

論文内容の要旨

博士論文題目

Dense Estimation of Surface Reflectance Properties Based on Inverse Rendering
(インバースレンダリングに基づく物体表面反射係数の密な推定に関する研究)

氏 名 町田 貴史

(論文内容の要旨)

近年、写実性の高い仮想現実環境を構築するために実物体の3次元計測に基づくモデリングが注目され、複合現実感分野において仮想化現実と呼ばれる研究領域を形成している。画像の明るさや色は一般に、物体の形状、反射特性、光源、観察位置の関数として決まるため、仮想化現実における物体表面テクスチャのモデリングにおいては、画像から形状、光源、観察位置の影響を取り除き、物体に固有の反射特性を推定することが中心課題となる。本研究では、光源と観察位置が既知の前提で、物体の3次元形状とカラー画像を取得し、物体表面上の点毎に密に反射特性を推定する問題に取り組んでいる。本論文では、密に反射特性を推定するための計測方法について検討を加え、3次元形状データと対応する複数のカラー画像から物体表面の反射特性を密に推定するアルゴリズムを提案し、実験を通して有効性を検証している。本論文は以下の6章から構成されている。

第1章では、仮想化現実における技術課題と観察画像から表面反射特性を推定するためのインバースレンダリングの枠組について議論するとともに、従来の関連研究を概観し、本研究の目的・動機と意義について述べている。

第2章では、全周計測レンジファインダによって形状データと同時に位置合せされたカラー画像を取得することを前提に、Torrance-Sparrowの反射モデルに基づいて物体表面上で密に反射係数を推定するための光源位置選択法を提案している。

第3章では、前章で提案した光源選択法に基づいて取得した物体の3次元形状データと複数のカラー画像に対してTorrance-Sparrowモデルを当てはめることによって物体表面上で密に拡散反射係数、鏡面反射係数及び表面粗さ係数を推定する枠組と具体的なアルゴリズムを提案している。実験によって提案手法の有効性を検証するとともに、提案手法が物体表面上での相互反射の存在を考慮していないことによる問題点も示している。

第4章では、相互反射の影響を考慮することによって反射係数推定の精度向上を目指している。具体的には、コンピュータグラフィックスにおけるラジオシティ法を利用することによる拡散反射性の相互反射を考慮した反射係数推定法を提案している。実験によって、前章の手法に対する優位性を示すとともに、鏡面反射性の相互反射を考慮していないことによる問題点を指摘している。

第5章では、鏡面反射性の相互反射を考慮するために、前章の手法で得られる反射係数を初期値として、コンピュータグラフィックスにおけるフォトンマッピング法を利用した反射係数の反復推定法を提案している。本章では、第3章と第4章で提案した2つの手法との比較実験を行い、本章での提案手法により、拡散・鏡面反射性の相互反射を考慮することによって反射係数推定精度が向上することを定量的に示している。

最後に第6章では、本研究の総括として、得られた成果に対する考察に加えて、今後の課題と展望について述べている。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、仮想化現実のための実物体の3次元モデリングにおける物体表面の反射特性の推定法について述べている。特に、物体表面の点毎に密に表面反射特性を推定するための計測法を考案し、位置合せされた3次元形状データと複数のカラー画像から物体表面の拡散反射係数、鏡面反射係数及び表面粗さ係数を推定するための一連のアルゴリズムを提案し、実物体を用いた実験を通して、その有効性を実証している。本論文の成果は以下の4点に要約される。

1. 全周計測レンジファインダによって形状データと同時に位置合せされたカラー画像を取得することを前提に、Torrance-Sparrowの反射モデルに基づいて物体表面上で密に反射係数を推定するための光源位置選択法を提案している。これによって、計測された対象物体の3次元形状に基づいて複数の光源設置位置を自動決定することを可能にした。

2. 前述の光源選択法に基づいて取得した物体の3次元形状データと複数のカラー画像に対してTorrance-Sparrowモデルを当てはめることによって物体表面上で密に拡散反射係数、鏡面反射係数及び表面粗さ係数を推定する基本的な枠組と具体的なアルゴリズムを提案している。

3. コンピュータグラフィックスにおけるラジオシティ法を利用することによる拡散反射性の相互反射を考慮した反射係数推定法を提案することによって、表面反射係数の推定精度の向上を図っている。

4. 前述の拡散反射性の相互反射を考慮した手法で得られる反射係数を初期値として、コンピュータグラフィックスにおけるフォトンマッピング法を利用した反射係数の反復推定法を提案し、拡散・鏡面反射性の相互反射を考慮した反射係数推定を可能にしている。

本研究で提案した3種類の表面反射係数推定法については、それぞれの評価実験結果とともに、推定精度と計算時間についての手法間の比較評価結果が示されている。

以上述べたように、本論文では、仮想化現実のための実物体の3次元モデリングにおける物体表面の反射特性の推定について具体的な解決策を提案し、その有効性を実験的に検証している。提案手法は、仮想化された実物体を仮想現実環境に取り込み、任意の照明条件下で実物体と仮想物体の間での陰影矛盾のない画像を生成するための基本技術になるものであり、複合現実感分野において、学術、実用の両面での貢献を認めることができる。なお、本論文の主要部分に相当する内容は、既に学会論文誌に掲載されるとともに、複数の査読付国際会議等においても公表されている。また、本研究の成果は学会等でも既に高い評価を受け、複数の学術賞を受賞している。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。