

球形基本物体光を用いた計算機合成ホログラムの計算における拡大・縮小とスキュー変換の実装

Implementation of Scaling Transformation and Skew Transformation for Calculation of Computer Generated Hologram based on Spherical Basic Object Light

細谷地 航平[†] 坂本 雄児[†]
Kohei Hosoyachi Yuji Sakamoto

1. まえがき

計算機合成ホログラム (CGH: Computer Generated Hologram) は計算機上のシミュレーションでホログラムを作成する技術であり、視覚特性を満たす立体表示技術として注目されている [1]。しかし、CGH にはホログラムの作成に膨大な計算時間がかかるなどの問題点がある。そこで CGH の高速化手法として基本物体光法が提案されている [2]。基本物体光法は、物体をパッチモデルで表現し、基本となるパッチからの物体光を事前に計算する。これに近似による簡単な変換を施すことで、パッチの位置、傾斜の変化、拡大・縮小などにも対応した CGH を計算する。しかし、基本物体光のデータ容量は膨大であるという問題点があり、[3] ではそのデータ容量削減が提案されている。本稿では、[3] で実装されている奥行き方向の変換に加え、拡大・縮小とスキュー変換の二つの変換計算を実装し、その結果を報告する。

2. 従来の CGH 計算法

従来の CGH の計算手法として物体を点の集合で表現する点充填法と、物体表面を平面の集合で表現する計算手法が挙げられる。点充填法では、物体点ひとつあたりの物体光を各物体点毎に計算し、その計算結果の総和を物体光とする。しかし、物体点の数が増えると計算量が大幅に増加してしまうという問題がある。物体表面を平面の集合で表現する計算手法を用いる場合、平面一枚における物体光を計算し各平面の物体光を足し合わせることで物体全体の物体光を計算する。各平面の物体光を計算する際に FFT を適用できるので高速に物体光を計算することができる。しかし、複雑な物体の場合、物体表面を表現する平面の数が増加し、FFT を行う回数も増加する。そのため、複雑な物体の物体光を計算する場合、非常に時間がかかってしまう。そこで、一枚の平面の物体光を計算する際に FFT を必要としない高速計算手法として、基本物体光法が提案された。

3. 基本物体光法

3.1 計算概要

基本物体光法は CGH の高速計算手法であり、物体をパッチモデルで定義する。パッチモデルで物体を表す場合、位置や角度、大きさなどが異なる様々なパッチから構成されることになる。そこで、基本物体光では事前に計算しておいた基本となるパッチからの物体光 (以下、基本物体光) から各パッチに合わせた物体光を得る。変換計算にはホログラムに図 1 のような平行な面内での平行移動・回転変換、距離変換、傾斜変換、拡大・縮小変換、スキュー変換が提案されており、この変換計算を組み合わせることで任意のパッチの物体光を計算する。

3.2 基本物体光面の形状

基本物体光法では CGH の高速な計算手法であるが基本物体光に必要とするデータ量が膨大であるという問題がある。現在 GPU を用いた CGH の高速計算に関する研究がされているが、このデータ容量が多い場合、GPU 上のメモリにデータをコピーする際に非常に時間がかかる。このため [3] では基

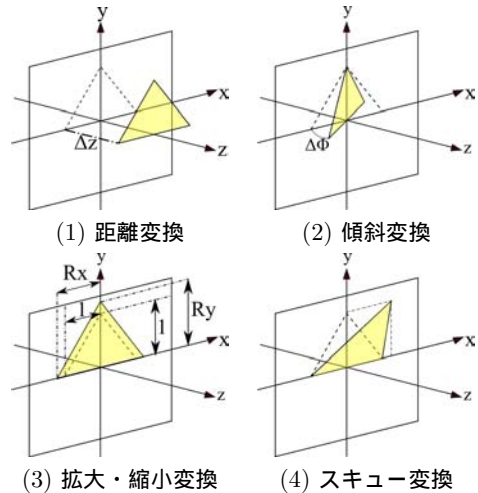


図 1 基本物体光法における変換の種類

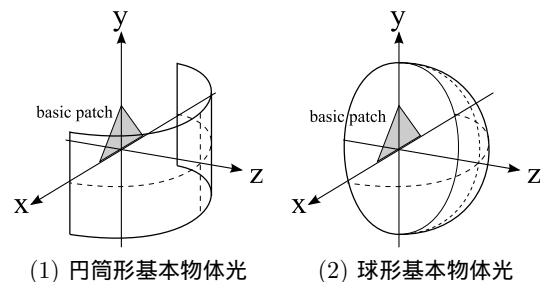


図 2 基本物体光面の形状

本物体光データの削減法について提案されている。従来、図 2(1) のように基本となるパッチ (基本パッチ) の半円筒状における基本パッチの物体光を計算することで基本物体光を作成していた。しかし円筒形基本物体光には x 軸回転の変換できる角度に制限がある。この問題解決するためにはあらかじめ基本パッチをある角度だけ x 軸方向に回転させながら、基本物体光を複数作成する必要がある。しかし必要とするデータ容量が膨大となってしまう。そこで [3] では、図 2(2) のように半球状における物体光を計算し基本物体光を作成しており、従来よりも約半分のデータ削減を実現している。球形基本物体光は点充填法を用いて計算される。基本物体光は各パッチに使いまわすことができるため、この計算は一度行えばよい。

