

令和 2 年 5 月 28 日現在

機関番号：22604

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H06468・19K21536

研究課題名（和文）ベクトル量子化を用いた電子ホログラフィの高効率圧縮伝送方式

研究課題名（英文）Effective compression scheme for electro-holography based on vector quantization of point-light-sources

研究代表者

西辻 崇 (Nishitsuji, Takashi)

首都大学東京・システムデザイン研究科・助教

研究者番号：70826833

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：生理的に最も自然な3次元映像を再生可能な電子ホログラフィにおいて、映像再生に必要な計算機合成ホログラム（CGH）の伝送・生成に伴う膨大なデータ量・計算量は実用化に向けた重要課題である。本研究では、CGHの伝送に替わり、一般にデータ量の小さい3次元情報である点群を伝送し、受信後にCGHを生成する方式において、変換時の計算量と伝送量削減を両立する点群の圧縮方式を開発した。奥行方向に連続する点群に対するCGHの計算過程が簡略化可能であることに着目し、点群を奥行方向にベクトル量子化して伝送する。最大で8～9割程度の伝送量削減とシンプルな計算方式に比較して最大110倍程度の高速化に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

電子ホログラフィは高臨場感の3次元映像再生を実現できることから、遠隔地間で質感などを共有できるテレコミュニケーション技術としての期待が高い。このような技術が普及すれば、テレワークはもとより、医療、教育など、現在では対面が前提となっているシステムにおいて、同等のコミュニケーションをリモートで実施可能になり、移動や接触に伴う種々のリスク・コストを軽減できる。一方、通信容量や計算機性能の向上だけでは電子ホログラフィの要求性能到達は容易ではない。そのため、伝送・計算量削減を同時に考慮する本研究は、電子ホログラフィ実用化に重要な貢献をなすものであり、本研究に基づく今後の技術発展も十分に期待できる。

研究成果の概要（英文）：In electronic holography, which is capable of reproducing the most physiologically natural three-dimensional images, the amount of data to be transmitted and the huge amount of computation required to generate a computer-generated hologram (CGH) for image reproduction are important issues for practical use. In this study, we have developed a compression method for point clouds that can reduce both computational and transmission costs in a method that transmits point clouds, which are generally small amounts of 3D information, instead of transmitting CGH. Focusing on the simplicity of the CGH calculation process for a continuous point cloud in the depth direction, we transmit a vector quantized point cloud in the depth direction. The proposed method reduces the transmission rate by a maximum of 80-90% and increases the speed by a maximum of 110 times compared to a simple calculation method.

研究分野：光学，計算機工学

キーワード：ホログラフィ 電子ホログラフィ 3次元映像 圧縮符号化 点群 ベクトル量子化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

電子ホログラフィ方式の 3 次元映像は物体の反射光を忠実に再現できる唯一の技術である。しかし、映像の電子的な記録媒体であり、点群などの 3 次元情報から作成される計算機合成ホログラム (Computer-Generated Hologram: CGH) の生成ともなう膨大な計算量やデータ量を主因として実用化には至っておらず、高速計算、データ圧縮技術の開発が求められている。

CGH の高速計算技術は電子ホログラフィ研究が本格化した 1990 年代より多くの研究成果があり、計算量削減アルゴリズムや高速計算システム開発など多岐にわたる。一方、データ圧縮技術では、CGH が画像状のデータであることから、既存の動画像圧縮技術を流用した方式が提案されている。しかし、CGH は映像フレーム間の画像的相関が低いなど、一般的な自然画像とは性質が異なるため、既存方式による圧縮効果は限定的であった。

既存方式と対立する方式として、3 次元像情報 (点群) を伝送する方式が考えられる。点群は CGH に比較してデータ量が小さい場合が多く、データ量の点では優位である。しかし、計算量の多い CGH 変換を、一般に計算性能が高くない受信後の端末 (テレビなどを想定) で行うのは容易ではない。そのため、同方式においては、CGH 変換時の計算量削減を両立できれば、電子ホログラフィ方式の 3 次元映像技術における有望な圧縮伝送方式となる。

2. 研究の目的

電子ホログラフィに特化した 3 次元映像の圧縮伝送方式の開発を目的に、CGH に代わり 3 次元情報 (点群) を伝送し受信後に CGH へ変換する方式において、データ量の圧縮と CGH 変換の計算量削減を両立する点群の圧縮符号化方式を開発する。

3. 研究の方法

点群を入力とする CGH 高速計算に関する代表者の先行研究である Crape and Stamp (CS) 法 [引用文献] を応用する。点群モデルからの CGH 作成は、点群を構成する各点光源が発する球面波が仮想平面上につくる波面のシミュレーションと見なせる。球面波の特徴から、各点が発する波面は同心円形状となる。CS 法では、この幾何学的特徴を活用し、事前計算した中心～外殻に伸びる直線上の波面を、コンピュータグラフィクス技術を用いて円上に展開することで高速化を実現した。

