

平成 30 年 5 月 25 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K00239

研究課題名(和文) 反射モデルを用いない反射特性推定に関する研究

研究課題名(英文) Estimating Reflectance Properties Based on Semi-Parametric Model

研究代表者

原 健二 (Hara, Kenji)

九州大学・芸術工学研究院・准教授

研究者番号：50380712

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：現実物体の表面反射率との適合性が最も高い異方性反射モデルのひとつをセミパラメトリックに拡張し、不完全BRDFデータからBRDF再構成を行う手法を開発した。まず異方性反射モデルに現れる微小面法線方向分布の確率密度関数を2つの制約付き混合ガウス分布関数の積の形で近似する。次にBRDFデータの観測分布とモデル分布の間の擬距離に基づき、異方性反射モデルのパラメータ推定を最大事後確率推定として定式化する。最後にEMアルゴリズムを用いて擬距離を最小化することによりBRDF再構成を行う。再構成されたBRDFを用いて欠測のあるBRDFデータのままでほぼほぼ困難な可視面全体の見えの生成が可能となった。

研究成果の概要(英文)：We developed a new method for reconstructing real-world BRDFs from BRDF data, which are raw data captured by exhaustively tabulating reflectance from many sampled incident and reflected directions. More specifically, we derive a low-dimensional semi-parametric model to perform interpolation directly in the parameter space to the missing reflectance data. The approach employed in this study is as follows. The microfacet distribution in an anisotropic reflectance model is first approximated as a product of two constrained mixtures of Gaussian distribution functions. Then, this approximation leads fitting low-dimensional parametric models to the acquired reflectance data to provide a maximum a posteriori (MAP) estimation. Finally, unknown set of model parameters is determined by minimizing Kullback-Leibler distance between expected and observed probability density functions. The reconstructed BRDF is then used for completely rendering virtual objects from missing BRDF data.

研究分野：コンピュータビジョン・画像処理

キーワード：異方性BRDF 変数分離 最大事後確率推定

1. 研究開始当初の背景

現実世界に存在する物体の見えを現実感高く生成するため、その表面反射特性の正確な表現を得るための研究は、コンピュータグラフィクスやコンピュータビジョンの分野において重要な課題である。一般に物体表面の見えは双方向性反射率分布関数 (BRDF) を用いてモデル化される。現実世界の材質から BRDF を獲得するための手法が数多く提案されてきた。これらの手法の多くは数多くサンプリングされた入射方向と反射方向の組み合わせから反射率を網羅的に配列化することにより生の反射率データを BRDF データとして獲得する。これらの測定値によって張られる BRDF 空間の次元は膨大になるが、実在物体の BRDF の部分空間は比較的小さな次元数であることが知られている。この BRDF の部分空間は、材質設計のために実在物体の BRDF を補間または推定したり少数の BRDF データから欠損を補完するなどの応用が考えられる。

既存の BRDF データ再構成手法は、データ補間、データ次元圧縮、低次元パラメトリックモデルのデータ当てはめの 3 つのアプローチに大別される。BRDF データの補間はさらに線形補間と非線形補間に大別できる。線形補間はハイライトが観測される領域でアーチファクトが生じやすくなる。非線形補間手法ではこれらの問題は避けられるが BRDF を低次元パラメータで表現できない。また、補間重みが方向に依存して決まるため、reciprocity など物理的制約が満足できない恐れがある。

BRDF データの次元圧縮手法もいくつか提案されている。PCA などの線形な次元圧縮では、部分空間の次元数を十分小さくできず、非負性や reciprocity などの物理制約を満たすのも困難である。非線形な次元圧縮手法は、かなり低次元の多様体への写像が存在するが、局所的な関係を利用することが多く BRDF データが少数であったりノイズが大きい場合はうまくいかないことが多い。非線形な多様体解析を用いて等方性 BRDF データを次元圧縮する手法も提案されている。個々の BRDF を基底関数で近似する手法もいくつか提案されている。これらの次元圧縮アプローチでは、多様体上の任意の点が有効な BRDF 近似に対応していることが保証できないことが多い。

これらの問題を回避するアプローチのひとつは低次元のパラメトリックモデルを BRDF データに当てはめるもので、パラメータ空間内で直接補間を行うものである。このような解析モデルを特定することは自明ではないが、低次元のパラメータで表現することができる。しかし、パラメトリックモデルのデータ当てはめは、特に異方性反射モデルのようにモデルが複雑な場合、数値的に不安定になりやすい。

2. 研究の目的

異方性反射モデルにおける微小面方向分布の確率密度関数をそのままノンパラメトリックに推定していた従来の BRDF 再構成手法ではデータ欠損が考慮されていなかったり、BRDF を低次元パラメータで表現できないという問題に対し、データ欠測のある不完全 BRDF データから低次元のパラメータで BRDF 再構成を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

