

機関番号：12501  
 研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23700103  
 研究課題名(和文) 360°全周3次元ディスプレイを目指した円筒ホログラムの高速計算手法の開発  
 研究課題名(英文) Fast calculation method for cylindrical hologram towards to three-dimensional display  
 研究代表者  
 下馬場 朋禄 (SHIMOBABA TOMOYOSHI)  
 千葉大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：20360563

## 研究成果の概要(和文)：

近年、3次元映像を再生できる映画やディスプレイに大きな注目が集まっているが、これらの多くは人間の立体知覚要因の一つである両眼視差のみを使用したもので、長時間の鑑賞による生理的な違和感(3D酔いなど)が問題視されている。これに対して、ホログラフィを応用した3次元ディスプレイは立体知覚要因のすべてを満せるため、究極の3次元ディスプレイ方式と言われている。ホログラムを円筒状に配置し360°全周で3次元映像を観察できる円筒ホログラムには、その光学系をどのように構築するかという問題の他にリアルタイム計算のための高速化手法の問題点がある。そこで本研究では円筒ホログラムをリアルタイム生成できる高速計算手法の開発を行う。

## 研究成果の概要(英文)：

Computer-generated hologram (CGH) based three-dimensional (3D) displays have attractive features, such as no requirement for special glass, and fully satisfying 3D perception (congestion, binocular, motion parallax and so forth) because of their holographic nature. Cylindrical CGH has However, the computational time required to generate a CGH prevents the realization of a practical CGH-based 3D display. To solve this problem, accelerating methods for CGH have been proposed toward real-time calculation.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：電子ホログラフィ，計算機合成ホログラム，三次元ディスプレイ

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ホログラフィ，計算機合成ホログラム，3次元ディスプレイ，GPU

## 1. 研究開始当初の背景

ホログラフィを応用したディスプレイは物体光の波面を再現できるため、究極のディスプレイ方式と言われている。ホログラムを円筒状に配置すれば原理的には360°全周で3次元映像を観察できる。円筒ホログラムには、その光学系をどのように構築するかという問題の他に、円筒ホログラムの計算をいかに高速化するかという問題点がある。

## 2. 研究の目的

本研究では円筒ホログラムの高速計算手法の開発を行うことを目的とする。円筒ホログラムの高速計算手法として円筒座標系の波面記録法を検討する。

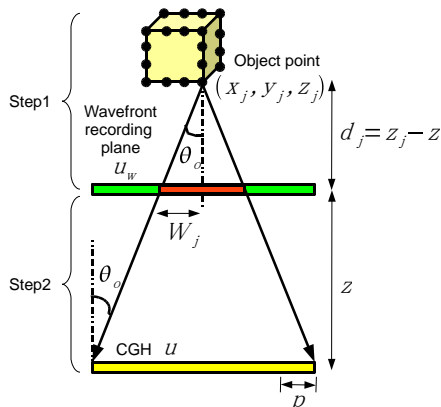
また波面記録法は高速なホログラム生成が可能であるが、更に高速化するためにグラフィックスプロセッサ(GPU)への効率的な実装方法についても検討した。

## 3. 研究の方法

平面ホログラムでの波面記録法は上図のような計算を行う。物体を点光源の集合と考え、各点光源からの光波伝播について考える。本手法では、物体データとホログラム面の間に、仮想的な面（波面記録面）を用意する。

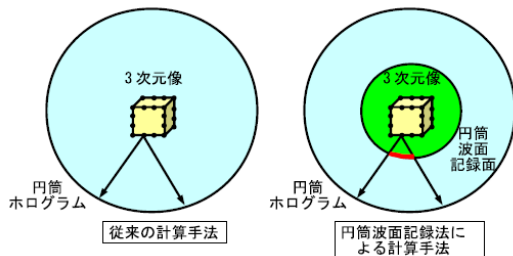
まずステップ1として、物体データのある点光源から出る光波の振幅と位相情報を、波面記録面に記録する。物体と波面記録面間の計算はこの微小な断面積に対して行うので計算量は微小なものとなる。

