

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20500155

研究課題名（和文）反射特性の空間的変化を伴う少数画像からの光学情報復元に関する研究

研究課題名（英文）Recovering Spatially Varying Reflectance from a Sparse Set of Images

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

研究成果の概要（和文）：

少数枚の画像列から光源状況と物体表面の反射特性を推定することは重要であるが、本質的に不良設定問題である。特に表面の材質特性の空間変動を考慮したい場合、この問題はいつそう困難である。本研究では、偏光を用いて反射成分分離を行った鏡面反射のみの画像から、物体表面の幾何形状を既知として、光源分布と空間的に不均一な鏡面反射特性を推定する手法を提案した。従来手法と異なり、各点光源に対応する鏡面反射が観察されていれば、単一の場合も含めて複数光源に適応可能である。鏡面反射をある球面上確率分布でモデル化し、この空間変動を放射基底関数ネットワークを用いて符号化した。これにより、空間的に不均一な鏡面反射特性と光源状況を同時推定する問題をIダイバージェンスに基づく制約付き最適化として定式化することが可能になった。そして、この問題を解くための期待値最大化アルゴリズムを導いた。また、放射基底関数の中心・幅とその個数の学習により、鏡面反射特性の最適符号化を行った。合成シーンと実世界シーンに対して本手法の有効性を示した。

研究成果の概要（英文）：

Estimating the illumination and the reflectance properties of an object surface from a sparse set of images is an important but inherently ill-posed problem. The problem becomes even harder if we wish to account for the spatial variation of material properties on the surface. In this research, we derived a novel method for estimating the spatially varying specular reflectance properties, of a surface of known geometry, as well as the illumination distribution from a specular-only image, for instance, captured using polarization to separate reflection components. Unlike previous work, we did not assume the illumination to be a single point light source. We modeled specular reflection with a spherical statistical distribution and encoded its spatial variation with radial basis function network of their parameters values. This allowed us to formulate the simultaneous estimation of spatially varying specular reflectance and illumination as a constrained optimization based on the I-divergence measure. To solve it, we derived an expectation maximization algorithm. At the same time, we accomplished the optimum encoding of the specular reflectance properties by learning the number, centers and widths of the RBFs.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目： 情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像情報処理

1. 研究開始当初の背景

コンピュータグラフィックスは、仮想空間における物体の見えを視覚的に現実感高く生成することが本来の目的で、これまでさまざまな描画手法が開発されてきた。そこでは、仮想物体の幾何形状、反射特性、光源状況に関する各モデルをあらかじめ与えておく必要があるが、これらのうち特に反射特性と光源状況は実際には非常に複雑で、通常の経験と勘に頼った手動のモデル作成では生成画像の品質やリアリティを追求しようにも限界があった。また、画像品質と描画速度を両立するために最適なモデルを手作業で作成しようとするれば、熟練や長時間作業が要求され、このことがCGコンテンツ制作のコスト高の一因にもなっていた。これらの問題を解決すべく、実在する物体の観察に基づき、仮想物体画像を現実感高く自動的に合成する modeling from reality アプローチが注目され、90年代後半あたりからコンピュータビジョンとコンピュータグラフィックスの両分野で研究が精力的に進められてきた結果、現在ではイメージベースレンダリングとインバースレンダリングの大きく二つの方法論が確立した。両者のうち、インバースレンダリングは、実在する物体を撮影した実写画像から物体の幾何形状、反射特性、光源状況のいずれかをあらかじめ計測などしておいて既知とし残りを未知として推定することにより仮想物体画像を合成するもので、反射特性と光源状況の個別の取り扱いが可能になることから、入力時と大きく異なる光源状況下における画像も容易に合成できるという利点があった。インバースレンダリングの研究では、物体の幾何形状を既知とし、多数の異なる視点あるいは光源状況下で物体を撮影した画像列をもとに反射特性と光源状況の各々を逐次的に計測または推定する手法がこれまで数多く提案されてきた。しかしながら、簡便性やコストを重視する立場からは、いかにして入力を少なく抑えつつより多くの光学情報が同時に獲得できるかを明らかにすべきであり、少数枚の画像をもとに反射特性と光源状況の各推定を相互に協調させながら同時に行う手法の確立が重要となる。このような観点から、Ramamoorthi らは、球面調和関数表現に基づく逆畳み込みにより、少数枚の画像列から光源状況と反射特性またはテクスチャと反射特性を同時推定した。Nishino らは、少数枚の画像列から光源状況、反射特性、テクスチャの三つを同時推定する問題を光源半球上の逆畳み込み問題

