

令和 4 年 4 月 28 日現在

機関番号：22604

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K19810

研究課題名（和文）コンピュータグラフィクス技術を応用した電子ホログラフィの計算高速化

研究課題名（英文）Fast calculation method for electro-holography based on computer-graphics techniques

研究代表者

西辻 崇（NISHITSUJI, TAKASHI）

東京都立大学・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） 2,100,000円

研究成果の概要（和文）：生理的に最も自然な3次元像を再生可能な電子ホログラフィにおいて、膨大な計算量の処理効率化は重要な実用化課題である。本研究では、線のみで構成される3次元像の再生に特化した電子ホログラフィの高速計算手法を開発し、原理的な手法に比較して最大3000倍以上の計算高速化に成功した。また、この計算手法をベースにしたペン入力インターフェイスを持つ手描きのインタラクティブ3次元像再生システムの開発にも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果では、文字や基本図形のアウトラインを3次的に、かつインタラクティブに再生可能であるため、カーナビゲーションシステムや作業支援システム等における拡張現実の表示手法として将来的な実用化が期待できる。従来の研究の多くが写実的な3次元像の再生を目指していたのに対し、表示可能な3次元像を限定することで計算処理を合理化する本研究のアプローチは独自性が高く、得られた高速化効果に鑑みても、今後のホログラフィ分野におけるマイルストーンとなりうる研究成果が得られた。

研究成果の概要（英文）：Electro-holography can reproduce the most physiologically natural three-dimensional (3D) image; however, the vast amount of computation has been a significant issue for practical uses. In this study, we developed a fast computation method for electro-holography specialized for reproducing 3D images consisting only of lines and succeeded in accelerating the computation rather than 3,000 times faster than conventional methods. Furthermore, we have also successfully developed a hand-drawn interactive 3D image replaying system with a pen input interface based on this computational method.

研究分野：光学，計算機科学

キーワード：ホログラフィ 3次元映像 電子ホログラフィ 高速計算

1. 研究開始当初の背景

電子ホログラフィは他の 3 次元映像技術と異なり人間の立体知覚要件を完全に満たせる唯一の方式である。しかし、映像再生に必要な画像データの種類である、計算機合成ホログラム (CGH: Computer-Generated Hologram) の生成にかかる計算量の膨大さを主因として実用化には至っていない。他方、表示する映像の情報量はコンテンツ依存であり、CGH の解像度に対して非常に小さくなるケースがある。例えば、図 1 の様なカーナビゲーションディスプレイへの適用では、表示する情報は記号や単純な図形で十分である。しかし、従来の計算手法では、表示する情報量が少なくても大きな計算量を必要とする。そのため、線のみで構成されるようなシンプルな 3 次元映像であっても、効率的に計算できなかった。

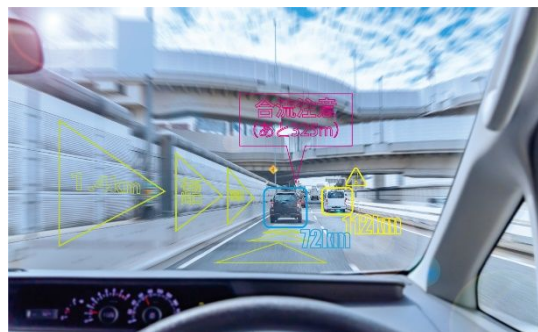


図 1 カーナビゲーションシステムへの 3 次元像投射のイメージ

2. 研究の目的

簡易的な情報表示には十分な表現が可能な、直線や基本図形など線のみで構成される 3 次元像に対して、高速に CGH 計算できる方式の開発を目的とした。

3. 研究の方法

計算機シミュレーションと光学実験により CGH 計算方式の開発、効果検証を行い、研究目的に合う計算手法を確立した。

電子ホログラフィでは、計算過程の簡易さから、点光源で構成された 3 次元像モデルを利用することが多く、本研究でもこのモデルを採用した。研究代表者は経験的に、3 次元像を構成する点光源が特定の条件を満たす場合、計算される CGH が特徴的な幾何構造を持ち、この特性を利用することで計算が簡略化可能なことを見出していた。例えば、研究活動スタート支援 (18H06468/19K21536, 代表: 西辻崇) で開発した高速計算手法では、点光源が奥行き方向に連続する場合には、CGH が円対称性を持つことを発見し、コンピュータグラフィックスの考え方をを用いた計算高速化に成功した。

