

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 佐藤 いまり

本論文は「Illumination Recovery and Appearance Sampling for Photorealistic Rendering (写実的な画像生成のための光源環境推定と物体表面の見えの標本化)」と題し、コンピュータグラフィックスおよびコンピュータビジョンの研究分野において、実在するシーンを撮影した画像からそのシーンの光学情報を獲得して写実的な画像を生成するイメージベースモデリング・レンダリングの研究分野において、光源環境のモデル化および光源環境の変化に伴う現実物体の見えの変化のモデル化に対する研究をまとめたものであり、9章で構成され英文で書かれている。

第1章「Introduction」では、イメージベースモデリング・レンダリングの研究分野における従来研究の動向をまとめ、本論文で提案する手法の新規性および有効性について説明している。本論文では、現実シーンの光源環境のモデル化に関して 1. 現実シーンの画像を用いて直接的に光源環境を獲得するイメージベースライティング手法、2. 現実シーン中に観察される物体表面の見えの変化に基づきそのシーンの光源環境を推定するインバースライティング手法を検討し、また任意光源環境下での物体の見えを生成する手法として、3. 点光源下で定義される基底画像に基づく画像生成手法、4. 周波数光源下で定義される基底画像に基づく画像生成手法を提案している。

第2章は「Acquiring Illumination Based on Omni-Directional Stereo Algorithm」と題し、魚眼レンズ付カメラを用いて撮像された2枚の全方位画像を用いたステレオ法により、実世界の光源環境を計測する手法を提案している。本章では、従来研究で解決策が示されてこなかったシーンの幾何モデルの自動獲得手法と広範囲の光源環境の効率の良い計測手法の開発に取り組んでいる。計測された光源環境下で仮想物体を生成し、この物体のシーンへの挿入により生じた照度の変化を実画像に反映させることにより仮想物体を違和感のない陰影で実画像に重ね込むことができる。

第3章は「Image Synthesis under Dynamically Changing Illumination」と題し、刻々と変化する光源環境下で写実的な画像を高速に生成する手法を説明している。複雑な分布を持つ任意光源環境下における画像合成は、一般に計算コストが高く、時間を要することが知られている。ここでは、光源輝度と物体表面の明るさの関係の線形性を利用することにより、シーンの光源環境を近似する点光源下で観察される物体の画像（基底画像）を用いて効率良く任意光源下での物体の見えを生成する手法を提案している。このアプローチを用いることにより、物体間の相互反射なども考慮にいたした現実感の高い合成画像を基底画像の線形結合として高速に効率良く生成することが可能となる。

第4章は「Illumination from Shadows」と題し、現実シーンの物体表面上に観察される陰影からそのシーンの光源環境を推定するインバースライティング手法において、3次元形状が既知である物体により生じた影を利用することにより、物体による光源の遮蔽と影の明るさ変化の関係にもとづき間接的に実世界の光源環境を推定する手法を提案している。室内など、一般の照明環境のもとでは、物体からおとされる影はさまざまな方向からの入射光の遮蔽関係を反映した複雑な分布を持って観察されるため、物体による遮蔽を考慮しない従来手法に比べ、遮蔽を考慮した提案手法を用いることにより、複雑な光源環境を精度良く求められることが期待できる。

第5章は「Stability Issues in Illumination Estimation」と題し、第4章で提案した影に基づく光源環

境の推定手法に関して、その推定の安定性をさらに検討している。一枚の画像内に観察される影から得られる情報は、物体とカメラの位置姿勢およびカメラの画角などの要因によって大きく左右されるため、画像によっては光源分布の推定が不安定になることが予想される。この問題を回避するため、1枚の画像からそのシーンの光源環境に関して得られる情報を解析する手法を提案し、この解析に基づき安定に光源分布を推定する手法をあらたに提案している。

第6章は「Modeling Appearance of Objects for Variable Illumination」と題し、光源の入射方向と視線方向により定義される物体表面の双方向反射関数の周波数特性に基づき、その反射関数を再生するために必要な光源の入射方向を球面調和関数のサンプリング定理に基づき明らかにすることにより、サンプリング定理により空間位置が定められた点光源下で観察された物体表面の明るさから物体表面の反射特性を球面調和関数の係数として効率良くモデル化する手法を提案している。推定された係数は周波数基底画像として保存され、任意光源環境下で観察されるべき物体の見えは、提案手法により求められた物体表面の反射特性の展開係数球面調和関数と全方位画像を用いて計測された光源環境の展開係数の掛け合せに基づいて高速に効率良く生成することができる。

第7章は「Anti-aliasing Method for Appearance Sampling of Real Objects」と題し、前章で提案した点光源下で観察される物体表面の明るさを利用するアプローチに対し、拡散光源下で観察される物体表面の明るさを利用することにより物体表面の反射特性の帯域制限を行い、反射関数の不十分なサンプリングに基づくエイリアシングの影響を軽減する手法を提案している。提案手法を用いることにより、従来のイメージベースモデリング手法ではモデル化が難しいとされてきた鏡面反射が強く観察される物体などに関してもエイリアシングを生じさせることなく、写実的な物体の見えをモデル化することができる。

第8章は「Summary and Conclusions」であり、本論文の成果を従来研究との比較を踏まえてまとめている。

第9章 Appendix は「Non-Photorealistic Shading Model for Artistic Shading」と題し、第5章で提案されている単画像からの光源分布推定手法を用いて絵画が描かれた際の物体の見えを再現し、画家による色変換のメカニズムを絵画内に観察される陰影から推定する手法を提案している。提案手法により推定された陰影付けのメカニズムを利用することにより、仮想物体を絵画に違和感のない陰影で重ね込むことができる。

以上これを要するに、本論文ではイメージベースモデリング・レンダリングにおける光源環境の推定に関する問題点を考慮し、2枚の全方位画像を用いたステレオ法に基づき実世界の光源環境を直接的に効率良く計測する手法とシーン中の物体による光源の遮蔽と影の明るさ変化の関係に基づき3次元形状が既知である物体により生じた影より間接的に実世界の光源環境を推定する手法を提案し、さらに任意光源環境下での物体の見えを効率良く生成する手法として、点光源下で定義される基底画像の線形和に基づく手法と周波数光源下で定義される基底画像の線形和に基づく手法を開発し、特に周波数光源で定義される基底画像に関してはモデル化する際の入力画像の必要条件に関する考慮を進め、サンプリング定理により決められた点光源下で観察された物体表面の明るさから物体表面の反射特性を球面調和関数の係数として効率良くモデル化する手法を提案しており、これらのイメージベースモデリング・レンダリング手法は、任意光源下での写実的な物体の見えを効率良く生成することに有用であると期待され、学際情報学上貢献するところが少なくない。

よって本審査委員会は、本論文が博士（学際情報学）の学位に相当するものと判断する。