として定式化し、信号処理アプローチにより安定に解を得る枠組みを提案した。我々は、光源球上における反射光の分布が von Mises-Fisher (vMF) 分布の混合分布と近似的に等価であることに着目し、機械学習アプローチにより一枚の表面反射画像から光源状況と表面反射特性を同時推定した。しかし、いずれも表面反射特性が空間的に均一であることを仮定しているために人の顔など表面反射特性が空間的に変化する物体に適用することは困難であった。これに対し、Zickler らは、空間・角度データ間の空間的干渉性に注目し、少数枚の画像から空間的に変化する表面反射特性を推定した。この逆問題を空間・角度の結合空間に疎に分布するデータ点の補間問題と捉え、空間・角度の各解像度間におけるトレードオフ関係を考慮して人の顔などの物体表面の反射特性を安定に求めることに成功した。しかし、彼らの手法は、光源状況は既知としており、光源分布が未知の場合は、何らかの手段でこれを別途計測する必要があった。このように表面反射特性が空間的に変化する場合に対しても少数枚の画像をもとに反射特性と光源状況を同時に推定できるような簡便なものは存在しなかった。

2. 研究の目的

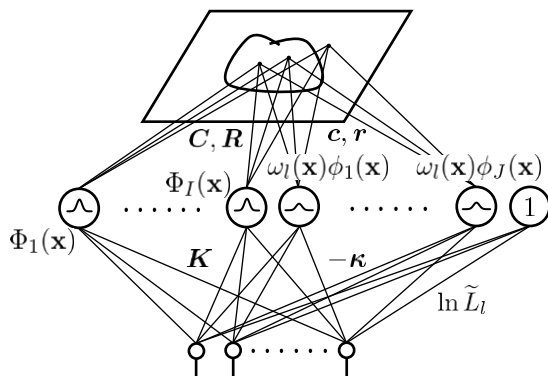
少数枚の画像のみから反射特性と光源状況の両方を同時に推定する手法の開発を試みる。従来手法とは、表面反射特性が空間的に変化する物体にも適用できるところが異なる。我々が過去に開発した手法において表面反射特性の空間的不変性を仮定した理由として、通常のパイズ則に基づく期待値最大化アルゴリズムをそのまま適用するため、(1) 必ずしも実測に忠実とはいえない反射モデルを採用したこと、(2) 光源球面上の反射光分布を vMF 分布の確率密度関数にやや強引に近似したこととが挙げられる。そこで本研究では、(1) 方向統計学に基づく実測に忠実かつ表現が簡潔なデータ駆動型反射モデル、(2) パイズ統計の枠組み外で定式化された問題にも適用できるように汎用化された期待値最大化アルゴリズムに基づく光学特性推定手法を開発する。この結果、表面反射特性が空間的に変化する物体に対しても、少数枚の画像のみから反射特性と光源状況の両方を推定して任意光源状況下における仮想物体画像を合成することが可能になる。

3. 研究の方法

(1) 実測に忠実かつ表現が簡潔なデータ駆動型反射モデル, (2) この反射モデルに基づいて表面反射特性の空間的变化に適応しつつ少数枚の画像から反射特性と光源状況を同時推定する手法の二つの要素技術の開発を同時並行で行い, 最後に任意光源状況下仮想物体画像合成システムを構築した. 具体的には, まず, 過去に開発した表面反射モデルとその反射モデルに基づく光学特性推定手法を改善した. 次に, ここで開発したデータ駆動型反射モデルと光学特性推定手法の拡張を行った.