本研究では、奥行き方向 (z 軸方向) に連続する点光源が発する波面が、同様に同心円状になることに着目し、点群を奥行き方向に連続する単位でベクトル量子化・伝送し、量子化した単位で CS 法を適用して CGH を高速計算する方式を開発した。概要を図 1 に示す。本方式の利点は、a) 複数点を 1 つの符号語に割り当てることで点群の伝送データ量を圧縮可能、b) 複数点に対し同時に CS 法を適用することで計算量を削減可能、の 2 点である。

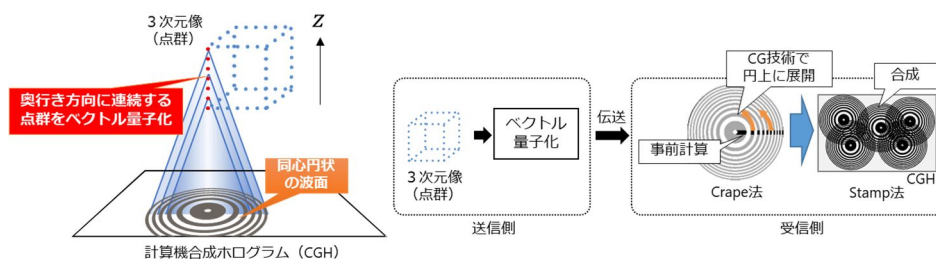


図 1 提案方式による 3 次元映像の伝送と CGH 計算手法 概要

4. 研究成果

本研究で開発した方式について、以下の 3 点から評価した。なお、評価には図 2 に示す 2 つの 3 次元点群 (Fountain, Merry-go-round) を利用した。

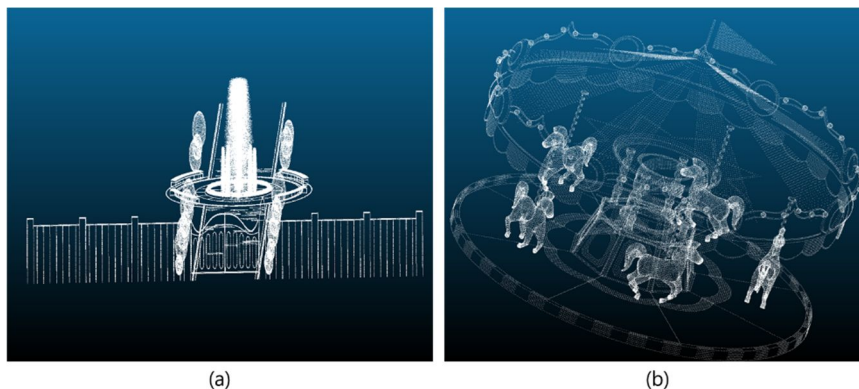


図 2 使用した 3 次元モデル : (a) Fountain, (b) Merry-go-round

(1)データ量削減

図 3 に非圧縮の CGH に対する圧縮率を点群数に関する推移と合わせて示す。比較として、CGH を既存の動画像圧縮方式 (JPEG2000<compression level 1, 2>, HEVC) で圧縮した場合の結果を併記した。既存方式の圧縮率は CGH の解像度に依存するため、今回の結果では圧縮率は常に一定となる。なお、CGH の解像度は 2,048×1,024 pixels とした。また、提案方式はベクトル量子化の単位長 (L) について 2 種類 (L=4,8) 評価した。図より、多くのケースにおいて提案方式は既存方式を上回っており、特に点群数が数万~十万点程度であれば、8~9 割近い削減に成功した。

