

論文内容の要旨

博士論文題目 Physics-based Image Decompositions for Obtaining a Shape and Visual Textures

(形状と視覚的質感獲得のための物理ベース画像成分分解)

氏 名 高谷 剛志

(論文内容の要旨)

コンピュータビジョンおよびグラフィックス分野において、形状および視覚的質感の計測は重要な課題の一つである。より高精度な形状が復元できるため、多くの計測手法は物理ベースなアプローチを取っている。例えば、照度差ステレオ法はよく知られた手法であるが、表面の微小な凹凸まで復元可能である。しかし、拡散反射を仮定するため、半透明な材質や光沢のある材質などへの適用は難しい。そのような物理ベース計測手法における光学現象の仮定は計測手法の実用を阻害してきた。一つの解決策は、画像成分分解であり、仮定する物理ベース画像を抽出することにより、様々な材質において計測手法を正常に機能させることができる。加えて、物理ベース画像成分分解によって従来では取得できなかった視覚的質感も取得可能となる。

本論文は、物体形状および視覚的質感取得を目的とした、物理ベース画像成分分解を提案する。一般に、受容器は物体から放たれる放射輝度を観測し、その観測輝度には様々な物理ベース成分が含まれている。ゆえに、観測輝度を物理ベース成分に分解することで、計測を頑健にする。放射輝度は様々な光線の和であるため、空間的、時間的、および分光的な観点での成分分解を提案する。

空間的な観点では、統一的な成分分解手法を提案し、様々な成分分離手法を組み合わせることで、より詳細な分解を可能とする。実験によって、拡散反射、鏡面反射、単一散乱、多重散乱の4成分に分解でき、それらを用いることで半透明度や不透明度に基づく材質分類が可能となる。また、物体内部における反射現象を奥行ごとに分解する。

時間的な観点では、遠赤外光伝播分解を提案し、光学現象と熱現象の分解を行う。光は吸収されると熱に変化し、物体内部を伝導する。熱を持つ物体は熱量に依存して遠赤外光を放射する。光と比較し、熱伝導は低速であるため、ビデオフレームレートによる解析で、成分分解が可能となる。遠赤外光源を用いた実験で、

放射成分のみを抽出し、照度差ステレオ法を適用する。興味深い点は、可視光で透明・半透明・黒色であったとしても遠赤外領域では、不透明となるため、様々な材質を統一的に一つの手法で取り扱える。実験では、透明なガラス、半透明なプラスチック、黒塗装の木材などを対象として、照度差ステレオ法を用い、法線マップが復元できることを確認した。

分光的な観点では、ワンショットで分光画像が撮像可能な新しいイメージング手法を提案する。光学現象は波長依存性があるため、分光画像計測によって一般的なカメラでは取得できなかった視覚的質感が取得可能となる。

全体的には、空間的、時間的、分光的な観点で物理ベース画像を成分分解し、物体の形状および視覚的質感の取得を行う。結果として、材質に頑健な形状計測および分光反射率、半透明度、および物体内部などの視覚的質感が計測できることを示す。

(論文審査結果の要旨)

本論文では、物体の形状および視覚的な質感情報を取得することを目的とした物理ベース画像成分分解法を提案している。コンピュータビジョン分野では、特定の光学現象に基づく物理ベース計測手法が多く提案されてきたが、想定外の光学現象が起こった場合に適用できない問題があった。一つの解決策として、従来から画像成分分解が用いられてきた。本論文は画像成分分解に関する研究成果であり、観測画像を物理ベース画像に分解するため、空間的、時間的、分光的な三つの観点の分解手法を提案している。

空間的な観点では、様々な成分分解手法を統一的に扱える成分分解手法を提案し、光学現象に基づく成分画像への分解を実証している。成分分解結果の応用として、材質の半透明度や不透明度に基づいた材質分類が可能であることを実験している。また、AM ラジオの原理を応用した周波数解析によって、比較的透明な物体の内部で起こる光学現象を奥行ごとに分解可能な手法を提案し、実験を行っている。透明および半透明な物体の内部構造は外見に影響するため、視覚的質感の取得に該当する。さらに、表面下散乱現象を対象とした空間的な分解を応用し、材質の半透明度を計測する手法を提案している。応用として、計測した半透明度をデジタルファブリケーション技術によって再現できることを示している。

時間的な観点では、遠赤外光伝播の成分分解手法を提案し、光学現象と熱現象の分解を行っている。光の吸収、熱の伝導および放射の過程から、古典的な物理ベース計測手法である照度差ステレオ法が適用可能であることを示している。透明、不透明、黒色な物体を対象としても形状計測可能であることのみでなく、サーマルカメラが従来の物理ベース計測手法に利用できることを実証した。

分光的な観点では、ワンショットで分光画像が撮像可能な新しいイメージング手法を提案している。分光に基づいた物理ベース成分の分解には、分光情報の取得が必須であるが、高コストで長時間必要という問題があった。この問題

に対し、提案手法は低コストかつワンショットで分光画像を取得できる。当該手法は、一般的な RGB カメラと鏡、カラーフィルタを用いた実験によって、従来の $1/100$ 程度の価格で分光イメージングが可能になることを示している。また、光の波長によって表面下散乱現象が変化することを利用し、分光画像を用いた照度差ステレオ法の改善手法を提案している。

以上のように、本論文では、物体形状および視覚的質感の取得を目的として、空間的、時間的、そして分光的という三つの観点で、物理ベース画像成分分解を提案し、実験によってその有用性を示している。

本研究は、コンピュータビジョン分野において、学術面での貢献を認めることができる。本論文の主要部分に相当する内容に関しては、学術論文誌に論文が掲載されるとともに、国際会議等においても公表されている。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値ある物と認める。