



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	計算機合成ホログラムにおける光線追跡法を用いたレンダリング手法に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	市川, 翼
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第11304号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55557
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Tsubasa_Ichikawa_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（情報科学） 氏名 市川 翼

学 位 論 文 題 名

計算機合成ホログラムにおける光線追跡法を用いたレンダリング手法に関する研究
(Study on Rendering Techniques with the Ray Tracing Method for Computer Generated Hologram)

近年、映画やゲームなどを通じてコンピュータグラフィックス (Computer Graphics: 以下 CG) で作成された非常に美しい動画を視聴する機会が増えている。またその CG 技術を利用した 3 次元表示技術への注目も高まってきており、様々な方式の 3 次元ディスプレイが開発されている。現在主流となっている 3 次元表示方式はステレオグラムと呼ばれる左右に異なる画像を見せることで、視差情報により視聴者へと表示物体を立体物と認識させるものである。しかし本方式では輻輳と焦点調節の不整合が生じてしまい長時間の視聴では疲労の原因になると言われている。これに対しホログラフィは理想的な 3 次元表示技術と言われており、実物体と同様の光波を再現することで自然な 3 次元映像視聴を可能とする。

本論文の研究対象である計算機合成ホログラム (Computer Generated Hologram: 以下 CGH) とはホログラフィの記録過程における光波の伝搬、干渉を計算機によってシミュレートすることで作成されるホログラムである。CGH の大きな特徴としてホログラムの記録の際に仮想物体を用いることが可能であることが挙げられる。これにより物体の配置や形状を自由に設定することが出来る。しかしながら CGH において CG のような写実的な再生像を表示するためのレンダリング技術が未確立であるということや CGH 計算に膨大な時間を必要とするという問題点がある。そこで本研究では CGH におけるレンダリング技術に着目し、上下左右両方の視差を持つリアリスティックな 3 次元像を表示する高速 CGH 計算法を確立した。

通常 3 次元画像を表示する際には、背後の物体が前面の物体によって隠されることを表現する隠面処理が必要となる。本研究では光線追跡法を用いて隠面処理を行う CGH 計算法を提案してきた。光線追跡法は非常に単純なアルゴリズムを持つが、リアリティの高い画像を作成することが出来る。本研究では仮想物体と光線追跡法により飛ばされた光線の交点群を点光源の集合として扱い、この点光源群からの光波を計算することで CGH を作成する。ホログラフィでは視点の移動に伴う運動視差の表現が必要となる。そこでホログラム面を複数の要素ホログラムと呼ばれる小さなホログラムに分割し、それぞれの要素ホログラムの中心を光線の始点とすることで領域ごとに要素ホログラムの点光源集合を生成することで解決した。要素ホログラムごとに正しい奥行きを持った像が再生されるため自然な 3 次元像の観察が可能である。

本手法の特徴として各要素ホログラムおよび各光線は独立しているため並列化に向いており高速処理が容易であることがあげられる。また光線追跡法を用いているため反射特性や多重反射による映り込み、屈折、透過処理などの複数のレンダリングを CGH に同時に適用することが可能である。これまで CGH においてこのレンダリングを表現するための手法は提案されていたが、それらを組み合わせて同時に用いることは出来なかった。これに対し本手法は多くの現象を表現することが出来る汎用的な手法であり、写実的な物体を CGH で表示する有効な手法であるといえる。

また本手法では再生装置としてフーリエ変換光学系を基とした表示システムを用いた。干渉縞を

電子デバイスに表示する電子ホログラフィでは再生像を表示できる領域、すなわち視野が非常に狭くなってしまう。そこで CGH の視野を拡大するためにフーリエ変換光学系を用いた。フーリエ変換光学系では視野が拡大するが視域が狭くなってしまう、両眼での観察が難しい。そこで 2 体のフーリエ変換光学系を用意することで、両眼視が可能となり自然な 3 次元像の視聴を実現した。また本表示システムでは CGH のフルカラー再生のために時分割表示システムを採用している。

本論文はいかに示す 9 つの章によって構成されている。

第 1 章では、3 次元ディスプレイ技術とそれを取り巻く状況、立体視要因、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 章ではホログラフィによる 3 次元像の記録・再生原理について、また CGH 計算の原理についても述べている。

第 3 章では CGH の再生像に反射特性を付与するために、FDTD 法を用いて物体表面での反射光を厳密に求める手法について述べている。FDTD 法を用いることで材質の違いや複雑な表面構造での光の反射を厳密に計算することが可能である。表面構造は原子間力顕微鏡を用いて実物の表面を測定し、材質毎に正しい反射特性が現れていることをコンピュータシミュレーションおよび光学再生実験により示した。

第 4 章では写実的な画像をレンダリングするために必要な要素を紹介し、またそれらの効果について述べている。

第 5 章では光線追跡法を用いて CGH へと隠面処理などの各種レンダリング技法を適用する方法について述べている。隠面処理を実装するために要素ホログラム毎に光線追跡法により得られた点光源群より光波伝搬計算を行い上下左右の視差を持つ CGH 計算法を確立した。また屈折・反射といった表現は透過・反射先の輝度値情報のみならず、光路長を考慮することで正しい奥行きを再現した。

第 6 章では表示デバイスとして用いたフルカラーホログラフィックディスプレイについて述べている。まずフーリエ変換光学系の構成とその原理について説明し、フーリエ変換光学系において正しい位置に再生像を表示させるための CGH 計算法を理論化した。また両眼視を行うにあたり、左右に表示される CGH へと視差を付与するための視差補正計算についても理論化した。

第 7 章では GPU を用いた本研究の高速計算手法について述べている。本研究では CGH 計算の殆どを GPU による計算により高速化が図られ、短時間でリアリスティックな 3 次元像を表示する CGH 作成に成功した。

第 8 章では光学再生実験の結果を載せ、本研究の有効性を示している。特に反射・屈折表現については、本手法が反射像や透過物体を通して屈折した像の輝度値だけでなく奥行きの表現についても成功していることを示した。また各種レンダリング表現技法を組み合わせることで複雑なシーンによる CGH 動画生成を行い、本研究による CGH 計算法が汎用的でかつ高速であるという優位点を示した。

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、本研究の光線追跡法を用いた CGH 計算法が隠面消去や反射特性といったレンダリング技法を実装することにより再生像のリアリティの向上に成功したことを示した。また、フーリエ変換光学系を基とした表示システムを利用することで広い視野を持つ 3 次元映像の自然な視聴が可能であることを示した。