3.3 変換計算

基本物体光法の基本パッチの変換として、平行移動・回転変換、距離変換、傾斜変換、拡大・縮小変換、スキュー変換が提案されており、円筒形基本物体光においてすべての変換が実装されている。一方、[3] では球形基本物体光の変換は距離変換のみ実装されている。そこで本稿では、球形基本物体光における拡大・縮小変換とスキュー変換を提案する。ただし $u_h(x_h, y_h)$ は (x_h, y_h) におけるホログラム面上の光波分布、 j は $\sqrt{-1}$ 、 k は波数、 R は球形基本物体光面の半径、 z_0 は座標の原点からホログラム面までの距離、 $u_b(x_b, y_b, z_b)$ は (x_b, y_b, z_b) における基本物体光の光波分布である。

[†] 北海道大学大学院情報科学研究科



(1) $R_x = 0.8$ (2) $R_x = 1.0$ (3) $R_x = 1.2$

図 3 拡大・縮小変換 CG



(1) $R_x = 0.8$ (2) $R_x = 1.0$ (3) $R_x = 1.2$

図 4 拡大・縮小変換 光学再生結果



(1) $S_x = 0.0[\text{m}]$ (2) $S_x = 0.4[\text{m}]$ (3) $S_x = 0.8[\text{m}]$

図 5 スキュー変換 CG



(1) $S_x = 0.0[\text{m}]$ (2) $S_x = 0.4[\text{m}]$ (3) $S_x = 0.8[\text{m}]$

図 6 スキュー変換 光学再生結果

拡大・縮小変換

x 軸, y 軸に対し, 基本パッチがそれぞれ倍率 R_x , R_y で拡大・縮小された三角パッチのホログラム面上での物体光分布は以下の式で表すことができる. この式に基づいて物体光を計算することで拡大・縮小変換を実現する.

$$u_h(x_h, y_h) = C e^{-jkL} u_b(x_b, y_b, z_b) \quad (1)$$

$$x_b = R_x \frac{x_h}{l}, y_b = R_y \frac{y_h}{l}, z_b = R \frac{z_0}{l}$$

$$l = \sqrt{(R_x x_h)^2 + (R_y y_h)^2 + z_0^2}$$

$$C = R_x R_y, L = l - \sqrt{x_b^2 + y_b^2 + z_b^2}$$

スキュー変換

x 軸に対し, 基本パッチがスキュー率 S_x で歪められた三角パッチのホログラム面上での物体光分布は以下の式で表すことができる. この式に基づいて物体光を計算することでスキュー変換を実現する.

$$u_h(x_h, y_h) = C e^{-jkL} u_b(x_b, y_b, z_b) \quad (2)$$

$$x_b = R \frac{x_h}{l}, y_b = R \frac{y_h + S_x x_h}{l}, z_b = R \frac{z_0}{l}$$

$$l = \sqrt{(x_h)^2 + (y_h + S_x x_h)^2 + z_0^2}$$

$$C = 1, L = l - \sqrt{x_b^2 + y_b^2 + z_b^2}$$

4. 実験

球形基本物体光において基本パッチの拡大・縮小変換とスキュー変換が正しく行われるかを光学再生実験を行うことで確かめた. 実験に用いた基本物体光の球形は半径 $0.15[\text{m}]$, サンプル間隔は $6.35[\mu\text{m}]$, 基本となるパッチは一辺が $3.2[\text{mm}]$ の正三角形である. また, ホログラムは物体に対して $0.15[\text{m}]$ の距離に設定し, 画素数は $2048 \times 2048[\text{pixel}]$, ピクセルピッチは $9.5[\mu\text{m}]$ である.

4.1 実験 1 拡大・縮小変換

実験 1 では, 基本パッチが x 軸方向にそれぞれ 0.8 倍, 1.0 倍, 1.2 倍に拡大・縮小された三角パッチの物体光を計算し, 実際にホログラムを作成し光学再生を行った. 図 3 は (2) を基本パッチとした各倍率における三角パッチの CG であり, 図 4 は実際の再生結果である. 図 3 と図 4 を比較すると再生像は CG とほぼ同等であることから, 変換が正しく行われていることがわかる.

4.2 実験 2 スキュー変換

実験 2 では, 基本パッチが x 軸方向にそれぞれスキュー率 0.0 , 0.4 , 0.8 で歪められた三角パッチの物体光を計算し, 実際にホログラムを作成し光学再生を行った. 図 5 は (1) を基本パッチとした各スキュー率における三角パッチの CG であり, 図 6 は実際の再生結果である. 実験 1 と同様に再生像が CG イメージとほぼ同等の形状をしていることから, 変換が正しく行われていることを確認できる.

5. まとめ

本稿では球形基本物体光を用いて基本パッチの拡大・縮小とスキュー変換を提案した. また, それらの変換を施した三角パッチの再生像を確認した. 実験から拡大・縮小変換が正しく行われていることが確認できた. 今後, 出力媒体の性能向上により計算するホログラムの画素数が増加することが考えられる. 基本物体光法は従来の CGH 計算手法に比べ, ホログラムの画素数が増加しても計算量が増えにくいという特徴があり, 将来の CGH 計算手法に有効であると考えられる. 今後の課題として, すべての変換を組み合わせ任意の物体の物体光を計算するために, 任意の三角パッチの変換パラメータの算出が必要であると考えられる.

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究補助金 (課題番号 23300032) を用いて行われた.

参考文献

- [1] 久保田敏弘, “ホログラフィー入門 -原理と実際-”, 朝倉書店, 1995
- [2] Hironobu Sakata, Yuji Sakamoto, “Pre-calculated object light-based fast calculation method for computer-generated hologram”, SPIE Photonics WEST 2010, 7619-33
- [3] Kohei Hosoyachi, Yuji Sakamoto, “Fast calculation method for CGHs by using spherical pre-calculated object light”, Proc. SPIE 7957, 795712