

## 審査の結果の要旨

氏 名 モハマド アッサド アリ

本論文は「Reflectance Modeling with Optimized Sampling Strategy」（最適なサンプリング戦略による反射モデリング）と題し、観測画像をもとに、物体の反射特性を記述する双方向反射率分布関数（Bidirectional Reflectance Distribution Function, BRDF）をモデリングするという問題に対し、なるべく少数の観測から精度良くBRDFをモデリングするためには、どのような光源方向と観測方向で観測するのが良いかというサンプリング戦略を新たに考案したものであり、英文で記され全体で6章により構成される。

第1章「Introduction」（はじめに）では、さまざまな条件下での物体の見え（アピアランス）のモデリングの重要性について論じた後、物体の見えに関与する主要な要素として、物体表面の反射特性を記述するBRDFについて説明した上で、BRDFのモデリングのための手法としてどのようなものが存在するかについて簡単に取りまとめている。その上で、本論文で提案されるBRDFモデリングのための3つのサンプリング手法の概要を述べている。

第2章「Background」（研究の背景）では、光の照射と反射に関する物理量について説明した上で、物体表面上の一点における光の反射特性を厳密に記述するものとして、双方向反射率分布関数（BRDF）を紹介し、BRDFが持つ物理的な性質についてまとめている。さらに、一般的なBRDFが入射方向と観測方向のそれぞれに2自由度をもつ合計4自由度の関数となるのに対し、面法線周りの回転に依存しない等方性反射を示す物体では3自由度の関数で、さらに一部の物体ではより自由度の少ない2自由度の関数で表現されることを述べている。最後に、BRDFのモデリングに関する既存手法を分類し整理した上で、それぞれのカテゴリのBRDFモデリング手法の概要を説明している。

第3章「Efficient Point-wise BRDF Acquisition with Fewer Samples」（より少ない観測からの単一点BRDFの効率的なモデリング）では、物体表面上の一点におけるBRDFをより少ない光源方向と観測方向の組み合わせにより精度良くモデリングするための手法を提案している。ここで、BRDFについて事前に何も手掛かりが無い場合、全ての光源方向と観測方向について観測が必要になってしまうのに対し、提案手法は、さまざまな反射特性に関するBRDFのデータベースを活用することにより、BRDFのモデリングに有効な光源方向と観測方向の組み合わせを適切に選択するという考えに基づいた手法となっている。まず、2自由度を持つBRDFを上手く表現できることが知られている2D Bivariate representationと呼ばれる角度表現を導入した上で、予め得られている多数のBRDFに対して主成分分析を適用することにより、任意のBRDFを少数のBRDF基底の線形結合で近似する。その上で、BRDFのモデリングの問題を、観測値からBRDF基底の線形結合係数を求める問題と捉え、線形結合係数が数値解析的に安定に求まるための条件を手掛かりに光源方向と観測方向の組を選択する。100以上の材質を実測したBRDFのデータベースを利用した評価実験により、提案手法によりより少数の観測からBRDFが精度良く求められることを検証した。

第4章「Planned Sampling of Object's BRDF」（均一な反射特性を持つ物体のBRDFのモデリング）では、均一な反射特性を持つ物体の形状情報が与えられているという条件の下で、その物体のBRDFをより少数の観測画像から精度良くモデリングするための手法を提案している。ある物体の表面上にさまざまな法線方向を

持つ点が存在する場合，ある光源下で撮影した一枚の入力画像から多数の光源方向と観測方向の組に関するBRDFの観測値を同時に得ることができる．これを利用したBRDFのモデリング手法は既に知られているが，どのような光源方向から照らした物体画像を用いるのが良いかに関する検討は十分ではなかった．これに対し，本研究では，第3章で開発したBRDFモデリングのサンプリング手法に基づき，均一な反射特性を持つ物体のBRDFをモデリングする場合に，少ない画像から精度良くBRDFをモデリングするためにはどの光源方向から照らした画像を用いればよいのかという問題に解を示している．さまざまな物体形状および反射特性でレンダリングされた合成画像を用いたシミュレーション実験により，提案手法の有効性を確認した．

第5章「Appearance Modeling of Objects with Multiple Materials and SVBRDF」（複数の材質で構成され不均一な反射特性を持つ物体のBRDFのモデリング）では，異なる反射特性を持つ複数の材質で構成された物体を対象として，BRDFモデリングのためのサンプリング手法を提案している．物体表面上に異なる反射特性を持つ点が混在している場合，反射特性に基づくクラスタリングとBRDF(反射特性)のモデリングを同時に行わなければならない．本研究では，第4章で提案した手法を拡張することにより，各反射特性のBRDFのモデリングに関して準最適な解となる光源方向を自動的に選択することを実現している．不均一な反射特性を持つ物体を撮影した実画像を用いた実験により，提案手法の有効性を確認した．

第6章「Conclusions」（まとめ）では，全体を総括し，今後の課題と展望について述べている．

以上これを要するに，本論文は，物体の反射特性をモデリングする際に，より少ない観測から精度良くBRDFを求めるために必要な観測条件を求めるという課題に対し，単一点のBRDFのモデリング，均一な反射特性を持つ物体のBRDFのモデリング，不均一な反射特性を持つ物体のBRDFのモデリングのそれぞれに解決方法を提案し，シミュレーション画像および実画像を用いた実験により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．