ステップ2は、波面記録面からホログラム（CGH）への光波伝播を計算する。波面記録面には、物体データから出た光の振幅と位相情報が記録されるため、波面記録面からCGHまでの光の伝搬計算を行えば、ホログラム面上での物体データの光伝搬を計算したことに相当する。この計算を数値的に取り扱う場合は、高速フーリエ変換



(FFT) を用いることができるため高速計算ができる

既に平面ホログラムでの波面記録法を検証しており、一般的に用いられる手法の300倍程度の高速化を達成している。

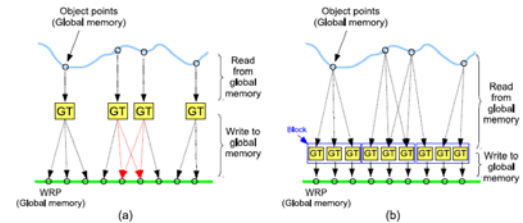


本研究では円筒座標における波面記録法の開発を行う。提案手法は3次元像と円筒ホログラムの間に仮想的な円筒面を置き、仮想円

筒面を経由した2ステップの計算手法となっている。まずステップ1では直交座標系で定義された3次元像データから仮想円筒面上の光波分布を計算する。この計算は計算量が少ないため、直接計算を行う。ステップ2では、仮想円筒面から円筒ホログラムまでの回折計算を行う。これは円筒座標系間の光伝搬になるが、高速フーリエ変換（FFT）による回折計算手法を開発することで高速化が可能となる。

#### 4. 研究成果

波面記録法のステップ1の計算量は物体点数と、波面記録面上の断面積サイズの積に比例する。物体点数が少ない場合は、一般的なCPUでも十分な高速化が可能であるが、物体点数が多い場合は、高速化の足かせとなる。そこで、ステップ1のGPU実装について検討

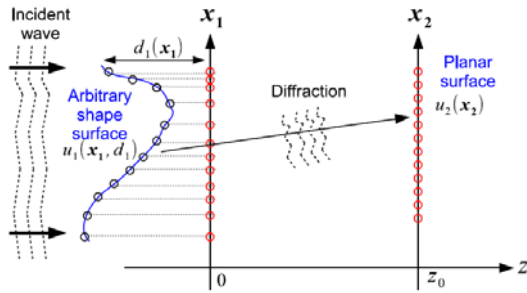


を行った。

GPU実装には2つの方法が考えられる。一つは、図の(a)のように一つのGPUスレッド(GT)が物体点1点の波面録面上での光波を計算する。この方法は実装が容易でCPUなどではよく用いられるが、GPU上の実装には向いていない。不向きな理由として、①各スレッドが並列動作するため、波面録面上での光波のメモリ書への書き込みがランダムアクセスになる、②メモリ書き込み時に、異なるスレッドが同時に同じ場所にアクセスする可能性がある(図の(a)の赤線)、が挙げられる。

本研究では、この欠点を改善する実装を試みた(図の(b))。各GPUスレッドは、波面記録面一つの画素を担当する。そのため(a)の実装のような問題は起こらない。ただし、(a)の場合はどのGPUスレッドがどの物体点を計算するかは自明であるが、(b)の実装では自明ではないため、予め、どの物体点がどのGPUスレッドに属するかを事前計算しておく必要がある。

またステップ2では円筒面間の回折計算が必要になる。一般的な回折計算は平面間の光波伝搬を対象にする。本研究では円筒面を含む任意曲面の回折計算の検証をおこなった。



上図は任意曲面から平面への回折計算を示している。本研究では平面（もしくは円筒面）から円筒面への計算が必要になるが、本手法により計算できる。

任意曲面上は等間隔サンプリングであるが、 $x_1$ は任意形状面の傾きに依存した不等間隔サンプリングになる。回折積分式は任意曲面からの回折を計算できるが、FFTでその計算を取り扱えないため数値積分が必要になり計算量が膨大なものとなる。本手法は幾つかの近似を用いることで任意形状面でのフレネル回折計算を導出した。この回折計算は不等間隔FFT (Gridding)による補間処理、1回のFFT, Griddingの影響を除去する逆畳込み処理から成る。で処理できるため、回折積分式を数値積分するよりも高速に計算することができる

