

学 位 論 文 題 名

モデルベースレンダリングと
イメージベースレンダリングを統合した
新しいレンダリング手法に関する研究

学位論文内容の要旨

実世界に実在しない3次元空間をコンピュータ上で構築する、もしくは、実世界のシーン、あるいは、物体をコンピュータに取り込み、コンピュータ上で再現することは、コンピュータグラフィックス (Computer Graphics, CG) の中心的な課題であり、テレビ、映画、ゲームなどのエンターテインメントをはじめ、ショッピング、医療、福祉、デザイン、ナビゲーション、シミュレーションなどの幅広い分野で応用されている。このような仮想空間の構築と画像生成の手法は大きくモデルベースレンダリング (Model-Based Rendering, MBR) 手法とイメージベースレンダリング (Image-Based Rendering, IBR) 手法に大別される。

MBR 手法は CG 分野において、もっとも多くの研究がなされており、手法として熟成している。基本的な手法としてレイトレーシング (Ray Tracing)、ラジオシティ (Radiosity)、フォトンマッピング (Photon Mapping) などがあり、リアリティの高い映像生成が可能になっている。また頂点座標、法線ベクトル、テクスチャ座標などの頂点データ構造および座標変換、陰面消去、シェーディング、テクスチャマッピングなどの代表的なアルゴリズムが標準化され、OpenGL、DirectX などの標準的なレンダリングシステムによって実装され、さまざまな分野で応用されている。MBR 手法は実世界に実在しない3次元空間を構築するには、きわめて効率的かつ有効であるが、実世界に実在するシーンをコンピュータ上で再現するにあたっては、主に次の三つの問題点があげられる。

1. 複雑な物体に関しては、その正確なポリゴンモデルを作成することは困難であり、場合によっては、不適正、もしくは、不可能であること。
2. 実世界の表面材質特性は多様であり、現在の CG で用いられている色、テクスチャ、拡散反射率、鏡面反射率などの単純なパラメータのみでは、まだ充分表現できていないこと。
3. 正確なポリゴンモデルと表面材質が得られたとしても、陰影、拡散反射、映り込み、多重屈折、相互反射などを含めた大域照明を厳密に計算することはまだ困難であること。

一方、IBR 手法は MBR 手法におけるこれらの課題を克服するために提案されたものである。IBR 手法は複雑なモデリング、照明計算を経由せず、複数の実写画像から任意視点画像をレンダリングするレンダリング手法である。MBR 手法と比べて、まだ新しい分野ではあるが、注目を集め、幅広い応用が期待されており、多くの研究がなされ、新しい手法が提案されてきた。しかしながら、異なる IBR 手法はターゲットシーンの構造、入力画像の枚数、撮影位置、入力画像のカメラパラメータなどに対して、異なる条件を持ち、独自の入力データ構造を用いて、独自のアルゴリズムによって実装さ

れている。したがって、IBR 手法はアルゴリズム、データ構造などがまだ標準化されておらず、専用のハードウェアも、統合的に取り扱える汎用的なレンダリングシステムもまだ存在していない。ゆえに、MBR 手法と比べて、IBR 手法の応用はまだまだ限られている。

このような現状に着目し、本研究では、歴史的にも独立しかつ異なるレンダリング手法として研究されてきた MBR 手法と IBR 手法を統合的に取り扱えるレンダリング手法を開発し、両手法の区別を意識することなく、ハードウェアとアルゴリズムを十分に生かせる汎用的、柔軟なレンダリングシステムを実現するものである。

この目的を実現するために、本研究ではイメージクラスタから任意視点画像を生成する新しい汎用的な IBR 手法を提案する。ここで、イメージクラスタとは、一定の空間内で撮影された一定の密度分布を持つ大量な画像の集合である。つまり、入力画像に対して、球面上、あるいは、平面上の等間隔のサンプリング点で撮影するなどの拘束条件がない。また、前処理として、入力画像からシーンの近似モデルを作成する必要があるものの、シーンの複雑さ、広さなどの構造に対しては、拘束条件を付加しない。さらに、必要な近似モデルは、一定の誤差を許した形状モデルであり、MBR 手法が必要とする色、材質、テクスチャなどの表面特性を持つ正確なポリゴンモデルではない。次に、提案した新しい IBR 手法をベースに、エピソード深度、Shaded Texture などのあたらしい概念を導入し、従来の MBR 手法で標準データ構造として用いている頂点座標、テクスチャ座標などを拡張し、MBR 手法と IBR 手法を統合的に扱うための新しい標準的な入力データ構造を提案するとともに、標準的な入力データをレンダリングするために必要なハードウェアおよびアルゴリズムを提案する。最後に、現在の GPU 機能を用いて、提案システムを実現するためのアルゴリズムを開発し、実装実験を行い、本提案システムの有効性、汎用性を示した。