本研究では、同じ奥行きに直線上に分布する点光源が作る波面が、部分的に線対称となることに着目し、同様にコンピュータグラフィックスの考え方をを用いた高速計算手法の確立を目指した。すなわち、CGH の計算過程において、同じ計算結果を使い回せる部分を抽出し、画像的な処理によって展開することで、従来手法と同等の CGH の出力が可能な計算手法を目指した。

4. 研究成果

図 2 に本研究で開発した高速計算手法の概要を示す。CGH の計算は 3 次元像を構成する点光源から発せられる光波のシミュレーションである。線は点の集合であり、線が無限長の直線である場合、線が作る波面は 1 次元的に収束する。本研究では、この事実を活用し、3 次元像を構成する線に沿って収束した波面を画像的に合成することで CGH 計算を近似的に代替する。従来の高負荷な計算を、コンピュータグラフィックスに基づく処理に置換できるため、大幅に計算量を削減できる。

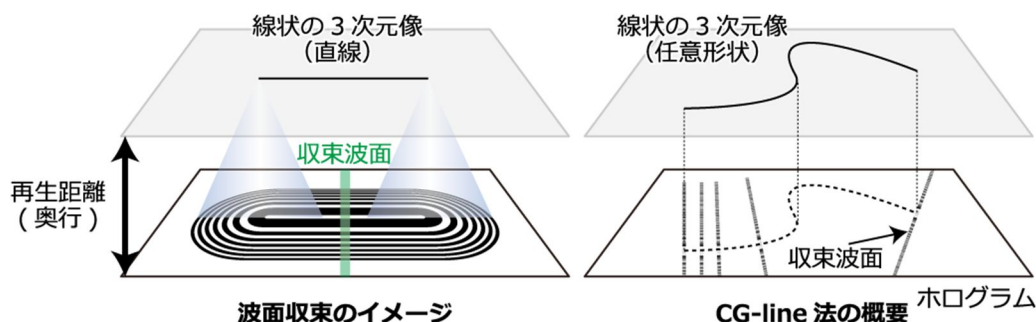
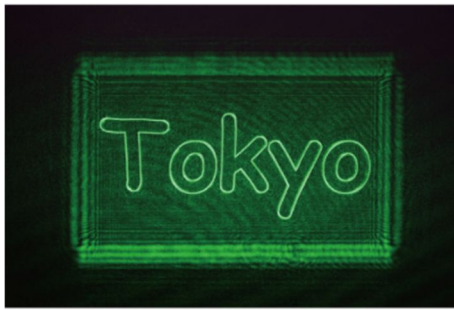


図 2 提案手法 (CG-line 法) の概要



従来手法による 3 次元像



CG-line 法による 3 次元像

図 4 3次元像の例

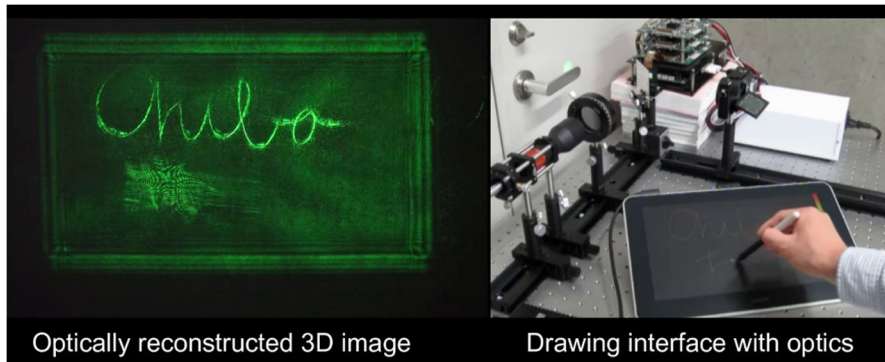


図 3 手描き入力による 3 次元像再生システム

図 3 に本研究で開発した手法 (CG-Line) 法で再生した 3 次元像と、従来手法で再生した 3 次元像の比較を示す。CG-Line 法による 3 次元像は、一部に画質の劣化が見られるものの、文字や図形を認識するには十分な 3 次元像を再生可能であることがわかった。CG-Line 法では最大で 3000 倍以上の高速化に成功しており、画質劣化の度合いに対して高い高速化効果が得られた。また、本研究では、CG-Line 法の高速度化効果を活かし、手描きの 3 次元像をペンタブレット経由でリアルタイム再生するシステムも開発した (図 4)。このシステムは注目され、日本光学会から「2021 年の光学研究」に選出されている。

