

学位論文題名

計算機合成ホログラムにおける物体の材質と質感表現に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、奥行きのある立体物体を表示する 3D ディスプレイが注目されており、様々な方式の 3D ディスプレイ技術が研究・開発されている。これらの技術の多くは、左右の眼に異なる画像を見せることで、視差情報を用いて表示物体を立体と認識させるものである。しかし、人の眼の立体視要因すべてを満足するものではなく、眼への疲労感など自然な立体視は困難であった。これに対して、光学ホログラフィ技術は、左右の眼に対して画像の代わりに光波を入射することで立体視を行うものである。実在の物体から眼へと到達する光波を完全に再現できるため、人が実在物体を見るのと同様に、自然な立体視が行える。

本研究の対象である計算機合成ホログラム (Computer Generated Hologram: 以下,CGH) は、この光学ホログラフィの記録過程における光波の物理現象を、計算機の数値シミュレーションを行うことで、ホログラムデータを作成するものである。そして、ホログラムデータをフィルムや LCD などのデバイスに出力することで、ホログラムが作成される。CGH では、光学ホログラフィの記録原理に基づいているため、得られたホログラムデータから光学ホログラフィと同様に自然な立体物体を表示できる。また、計算機内で作成した仮想物体を表示可能という特徴を持つ。これらの利点のため、将来の 3D ディスプレイ技術として注目されているが、実用化までの課題が多数報告されている。

本研究では、CGH によって表示された立体物体 (再生像) のリアリティ向上を目的として、CGH における物体表現技法の確立を目指し研究を進めてきた。CGH と同じように仮想物体を表示できるコンピュータグラフィックス (Computer Graphics: 以下,CG) 技術では、様々な物体表現技法が確立されているため、実写と見間違ふかのような非常にリアリティの高い映像を作り出すことができる。同じモデルデータを用いて映像として出力する際に、物体表現技法を考慮したか否かで、得られる映像のリアリティやクオリティは大きく異なる。一方、CGH における物体表現技法は、まだ研究段階であり、再生像は光学ホログラフィと比較しても、非常に低いものとなっている。

本研究では、CGH における各種光波の計算に、物体表現技法を取り入れることによって、従来では表現できなかった物体の材質や質感を再生像に表現する。物体表面の質感や材質は、物体表面における反射光の分布である反射特性によって決定され、これにより石膏やプラスチック、金属などの材質を区別している。この反射特性は、一般に環境光、拡散反射光、鏡面反射光の組み合わせによって表現されている。例えば、紙などの材質では完全拡散反射、鏡などの材質では完全鏡面反射になる。CGH では、様々な反射特性の表現を行う光波の反射理論が未確立であったため、従来では簡易的なモデルとして扱われ、完全拡散・鏡面反射しか表現することができなかった。そこで本研究では、CGH で表現される物体に対して、これらの様々な反射特性を付与することで、再生像に質感を与える方法を検討する。また、物体の質感表現には反射特性だけではなく、スムーズシェーディングや映り込み特性といった物体表現技法も重要である。そこでこれらの物体表現技法を CGH へと適用し、従来では表

現できなかった物体の質感や材質を表現する。

各章の内容は、以下の通りである。

第1章では、3次元像表示技術の概要および課題、ホログラフィ技術の原理と応用、CGHの原理と研究動向について述べ、さらに本研究の研究背景と目的について述べている。

第2章では、CGH計算の原理について述べている。

第3章では、本研究で取り扱う物体表現技法に関して述べ、第4～7章においてそれぞれの物体表現技法を考慮したCGH計算法を提案し、その原理および計算機上でのインプリメンテーションに関して述べている。

第4章では、反射特性を考慮したCGH計算法を提案した。物体表面の粗さをモデル化し、その表面上における光波の波面としての反射の振る舞いを理論化した。波動光学的数値シミュレーションを行い、反射理論により得られた反射光が、表面の粗さに応じた様々な反射特性を表現できることを示した。表面の粗さがどのように反射特性に影響を与えるかを数値シミュレーションによって調査し、理論と比較した。その結果、粗さに応じて反射特性が制御可能であることを明らかにし、理論と望ましい一致を確認した。実際にホログラムを作成し、様々な反射特性が表現された再生像を実現した。

第5章では、ポリゴンモデルを用いたCGH計算法を導入した。ポリゴンモデルにより、平面ポリゴンによって構築された立体物体を表現可能であり、前述した反射特性とポリゴンモデルを組み合わせたCGH計算法を確立した。その結果、反射特性を持つ立体物体を表現可能であることを示した。

第6章では、スムーズシェーディングを考慮したCGH計算法を提案した。従来、ポリゴンモデルで表現された物体は、平面ポリゴン間の明るさが滑らかに表現できず、曲面形状を持つ物体の表現が困難であった。曲面や平面の表面形状に応じた光波の反射を理論化し、平面ポリゴンで構築された立体物体から、滑らかな曲面形状を持つ立体物体における光波の反射計算を可能にした。

第7章では、映り込み特性を考慮したCGH計算法を確立した。従来のCGH計算では、物体への入射光波は簡易的なモデルとして扱われていた。物体周囲からの入射光波という概念を導入し、入射光波を厳密に計算することで、この入射光波に対する物体表面における反射を理論化した。これにより、物体表面に周囲の環境が映り込んで見える映り込み特性をCGHにおいて実現した。