まず、現実物体の表面反射率との適合性が最も高い異方性反射モデルのひとつである Ashikhmin らのモデルを導入する。まず、表面法線方向を Z 軸方向とする直交座標系における微小面法線方向の単位ベクトルを極角と方位角に極座標変換し、微小面法線方向の確率密度関数を 2 変数の確率密度関数 (方向分布関数) に置き換え、方向分布関数が変数分離できると仮定する。各 1 変数関数を制約付き混合ガウス分布関数とする。このとき、非負制約と滑らかさ拘束が同時に満たされることになる。このように方向分布関数を制約付き混合ガウス分布関数の積として変数分離型関数としてモデル化することにより、以下の利点が得られる。

- ・少数のパラメータで方向分布関数の形状を精度よく表現できる。

- ・パラメータに事前分布を課すことが容易になるため、欠測を含む不完全な BRDF データへの対応が可能になる。

- ・最適化計算に EM アルゴリズムの適用が可能となり、Newton 法より安定性が高く、単純な勾配法より高速な最適化アルゴリズムが得られる。

次に、欠損や打ち切りを含む不完全な BRDF データからランバート拡散反射成分のパラメータ、及び鏡面反射成分の方向分布関数のパラメータ (方向分布パラメータ) を推定して異方性 BRDF を再構成する問題を扱う。まず、既存手法を用いて鏡面・拡散反射成分分離を行い、拡散反射成分からアルベドを推定する。ここでは、BRDF データが光源・視点方向を変えながら同一の物体表面点に対して計測されたものであることと鏡面反射のスパース性により、単純に BRDF データの中央値を拡散反射成分とする。方向分布関数を固定して観測方向分布を再計算する手続きと観測方向分布を固定して方向分布関数を再推定する手続きを交互に収束するまで繰り返す。以下では、この手続きの中で観測方向分布から方向分布関数のパラメータを推定する。まず、観測方向分布を 2 次元ガウス基底関数に分割して割り当てる分配関数を導入する。ここで、観測方向分布と方向分布関数の間の擬距離を標準偏差パラメータについて最小化する。この局所最適解は EM アルゴリズムの反復計算により得られる。

また、一般の BRDF データセットでは仰角が 0 に近い角度でデータの欠測が避けられな

い．予備実験により，我々が用いた BRDF データセットでは極角が一定以上の領域で観測方向分布に欠測が生じ，上記の最尤推定のままでは欠測領域がすべてゼロであるような不自然な再構成がなされてしまうことが確認された．そこで，観測方向分布の欠測部分を補完するため，事前分布としてディリクレ分布を導入する．上記のパラメータ推定アルゴリズムでは E ステップと M ステップを収束するまで交互に繰り返し実行する，どのパラメータの更新式も解析解として得られるので，準最適解への収束回数が少なく済み，学習係数の設定なども不要という利点がある．

4．研究成果

現実物体の表面反射率との適合性が最も高い異方性反射モデルのひとつである Ashikhmin らのモデルをセミパラメトリックに拡張して BRDF 再構成を行う手法を提案した．また，提案手法を公開されている BRDF データセットに適用することにより，本手法の有効性を確認した．Ashikhmin らのモデルにおける微小面方向分布の確率密度関数をそのままノンパラメトリックに推定していた従来の手法ではデータ欠損が考慮されていなかったり，BRDF を低次元パラメータで表現できなかつたりしていたのに対し，本手法はデータ欠測のある不完全 BRDF データから低次元のパラメータで BRDF 再構成を行うことが可能である．また，本手法により再構成された BRDF を用いることにより，欠測のある BRDF データのままでは困難であった仮想物体の可視面の全てをレンダリングすることが可能となった．

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 15 件)

岡崎，原，井上，浦瀆，陰陽格子法を用いた全天周顕著性マップ生成手法，電子情報通信学会論文誌，J101-A，2018，査読有．

K.Inoue, K.Hara, K.Urahama, RGB Color Cube-Based Histogram Specification for Hue-Preserving Color Image Enhancement, Journal of Imaging, Vol.3, No.3, 2017, 査読有．

K.Inoue, Zixu Zhang, K.Hara, K.Urahama, 三刺激値の 2 乗誤差最小化による分光反射率の推定, 映像情報メディア学会誌, Vol.71, No.9, J214-J217, 2017, 査読有

K.Inoue, K.Hara, K.Urahama, Spectral Reflectance Estimation and Color Reproduction Based on Sparse Neugebauer Model, Advances in Science, Technology and Engineering Systems

