報科学研究科

職名:准教授

研究者番号(8桁):30532957

研究分担者氏名:古川 亮
ローマ字氏名:(FURUKAWA, ryo)
所属研究機関名:広島市立大学
部局名:大学院情報科学研究科
職名:准教授
研究者番号(8桁):50295838

研究分担者氏名:馬場 雅志
ローマ字氏名:(BABA, masashi)
所属研究機関名:広島市立大学
部局名:大学院情報科学研究科
職名:講師
研究者番号(8桁):30281281

(2)研究協力者
研究協力者氏名:水本 憲志
ローマ字氏名:(MIZUMOTO, kenshi)

研究協力者氏名:橋本 修平
ローマ字氏名:(HASHIMOTO, shuhei)

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。