第8章では、今後の課題について述べている。

最後に第9章では、本研究を通して得られた結果と今後の展望について述べている。

これらの結果から、本研究の反射理論により得られた光波がCGHにおける反射特性を表現可能であること、また、物体表現技法を表現した再生像を表示可能であることを示した。これにより、従来CGHでは表現できなかった物体の質感や材質を、本研究により表現可能であることを明らかにした。

学位論文審査の要旨

主査	准教授	坂本雄児
副査	教授	山本強
副査	教授	荒木健治

学位論文題名

計算機合成ホログラムにおける物体の材質と質感表現に関する研究

近年、奥行きのある立体物体を表示する 3D ディスプレイが注目されており、様々な方式の 3D ディスプレイが研究・開発されている。光学ホログラフィ技術は、3 次元像表示技術の 1 つであり、実在の物体から眼へと到達する光波を完全に再現できるため、人が実在物体を見るのと同様に、自然な立体視が可能である。

本論文の対象である計算機合成ホログラム (Computer Generated Hologram:以下,CGH) は、この光学ホログラフィの記録過程における光波の物理現象を、計算機の数値シミュレーションを行うことで、ホログラムデータを作成するものである。CGH では、得られたホログラムデータから光学ホログラフィと同様に自然な立体物体を表示できる。また、計算機内で作成した仮想物体を表示可能という特徴を持つ。これらの利点のため、将来の 3D ディスプレイ技術として注目されているが、実用化までの課題が多数報告されている。

本論文では、CGH によって表示された立体物体 (再生像) のリアリティ向上を目的として、物体表現技法を考慮した CGH 計算法を提案している。CGH における物体表現技法は未確立であるため、表示された物体のリアリティは光学ホログラフィやコンピュータグラフィックスと比較すると、非常に低いという問題が生じていた。この問題を解決するために、提案手法では、CGH における各種光波の計算に物体表現技法を取り入れ、物体の材質・質感を再生像に表現している。物体表面の材質・質感は、反射特性と呼ばれる物体表面における反射光の分布によって決定されている。CGH では、様々な反射特性の表現を行う光波の反射理論が未確立であったため、従来では簡易的なモデルとして扱われ、紙や石膏のような物体しか表現することができなかった。提案手法では、様々な反射特性を付与することにより、再生像の材質・質感を表現している。さらに、反射特性だけではなく、スムーズシェーディングや映り込み特性といった物体表現技法を CGH へと適用し、従来では表現できなかった物体の材質・質感を表現している。

本論文は 9 章で構成されており、各章の内容は以下の通りである。

第 1 章では、3 次元像表示技術の概要および課題、光学ホログラフィ技術の原理と応用、CGH の原理と研究動向について述べ、さらに本論文の研究背景と目的について述べている。

第 2 章では、CGH 計算の原理について述べている。

第 3 章では、本論文で取り扱う物体表現技法に関して述べ、第 4～7 章においてそれぞれの物体表現技法を考慮した CGH 計算法を提案し、その原理および計算機上でのインプリメンテーションに

関して述べている。

第4章では、反射特性を考慮した CGH 計算法を提案している。物体表面の粗さをモデル化し、その表面上における光波の波面としての反射の振る舞いを理論化している。波動光学的数値シミュレーションを行い、反射理論により得られた反射光が、表面の粗さに応じて様々な反射特性を実現できていることを示している。また、表面の粗さがどのように反射特性に影響を与えるかを数値シミュレーションによって理論と比較している。その結果、粗さに応じて反射特性が制御可能であることを明らかにし、理論との望ましい一致を確認している。

第5章では、ポリゴンモデルを用いた CGH 計算法を導入している。ポリゴンモデルにより、平面ポリゴンによって構築された立体物体を表現可能であり、前述した反射特性とポリゴンモデルを組み合わせた CGH 計算法を確立している。その結果、反射特性を持つ立体物体を表現可能であることを示している。

第6章では、スムーズシェーディングを考慮した CGH 計算法を提案している。従来、ポリゴンモデルで表現された物体は、平面ポリゴン間の明るさが滑らかに表現できず、曲面形状を持つ物体の表現が困難であった。曲面や平面の表面形状に応じた光波の反射を理論化し、平面ポリゴンで構築された立体物体から、滑らかな曲面形状を持つ立体物体における光波の反射計算を可能にしている。

第7章では、映り込み特性を考慮した CGH 計算法を提案している。従来の CGH 計算では、物体への入射光波は簡易的なモデルとして扱われていた。物体周囲からの入射光波という概念を導入し、入射光波を厳密に計算することで、この入射光波に対する物体表面における反射を理論化している。これにより、物体表面に周囲の環境が映り込んで見える映り込み特性を CGH において実現している。

第8章では、今後の課題について述べている。

最後に、第9章では、本論文を通して得られた結果と今後の展望について述べている。

これを要するに、著者は、計算機合成ホログラムにおいて、物体表現技法を考慮した計算手法を提案し、表示物体の材質・質感表現を実現したものであり、情報メディア学の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。