本研究により、従来のように MBR 手法と IBR 手法を区別する必要がなくなり、GPU などのハードウェア機能を十分に生かすとともに、MBR と IBR の特徴を融合した柔軟な汎用レンダリングシステムの実現が可能になった。

学位論文審査の要旨

主査	教授	山本	強
副査	教授	長谷山	美紀
副査	教授	荒木	健治
副査	准教授	土橋	宜典

学位論文題名

モデルベースドレンダリングと イメージベースドレンダリングを統合した 新しいレンダリング手法に関する研究

実世界に実在しない3次元空間をコンピュータ上で構築したり、実世界のシーンや物体をコンピュータに取り込んでコンピュータ上で再現することは、コンピュータグラフィックス (Computer Graphics, CG) の中心的な課題であり、テレビ、映画、ゲームなどのエンターテインメントをはじめ、医療、デザイン、ナビゲーション、シミュレーションの可視化などで応用されている。このような仮想空間の構築と画像生成の手法は大きくモデルベースドレンダリング (Model-Based Rendering, MBR) 手法とイメージベースドレンダリング (Image-Based Rendering, IBR) 手法に大別される。

MBR 手法の基本的な手法としてレイトレーシング、ラジオシティなどがあり、リアリティの高い映像生成が可能になっている。また頂点座標、法線ベクトル、テクスチャ座標などの頂点データ構造および座標変換、陰面消去、シェーディング、テクスチャマッピングなどの代表的なアルゴリズムが標準化され汎用性の高いレンダリングシステムによって実装されている。MBR 手法は仮想的な3次元空間を構築するには効率的かつ有効であるが、実在するシーンをコンピュータ上で再現するにあたっては、主に次の三つの問題点があげられる。

1. 複雑な物体に関しては、その正確なポリゴンモデルを作成することは困難であり、場合によっては、不適正、もしくは、不可能であること。
2. 実世界の表面材質特性は多様であり、現在の CG で用いられている色、テクスチャ、拡散反射率、鏡面反射率などの単純なパラメータのみでは、まだ充分表現できていないこと。
3. 正確なポリゴンモデルと表面材質が得られたとしても、陰影、拡散反射、映り込み、多重屈折、相互反射などを含めた大域照明を厳密に計算することはまだ困難であること。

一方、IBR 手法は複雑なモデリング、照明計算を経由せず、複数の実写画像から任意視点画像をレンダリングするレンダリング手法である。MBR 手法と比較して IBR 手法は標準化が遅れており、ターゲットシーンの構造、入力画像の枚数、撮影位置、入力画像のカメラパラメータなどに対して、実装ごとに独自の入力データ構造、独自のアルゴリズムを用いる。そのため専用のハードウェアも、統合的に取り扱える汎用的なレンダリングシステムがなく、IBR 手法の応用は MBR 手法と比べて限

定的になっている。

このような現状に着目し、本論文では、歴史的にも独立しかつ異なるレンダリング手法として研究されてきた MBR 手法と IBR 手法を統合的に取り扱えるレンダリング手法を開発し、両手法の区別を意識することなく、ハードウェアとアルゴリズムを十分に生かせる汎用的、柔軟なレンダリングシステムを提案している。

この目的を実現するために、本論文ではイメージクラスタから任意視点画像を生成する新しい汎用的な IBR 手法を提案している。イメージクラスタとは、一定の空間内で撮影された一定の密度分布を持つ大量な画像の集合であり、入力画像に対して、球面上、あるいは、平面上の等間隔のサンプリング点で撮影するなどの拘束条件がない。また、前処理として入力画像からシーンの近似モデルを作成する必要があるが、シーンの複雑さ、広さなどの構造に対しては、拘束条件を付加しない。さらに、必要な近似モデルは、一定の誤差を許した形状モデルであり、MBR 手法が必要とする色、材質、テクスチャなどの表面特性を持つ正確なポリゴンモデルではない。次に、提案した新しい IBR 手法をベースに、エピソード深度、Shaded Texture などのあたらしい概念を導入し、従来の MBR 手法で標準データ構造として用いている頂点座標、テクスチャ座標などを拡張し、MBR 手法と IBR 手法を統合的に扱うための新しい標準的な入力データ構造を提案するとともに、標準的な入力データをレンダリングするために必要なハードウェアおよびアルゴリズムを提案する。最後に、現在の GPU 機能を用いて、提案システムを実現するためのアルゴリズムを開発し、実装実験を行い、本提案システムの有効性、汎用性を示している。

本論文の成果により MBR 手法と IBR 手法を区別する必要がなくなり、GPU などのハードウェア機能を十分に生かすとともに、MBR と IBR の特徴を融合した柔軟な汎用レンダリングシステムの実現が可能になることを示した。

以上要するに、本論文はモデルベースレンダリングとイメージベースレンダリングを統合した新しいレンダリング手法を提案するとともに実装によって有効性を検証したものであり、コンピュータグラフィックスの分野の新しい知見を与えたものである。よって本論文は北海道大学博士(情報科学)の学位を授与するに値するものと認める。