

審査の結果の要旨

氏名 岡部 孝弘

本論文は「Physics-Based Modeling of Shape, Lighting, and Appearance from Images」（画像からの形状・光源・見えの物理ベースモデリング）と題して、照明変動に伴う物体の見えの変化に関する考察を軸に、画像からの物理ベースモデリングについて論じたものであり、全体で7章により構成されている。

第1章「Introduction」（はじめに）では、コンピュータビジョン（CV）だけでなく CV とコンピュータグラフィックス（CG）あるいはパターン認識（PR）との学際領域の研究として、本研究の背景と目的について論じたあとで、本論文で提案される4つの手法の概要について述べている。

第2章「Fundamentals of Reflectance Analysis」（反射解析の基礎）では、第3章以降の議論の準備のために、物体表面で観察される反射やカゲなどの物理現象、および、それらを記述する基本的な物理モデルを解説している。

第3章と第4章では、CGのためのCVという位置付けで、画像生成過程を逆に辿って、画像から実物体・実シーンのモデルを獲得する手法を提案している。

第3章「Surface Normal Recovery from Attached Shadows」（陰に基づく法線推定）では、照明条件のみが異なる画像から、物体表面の法線を推定する手法が提案されている。従来の照度差ステレオ法は、特定の反射モデルを仮定するために適用範囲が限られ、また、光源方向既知の仮定から光源方向を較正する必要がある。提案手法は、様々な光源方向の下で観察される陰により物体表面を符号化したのち、符号の類似度と法線の類似度の関係に基づいて法線を推定するものであり、未知の反射特性・未知の光源方向という条件下において法線を推定できるという特長を持つ。実画像と合成画像を用いた実験を行い、提案手法の有効性を確認している。

第4章「Illumination Recovery from Cast Shadows」（影に基づく光源推定）では、ある物体が他の物体に落とす影（cast shadow）を手掛かりにして、シーンの光源分布を推定する手法が提案されている。従来、影に基づく光源推定がうまく働くことは経験的に知られていたが、本研究では、球面調和関数を用いた周波数解析により、影に基づく光源推定がなぜうまく働くのかを理論的に明らかにしている。また、影に基づく光源推定において、どのような基底関数を用いて光源分布を表現すべきかを議論して、Haar ウェーブレットを用いた効率的な推定法を提案している。実画像と合成画像を用いた実験により、Haar ウェーブレットを用いた手法が球面調和関数を用いた手法よりも優れていることを示している。

第5章と第6章では、PRのためのCVという位置付けで、アピアランススペースの認識を

主眼として、画像生成過程に基づいて、照明変動に伴う物体の見えの変化を少数の画像を用いて表現する手法を提案している。

第5章「Modeling Appearance under Distant Lighting」（遠方光源下における見えのモデリング）では、単一遠方光源下における拡散反射成分と陰の表現、および、その顔認識への応用を議論している。遠方光源下の拡散反射成分を表現することで認識を行う線形部分空間法を、光源推定と画像生成による認識と捉えて、鏡面反射成分やカゲを含む画像にも適用できるように拡張している。具体的には、鏡面反射成分やカゲなどの外れ値に頑健なRANSACを用いた光源推定法を提案するとともに、拡散反射成分だけでなく陰も生成する認識手法を提案している。顔画像データベースを用いた実験を行い、提案手法が先行研究を上回る性能を持つことを示している。

第6章「Modeling Appearance under Nearby Lighting」（近接光源下における見えのモデリング）では、第5章の内容を拡張して、近接光源下における物体の見えの表現について議論している。近接光源下の物体の見えは、光源の見かけの明るさと方向が物体表面上の各点で異なることから、解析が容易ではない。提案手法では、近接光源下で撮影された画像を適切に分割することで、各領域を遠方光源下で撮影された画像として扱えることを示している。実画像と合成画像を用いた実験により、画像分割の効果を示すとともに、提案した画像分割法の有効性を確認している。

第7章「Conclusions」（まとめ）では、本論文で提案された手法のまとめ、および、それぞれの新規性と貢献を簡潔に述べたうえで、今後取り組むべき課題を議論している。

以上これを要するに、本論文では、画像からの物理ベースモデリングという重要な課題に対して、照明変動に伴う見えの変化に関する考察を軸に、陰に基づいて物体表面の法線を推定する手法、影に基づいてシーンの光源分布を推定する手法、遠方光源下ならびに近接光源下における物体の見えを表現する手法を提案し、実画像と合成画像を用いた実験により各手法の有効性を示したものであり、電子情報学上貢献するところが少なくない。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。