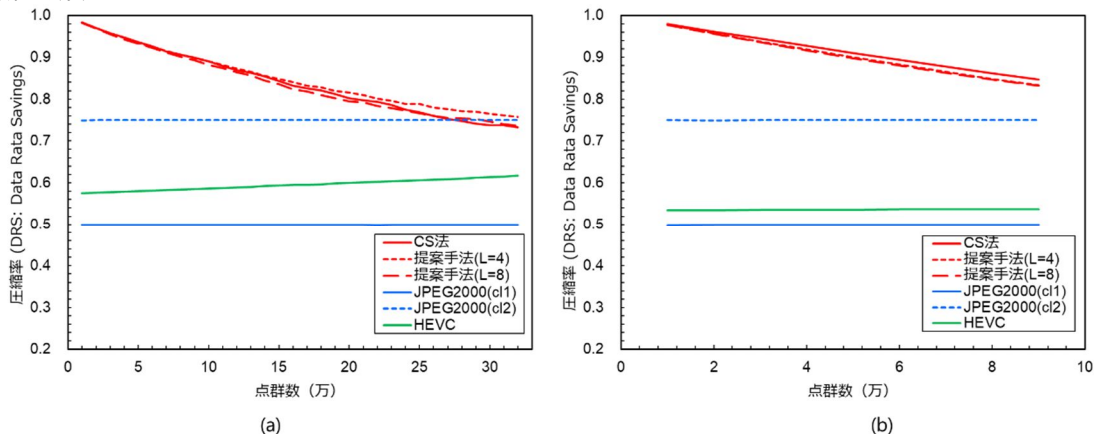


図 3 点群数に対する圧縮率の評価結果 : (a) Fountain, (b) Merry-go-round.

(2)画質

既存の動画像圧縮方式と同様に、提案方式も非可逆圧縮である。これは、CS 法による CGH 計算において、事前計算データを円状に展開する際に生じる近似誤差に依る。そのため、3次元画像の画質を評価した。評価は、3次元像の各奥行きにおける再生像を数値シミュレーションによって画像化し、真値(定義式に従って近似無く計算したCGHからの再生像)との Peak-Signal to Noise Ratio (PSNR) を計算、すべての奥行きについて平均した値によって行った。図 4, 図 5, に点群数に対する画質評価結果の推移と 3次元画像の一例(ある奥行き位置の再生像を切り取ったもの)を示す。なお、CS 法と提案方式は原理的に同一の CGH を出力するため、図 5 ではまとめて掲載した。図より、画質評価指標である PSNR は、提案方式が既存方式を上回っていることがわかる。また、一般的な高画質基準である 30dB を上回っていることから、画質観点でも提案方式の優位性が示せた。

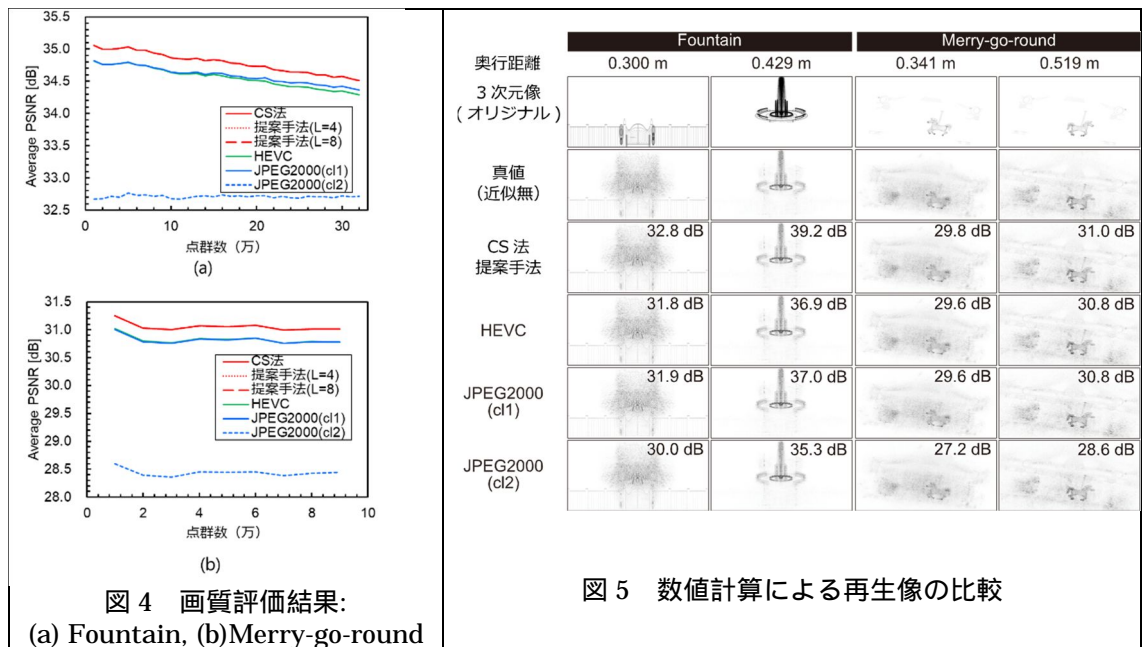


図 4 画質評価結果: (a) Fountain, (b) Merry-go-round

図 5 数値計算による再生像の比較

(3) 計算高速化

図 6 に提案方式の CGH 計算時間と、近似などを適用しない CGH 計算に伴う計算時間に対する提案方式の高速化率を示す。また、CS 法単体での計算時間も示す。図のように、提案方式はおよそ最大 110 倍程度の高速化に成功しており、CS 法単体に比較して、最大で 1.3 倍の高速化に成功した。また、図 6(b) に見られるように、点群数が少なく、空間的な密度が小さいケースにおいてベクトル量子化による高速化効果が見られなかったものがあった。