4. 研究成果

表面の鏡面反射のみを含む鏡面反射画像一枚のみから形状が既知の物体表面の空間不均一な鏡面反射特性と光源状況を推定する手法を提案する. このような画像は, たとえば偏光を用いた反射成分分離などで得ることができる. 残りの反射特性, すなわち拡散反射は, ランバート反射を仮定したうえで光源状況の推定値を用いて, あらかじめ分離した拡散反射のみの画像から陰影を除去することにより推定することができる. 目的は同じであるが, 多数枚の画像を入力とする従来の手法とは異なり, 各点光源に対応する鏡面反射が観察されていれば, 単一の場合も含めて複数光源に適応可能である. 提案手法では, 鏡面反射をある球面上確率分布でモデル化し, この空間変動を放射基底関数を用いて符号化した. これより, 空間的に不均一な鏡面反射特性と光源状況の同時推定を確率的推論問題として定式化することが可能になった. 特に, I ダイバージェンスと呼ばれる統計的な誤差尺度に基づく制約付き最適化としてロバストな同時推定アルゴリズムを導き, これを解くための期待値最大化アルゴリズムを考案した. これと同時に, 擬似放射基底関数の中心・幅とその個数の学習により, 反射特性の最適符号化を試みた. 合成シーンと実世界シーンに対して本手法の有効性を示した.



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 7 件)

- ① K. Hara, K. Nishino, Variational estimation of inhomogeneous specular reflectance and illumination from a single view, OSA Journal of Optical Society of America A (JOSA A), Vol. 28, pp. 136-146, 2011, 査読有.
- ② 井上, 小川, 原, 浦浜, 反復適応的バイラテラルフィルタによるエッジ保存平滑化, 電子情報通信学会論文誌, Vol. 93-D, No. 9, pp. 2558-2560, 2010, 査読有
- ③ 小川, 井上, 原, 浦浜, 適応的バイラテラルフィルタを用いた画像融合, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 9, pp. 1697-1699, 2010, 査読有
- ④ 原, 西野, 単眼視からの光源状況と空間不均一な鏡面反射特性の推定 (第 12 回画像の認識・理解シンポジウム推薦論文) 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 8, pp. 1302-1312, 2010, 査読有
- ⑤ D. Miyazaki, K. Hara, K. Ikeuchi, Median photometric stereo as applied to the segonko tumulus and museum objects: International Journal of Computer Vision (IJCV), Vol. 86, No. 2-3, pp. 229-242, 2010, 査読有
- ⑥ 井上, 小川, 原, 浦浜, エッジ強調性を抑制する適応的バイラテラル フィルタ 電子情報通信学会論文誌, Vol. J93-D, No. 1, pp. 68-70, 2010, 査読有
- ⑦ 原, 井上, 浦浜, 巡回置換を用いた多重反射と透過を含む画像からのレイヤ分離 (第 11 回画像の認識・理解シンポジウム推薦論文) 電子情報通信学会論文誌, Vol. J92-D, No. 8, pp. 1221-1228, 2009, 査読有

[学会発表] (計 5 件)

- ① 小川, 井上, 原, 浦浜, 適応的バイラテラルフィルタの提案とその画像融合への応用, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2010), 釧路, 2010. 07. 28, 査読有

- ② K. Hara, K. Nishino, Illumination and Spatially varying specular reflectance from a single view, Proc. of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, (CVPR2009), pp.619-626, Miami, 2009.06.20, 査読有
- ③ 小川, 原, 井上, 浦浜, イントリンシック画像を用いたコントラスト保存画像融合, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2009), 松江, 2009.07.21, 査読有
- ④ 原, 西野, 単眼視からの光源状況と空間不均一な鏡面反射特性の推定, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2009), 松江, 2009.07.20, 査読有
- ⑤ K. Hara, K. Inoue, K. Urahama, Separation of layers from images containing multiple reflections and transparency using cyclic permutation, Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2009), pp.1157 - 1160, Taipei, 2009.04.20, 査読有

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・助教
研究者番号：70325570

(3) 連携研究者

浦浜 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