



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A Study on High-Speed Calculation using the Characteristics of Human Eyes in Computer-Generated Hologram [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	韋, 靈傑
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第14284号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/79569
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Lingjie_Wei_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 韋 霊傑

学 位 論 文 題 名

A Study on High-Speed Calculation using the Characteristics of Human Eyes in Computer-Generated Hologram

（ 計算機合成ホログラムにおける人間の目の特性を利用した高速計算に関する研究 ）

3D は「Three Dimensions」の略で、3 次元と 3 つの座標、つまり長さ、高さと奥行きを指している。今の 3D は、主にコンピューターとインターネットに基づくデジタル 3D を意味している。3 次元技術、つまり 3 次元のデジタル化は 3D ソフトウェア技術とハードウェア技術を含んでいる。人間は通常、2 つの目の間には数センチの距離がある。3D イメージングはこれらの両眼の数センチの視覚的な違いによって生成される。

人間が 3D 画像を見る時、左目と右目では異なる画像を見ている。これにより、2 つの画面の間に一定的なギャップを利用し、実際の人間の目をシミュレートすることによって、3D 立体感を得ることができる。人間の目が 3 次元物体を知覚する場合、それは主に次の要素で構成されている:両眼視差、運動視差、焦点調節と輻輳調節。

ホログラフィック技術では、光の干渉と回折の原理を利用して、人間の全ての生理的な要因を満たし、記録された物体を忠実に再現する技術である。ホログラフィック技術における「ホログラム」という用語は「光のすべての情報」を意味し、記録された物体によって放出された光のすべての情報（位相、振幅など）を記録および再生するための光投影の技術である。同時に、物体の記録された光波情報を再現するための光干渉と回折の原理により、現実的なイメージング効果を実現することができる。そして、計算機合成ホログラム (CGH) とは、従来の光学ホログラフィーの記録の段階をコンピュータで計算し、物体の全ての光波情報をデジタルデータとして記録する技術である。この利点としては、従来の複雑な光学システムを必要とせず、アニメーションやゲームなどの生成ができる。しかし、CGH ではまだ多くの欠点があり、その 1 つは膨大な計算量である。従って、この論文は、CGH の大量の計算と長い計算時間の短所に焦点を当て、CGH の計算量と計算時間を削減するためのいくつかの解決策を提案する。

よって、本論文は以下の 8 章で構成されている。

第 1 章では、3D 表示技術の現在、将来と本論文の研究背景と研究目的について説明する。第 2 章では、ホログラフィ技術と CGH 技術について紹介する。第 3 章では、本論文に使用されている光学システムについての説明をする。

第 4 章では、提案手法に使用されている Foveated Rendering 技術について説明する。内容としては以下になる:

人間は通常、水平方向に約 160 度、垂直方向に約 135 度の視野を見ることができるが、視野の中心で 5 度の範囲内でのみ、物体の詳細を見ることができる。この小さな領域は中心窩と呼ばれる。そして、人間の目の分解能がこの小さな領域を超えた後、角距離が増加するによって、急速に悪くなる。VR の分野では、人間の目のこの特性を利用して、5 度の中心視野以外の解像度を下げることによって、Foveated Rendering と呼ばれる技術を用いて、HMD(ヘッドマウントディスプレイ) の計算速

度の高速化を実現している。この論文では、筆者が最初に提案した方法は、Foveated Rendering 技術を使用して CGH 計算の量を削減し、それによって CGH の計算を高速化することである。

続いて第 5 章では、提案手法の CGH で Foveated Rendering を用いて、高速計算の説明である。内容は以下になる：

Foveated Rendering を使用する場合、CGH 再生像の周辺領域 (5 度の範囲外の領域) を高い解像度でレンダリングする必要がないことはすでにわかっている。従って、計算量を減らすためには、周辺領域の解像度を下げる必要がある。ただし、CGH の場合では、CG 画像のように画像のピクセル数を減らして解像度を下げることはできないので、別の方法で CGH 再生像の解像度を下げる必要がある。CGH の計算方法では、本論文はレイトレーシングを使用して CGH をレンダリングすることであり、レイトレーシングの基本原理は、無数の光線を投射してシーン全体をレンダリングすることである。そこで、CGH の周辺領域の解像度を下げるために、光線数を減らすことによってできる。しかし、光線間の角度を単に増やすだけでは、CGH 再生像が実際に観察すると、点光源と点光源の間に非常に明確な隙間が生じて、元の連続平面が離散点光源になる。この場合、CGH を観察すると、観察者に大きな影響を与えられる。従って、この問題を解決するには、これらの離散点光源間の隙間を埋める方法を見つける必要がある。

ゾーンプレートは、半分のフレネルゾーンプレートの奇数または偶数のバンドをブロックするために、透明と不透明のリングを交互に組み合わせて構成されている。点光源照明下で、ゾーンプレートの高強度点光の回折特性が得られる。CGH では、各点光源のゾーンプレートによって形成される。そして、再生される点光源のサイズはゾーンプレートの半径に反比例するため、これらの隙間を埋めるためにゾーンプレートの半径を小さくすることで、点光源を大きくぼかすことができる。また、光線数の減少とゾーンプレートの半径の減少により、CGH の計算量をさらに削減でき、高速計算の目的を達成できる。

第 6 章では、提案手法に使用されている Saccade について説明する。内容としては以下になる：

この論文を読んだり、部屋の中を見たり、動いている電車の窓から外を見たりすると、目は常に動いている。この素早い目の動きはサッケードと呼ばれる。サッケードは、人間の目の最大の振幅と最速の動きの一種であり、人間の目が凝視しようとするときに発生する不随意の目の動きである。人間は通常、このサッケードの発生を認識していない。近年、視覚生理学の分野では、サッケード、視覚知覚、視覚認知の相互作用が注目を集めている。

第 7 章では、提案手法の CGH で Saccade Suppression を用いて、高速計算の説明である。内容は以下になる：

サッケードは人間の目の最速の眼球運動である (一秒 1000 度に達する可能性がある)。サッケードは、人間の無意識状態で一秒毎で 2 ~ 8 回程度発生するが、外部刺激によっても発生することができる。外部刺激のため、サッケードは通常、外部刺激にตอบสนองして発生するために約 200 ミリ秒を必要とする。そして、眼球運動の幅に応じて、各サッケードは約 20 ~ 200 ミリ秒で持続する。サッケードが発生した後、人間の目はしばらくの間視覚情報を抑制する。つまり、各サッケードの後、私たちは外界からの視覚情報をほとんど感じていない。この現象はサッケード抑制と呼ばれる。視覚抑制の持続時間は、サッケードの動きの振幅とほぼ厳密な線形関係にあるため、サッケードの振幅が大きいほど、サッケード抑制の持続時間が長くなる。筆者が人間の目のこの特性に基づいて、CGH で、アイトラッキング装置を使用して、人間の目にサッケードが発生したかどうかを検出し、

サッケードが発生した直後、CGH の解像度を大幅に削減することによって、CGH の計算量を大幅に減少できる。この論文では、サッケード抑制を使用して CGH 計算量を削減することで、CGH の計算速度を大幅に向上させることができる。

最後に第 8 章では、本論文で述べた提案手法とそれによって得られた実験結果についてのまとめと今後の展望である。

以上の内容から、CGH の高速計算ができ、更に、人間の目の特性に相応しい CGH を生成することができる。本論文で提案された手法は、将来的に、CGH のリアルタイム計算である最も理想的な 3D イメージングテクノロジーに大きな影響を与えられる。