CG-Line 法の発表をきっかけにベルギーのブリュッセル自由大学との共同研究を開始し、CG-Line 法のベースとなる現象を定式化し、奥行き方向の変化を伴う線を含む 3 次元像の CGH を作成可能にするなど、表現性の向上に成功している。研究期間を通じた成果は、論文数 5 件 (すべて Q1 ジャーナル)、学会発表 9 件、報道 3 件となり、世界的にも注目された研究成果を挙げられた。

以上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 5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 Blinder David, Nishitsuji Takashi, Kakue Takashi, Shimobaba Tomoyoshi, Ito Tomoyoshi, Schelkens Peter	4. 巻 28
2. 論文標題 Analytic computation of line-drawn objects in computer generated holography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 31226 ~ 31226
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.405179	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 該当する
1. 著者名 Nishitsuji Takashi, Kakue Takashi, Blinder David, Shimobaba Tomoyoshi, Ito Tomoyoshi	4. 巻 11
2. 論文標題 An interactive holographic projection system that uses a hand-drawn interface with a consumer CPU	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-78902-1	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 該当する
1. 著者名 Nishitsuji Takashi, Blinder David, Kakue Takashi, Shimobaba Tomoyoshi, Schelkens Peter, Ito Tomoyoshi	4. 巻 29
2. 論文標題 GPU-accelerated calculation of computer-generated holograms for line-drawn objects	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Optics Express	6. 最初と最後の頁 12849 ~ 12849
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/OE.421230	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 該当する

1. 著者名 Blinder David、Nishitsuji Takashi、Schelkens Peter	4. 巻 30
2. 論文標題 Real-Time Computation of 3D Wireframes in Computer-Generated Holography	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Image Processing	6. 最初と最後の頁 9418 ~ 9428
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TIP.2021.3125495	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 該当する

[学会発表] 計9件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 西辻崇, David Blinder, 角江崇, 下馬場朋禄, 伊藤智義
2. 発表標題 電子ホログラフィ方式の線画3D 表示におけるGPU 実装方式
3. 学会等名 第83回 情報処理学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林明日未, 西辻崇, 朝香卓也
2. 発表標題 RGB-Dカメラを用いた電子ホログラフィによる追従可能な 3次元映像投影システムの提案
3. 学会等名 2021年電子情報通信学会全国大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 林明日未, 西辻崇, 朝香卓也
2. 発表標題 深度情報を用いた電子ホログラフィによる追従可能な 3次元映像投影システムの提案
3. 学会等名 第15回関東学生研究論文講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西辻崇
2. 発表標題 アプリケーションや通信を考慮した電子ホログラフィの高速計算技術
3. 学会等名 2020年度7月 電子情報通信学会 コミュニケーションクオリティ研究会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Nobuya Shiina, Takashi Nishitsuji, Takuya Asaka
2. 発表標題 Quality Improvement of Computer-Generated Holograms for Line-Drawn Objects by Imposing a Phase Error
3. 学会等名 International Photonics 2022 (IP2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Asumi Hayashi, Takashi Nishitsuji, Takuya Asaka
2. 発表標題 Thickening the width of holographic three-dimensional line images using an error diffusion technique
3. 学会等名 International Photonics 2022 (IP2022), (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 椎名野歩也, 西辻崇, 朝香卓也
2. 発表標題 意図的な位相誤差の重畳によるホログラフィック3D 線画像の画質改善
3. 学会等名 日本レーザー学会 第42回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西辻崇
2. 発表標題 高速ホログラム計算に基づくインタラクティブホログラフィックシステム
3. 学会等名 日本レーザー学会 第42回年次大会 シンポジウム講演（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 林明日未, 西辻崇, 朝香卓也
2. 発表標題 位相誤差拡散によるホログラフィック3D線画像の太線化
3. 学会等名 Optics and Photonics Japan 2021 (OPJ2021)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

西辻崇研究紹介ページ https://sites.google.com/view/nishitsuji/research?authuser=0

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
ベルギー	Vrije Universiteit Brussel	IMEC	