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- [1] T. Shimobaba, T. Nishitsuji, T. Kakue, N. Masuda and T. Ito, "Computer generated hologram from arbitrary shape object", Korea-Japan Workshop for Information Photonics (DHIP2012), Tokushima Japan (2012.11)
- [2] T. Shimobaba, K. Matsushima, T. Kakue, N. Masuda and T. Ito, "Scaled angular spectrum method", Optics Letters, 37, 4128-4130 (2012.09)
- [3] T. Shimobaba, T. Kakue, N. Masuda, N. Takada and T. Ito, "Nonuniform-sampling based computer holography", The collaborative conference on 3D Research (CC3DR) 2012, Seoul Korea (2012.06)
- [4] T. Shimobaba, N. Masuda and T. Ito, "Angular spectrum method for different sampling rates on source and destination planes: Scaled angular spectrum method", Digital Holography and Three-Dimensional Imaging (DH) DH2012, DTu2C.3, Miami USA (2012.05)

[5] T. Shimobaba, N. Masuda and T. Ito, "Arbitrary shape surface Fresnel diffraction", Optics Express 20, 9335-9340 (2012.04)

[6] J. Weng, T. Shimobaba, N. Okada, H. Nakayama, M. Oikawa, N. Masuda and T. Ito, "Generation of real-time large computer generated hologram using wavefront recording method", Optics Express, 20, 4018-4023 (2012.02)

[7] T. Shimobaba, J. Weng, T. Sakurai, N. Okada, T. Nishitsuji, N. Takada, A. Shiraki, N. Masuda and T. Ito, "Computational wave optics library for C++: CWO++ library", Computer Physics Communications, 183, 1124-1138 (2012.01)

[学会発表] (計7件)

[1] 下馬場朋禄, 西辻崇, 角江崇, 岡田直久, 老川稔, 増田信之, 伊藤智義, "任意形状面からの計算機合成プログラムの生成", Optics and Photonics Japan 2012 (OPJ2012) (2012.10)

[2] 下馬場朋禄, 角江崇, 岡田直久, 老川稔, 増田信之, 伊藤智義, "不等間隔スカラ回折計算の開発", Optics and Photonics Japan 2012 (OPJ2012) (2012.10)

[3] 下馬場朋禄, 角江崇, 増田信之, 伊藤智義, "不等間隔サンプリングの計算ホログラフィへの応用", ホログラフィックディスプレイ研究会会報 (HODIC) (2012.05.25)

[4] 下馬場朋禄, 増田信之, 伊藤智義, "不等間隔サンプリングに基づく回折計算", 2012年春季第59回応用物理学関係連合講演会, 東京・早稲田大学 (2012.03.15)

[5] 下馬場朋禄, 増田信之, 伊藤智義, "スケール角スペクトル法の開発", 2012年春季第59回応用物理学関係連合講演会, 17a-GP2-1, 東京・早稲田大学 (2012.03.17)

[6] 下馬場朋禄, 西辻崇, 増田信之, 伊藤智義, "ハードウェアアクセラレータによるホログラフィ計算", ホログラフィックディスプレイ研究会会報 (HODIC), 宇都宮・宇都宮大学 (2011.11.15)

[7] 岡田直久, 西辻崇, 老川稔, 杉山充, 下馬場朋禄, 増田信之, 伊藤智義, "GPUを用いた波面記録法による計算機合成プログラムの作成", 第10回情報科学技術フォーラム (FIT2011), B-036 北海道・函館大学 (2011.09.07)

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://brains.te.chiba-u.jp/~shimo/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

下馬場 朋禄 (SHIMOBABA TOMOYOSHI)  
千葉大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号：20360563

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：