



Title	ホログラムの無損失圧縮に関する研究
Author(s)	KIM, Dukhyun
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16994号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16994
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99838
Type	doctoral thesis
File Information	KIM_Dukhyun_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学) 氏名 キム ドクヒョン

審査担当者 主 査 教 授 土橋 宜典
 副 査 教 授 小川 貴弘
 副 査 教 授 長谷山 美紀

学位論文題名

ホログラムの無損失圧縮に関する研究
(Study on Lossless Compression for Holograms)

3次元立体映像の発展とともに関連製品が実生活において普及するにつれ、観察者はより没入感のある完全な3次元立体映像を実現したサービスへの要求を高めている。ホログラフィ技術は、物体光の振幅のみを記録する従来の2次元写真とは異なり、物体光と参照光の干渉を通じて光の位相、振幅、方向のすべてを記録することができる。この特性により、空間上に物体波の波面を再生し、3次元物体を形成することが可能となる。再生されたホログラムは、観察者が3次元立体映像として知覚するための生理学的要素 (physiological cue) と経験的要素 (experiential cue) の両方を満たしている。これにより、従来の3次元映像で問題となっていた物体の奥行き要素 (depth cue) と目の収束調節の不一致に起因する収束焦点不一致 (vergence-accommodation conflict, VAC) から解放され、自然の映像を直接見ているような視聴体験を提供する。そのため、ホログラフィは「究極の3D技術」として高く評価されている。

ホログラムを観察するためには、ホログラム専用のディスプレイである空間光変調器 (Spatial Light Modulator, SLM) が必要であり、SLMのスリットに参照光を照射し、スリットで回折された光によってホログラムを観察することになる。このとき、再生映像の観察角度はSLMのピクセルピッチに依存する。ピクセルピッチが広がると光の回折角が小さくなり、観察者の視野角に制限が生じる。そのため、広い視野角を実現するためには、1 μ m以下の超高解像度SLMの開発が必要となる。しかし、1 μ mのピクセルピッチを持つSLMをモバイルディスプレイサイズで製作する場合、表示されるホログラムデータの量は約13GBに達し、限られた通信帯域幅の中でホログラム放送サービスを実現するためには、ホログラムデータの圧縮が不可欠である。しかしながら、ホログラムデータは、ピクセルデータの変動性が大きく、空間的相関性が非常に低いため、2次元画像とは異なる特性を有している。このような性質により、従来の2次元画像に適用されてきた損失および無損失圧縮手法では高い圧縮効果を得ることができなかった。ホログラムの場合、画面全体に高周波成分が広く分布しているため、JPEGのような損失圧縮を適用すると、画像全体の画質が著しく劣化し、観察視野角にも制限が生じる。また、データ間の空間的相関性が非常に低いため、統計的特性に基づく従来の無損失圧縮アルゴリズムにおいても、圧縮率が低いという課題がある。したがって、本論文では、膨大なホログラムデータを効率的に圧縮するため、次の2つの手法を提案した。

提案手法1では、ホログラムの干渉縞上に存在する方向性に着目し、方向に沿うピクセルデータ間には空間的相関が高いという仮定のもと、その方向に沿った線形予測符号化を適用する手法を提

案した。

提案手法 2 では、膨大なホログラムデータを効率的に圧縮するため、フォビエイテッドレンダリング技法における周辺領域の解像度を調整する手法を提案し、提案手法によりホログラムを生成して、無損失圧縮率および解像度調節に伴うデータ特性を調査した。

本論文は以下に示す 6 つの章によって構成されている。

第 1 章では研究の背景と目的について述べている。

第 2 章ではホログラムの原理について説明している。物体光と参照光の定義、二つの光の干渉、再生原理について説明し、最後に CGH(computer-generated hologram) について説明している。

第 3 章では、ホログラムデータの特性について説明している。ホログラムデータの変動性が大きい理由として、Fresnel ゾーンに起因することを述べている。

第 4 章では、提案手法 1 について述べている。手法 1 では、干渉縞の方向性に基づく無損失圧縮アルゴリズムとして、線形予測符号化とその実験結果について説明している。干渉縞上の方向を特定するため、8 つの方向を設定してデータをスキャンし、エントロピーが最も低い方向に沿って線形予測符号化を適用する。そのあと、元のホログラムデータと線形予測したデータとの差分によりデータ圧縮を行う。

第 5 章では、提案手法 2 について述べている。人間の視覚システムは、約 5～20 度の視野角においてのみ高解像度で物体を認識し、それ以外の領域では低解像度で認識するという点に着目したフォビエイテッドレンダリング技法を利用し、周辺領域の解像度調節方法について説明する。そして、提案した解像度調節方法で生成した干渉縞に 5 つの無損失圧縮アルゴリズムを適用した実験およびその結果について述べる。

第 6 章では、本研究を通して得られた結果とその検討について述べている。

これを要するに、本論文は、ホログラムデータの圧縮に関して、干渉縞の方向性に着目し、空間的相関が高い方向に沿った線形予測符号化による無損失圧縮手法、および視野中心のみを高解像度とするフォビエイテッドレンダリングに基づく解像度調整手法の 2 つを提案し、それぞれの有効性を実証した。本論文は、ホログラム圧縮の課題に対し実用的かつ独創的な解決策を提示しており、ホログラフィ映像技術の発展に大きく寄与する。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。