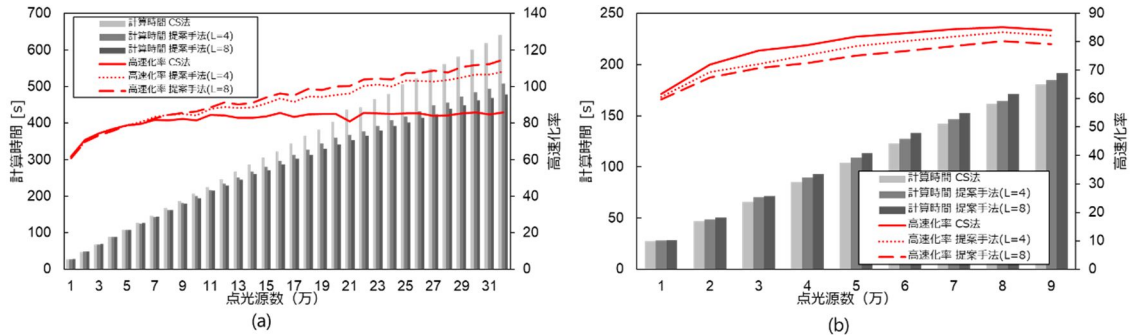


図 6 計算時間評価結果：(a)Fountain, (b)Merry-go-round

(4) 発展研究

奥行き方向ではなく水平方向に密に連続する点群が作る波面の特性が幾何的に極めてシンプルなることを発見し、この性質を利用した計算高速化手法を開発した。図 7 のように、水平方向に連続する点群が作る波面は 1 次元的に圧縮可能なパターンに収束する。本手法では、この事実を利用し、同じ奥行きに存在する線上の 3 次元像に対し、線に沿うように収束した波面を合成することで、このような 3 次元像に対して有効な高速フーリエ変換に基づく従来手法に比べ 80 倍以上の高速化に成功した。

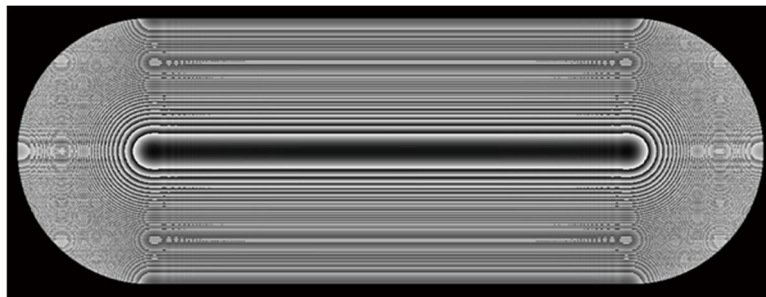


図 7 水平方向に密に連続する点群が作る波面の例
(波面の位相分布を画像化)

<引用文献>

T. Nishitsuji, T. Shimobaba, T. Kakue, N. Masuda, and T. Ito, "Fast calculation of computer-generated hologram using the circular symmetry of zone plates," Opt. Express 20(25), 27496–27502 (2012).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Nishitsuji Takashi, Shimobaba Tomoyoshi, Kakue Takashi, Ito Tomoyoshi	4. 巻 28
2. 論文標題 Fast calculation of computer-generated hologram of line-drawn objects without FFT	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 15907 ~ 15907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.389778	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Nishitsuji Takashi, Hosono Yudai, Kakue Takashi, Shimobaba Tomoyoshi, Ito Tomoyoshi, Asaka Takuya	4. 巻 27
2. 論文標題 Compression scheme of electro-holography based on the vector quantization of point light sources	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 11594 ~ 11594
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.27.011594	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 西辻崇, 細野湧大, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義, 朝香卓也
2. 発表標題 点群のベクトル量子化に基づく電子ホログラフィの圧縮伝送方式
3. 学会等名 2019年度第2回ホログラフィック・ディスプレイ研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細野湧大, 西辻崇, 朝香卓也
2. 発表標題 点光源の空間分解能を考慮したベクトル量子化とフレーム間差分による電子ホログラフィの圧縮伝送方式
3. 学会等名 2019年度第3回ホログラフィック・ディスプレイ研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細野湧大, 西辻崇, 朝香卓也
2. 発表標題 点群のベクトル量子化と空間分解能を考慮した電子ホログラフィの圧縮伝送方式
3. 学会等名 超知性ネットワーキングに関する分野横断型研究会 (RISING2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 細野湧大, 西辻崇, 朝香卓也
2. 発表標題 ベクトル量子化を用いた電子ホログラムの圧縮伝送方式
3. 学会等名 第13回日本光学会情報フォトニクス研究グループ関東学生講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----