Journal, Vol.2, No.3, pp. 958-966, 2017, 査読有

于，原，浦瀆，明度保存カラー量子化による点描風モザイクアート，電子情報通信学会論文誌，Vol.J100-A, No.6, 2017, 査読有

原，井上，浦瀆，カラー事前分布を用いたノンローカルミーンデノイズングのパラメータ最適化，電子情報通信学会論文誌，J100-A, No.9, pp. 346-349, 2017, 査読有

原，井上，浦瀆，正則化回帰によるブラインド BM3D デノイズング, 電子情報通信学会論文誌，Vol.J100-D, No.9, pp. 866-869, 2017, 査読有

張子シュ，井上，原，浦瀆，Neugebauer モデルに基づくカラー画像の強調，映像情報メディア学会誌，Vol.71, No.4, J155-J158, 2017, 査読有．

原，井上，浦瀆，一般化ガウス事前モデルによるバイラテラルフィルタのパラメータ最適化，電子情報通信学会論文誌，Vol.J100-D, No.3, 2017, 査読有

K.Inoue, K.Hara, K.Urahama, Histogram Interpolation Methods for Image Contrast Enhancement, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, Vol.5, No.1, pp. 7-14, 2017, 査読有．

Hengjun Yu, K.Inoue, K.Hara, K.Urahama, Color Error Diffusion Based on Neugebauer Model, IEICE Transactions on Fund., Vol.E99-A, No.3, pp. 1758-1761, 2016, 査読有．

于，原，井上，浦瀆，重合格子法を用いた魚眼画像コーナー検出，電子情報通信学会論文誌，Vol.J99-D, No.8, 2016, 査読有．

井上，余，原，浦瀆，彩度を強調した多重露光画像の融合，映像情報メディア学会誌，Vol.70, No.8, J185-J187, 2016, 査読有．

K.Inoue, K.Hara, K.Urahama, Applying Color Schemes to Color Images with Unilateral Filter, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, Vol.4, No.3, pp. 118-121. 2017, 査読有．

森永, 原, 井上, 浦濱, 多重解像度ウェブレット解析による異種画像識別, 電子情報通信学会論文誌, J99-D, 2016, 査読有.

[学会発表](計 12 件)

原, 井上, 浦濱, 欠損データからの異方性BRDFのMAP再構成, 情報処理学会CGVI研究発表会, 山形, 2018.06, 査読無

An-shui Yu, K.Hara, K.Inoue, K.Urahama, Foreground Enlargement of Omnidirectional Images by Spherical Trigonometry, Proc. of ICPR, 2018.08, 査読有

An-shui Yu, K.Hara, K.Inoue, K.Urahama, Corner Detection in Fisheye Images by Modified Yin-Yang Grid, Proc. of IECON, 2017.10, 査読有

岡崎, 原, 井上, 浦濱, 重合格子を用いた全天周画像の顕著性マップ, 映像情報メディア学会年次大会, 東京, 2017.08, 査読無

田中, 原, 井上, 浦濱, 全方位画像からの最適構図画像生成, 映像情報メディア学会年次大会, 東京, 2017.08, 査読無

高田, 井上, 原, 浦濱, 光源の手動配置を用いた照度差ステレオ, Visual Computing/グラフィックスとCAD合同シンポジウム(VC/GCAD), 東京, 2017.06, 査読無

An-shui Yu, K.Hara, K.Inoue, K.Urahama, Foreground Enlargement on Spherical Images Based on Analytical Mechanics, Proc. Of IWAIT, 2017.01, 査読有

高田, 原, 井上, 浦濱, 未知光源の手動制御による非ランバート面の法線と反射特性の推定, 映像情報メディア学会冬季大会, 東京, 2016.12, 査読無

本村, 原, 井上, 浦濱, 非ランバート画像の輝度補正によるステレオ復元, 映像情報メディア学会冬季大会, 東京, 2016.12, 査読無

原, 井上, 浦濱, 球面三角法を用いた全天周画像の前景拡大, 信号処理シンポジウム, 大阪, 2016.11, 査読無

本村, 原, 井上, 浦濱, 任意光源方向下の拡散反射面の輝度補正, 画像の認識・理解シンポジウム, 静岡, 2016.08, 査読無

原, 井上, 浦濱, 全天周球面画像のリタゲティング, Visual Computing/グラフィックスとCAD合同シンポジウム(VC/GCAD), 東京, 2016.06, 査読無

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原 健二 (HARA KENJI)
九州大学・大学院芸術工学研究院・准教授
研究者番号: 50380712

(2) 研究分担者

井上 光平 (INOUE KOHEI)
九州大学・大学院芸術工学研究院・准教授
研究者番号: 70325570

(3) 連携研究者

浦濱 喜一 (URAHAMA KIICHI)
九州大学・大学院芸術工学研究院・教授
研究者番号: 10150492