光線サンプリング面の手法を用いて合成した実物体の高解像度計算機合成ホログラム
Creation of High-Definition Computer-Generated Holograms of Real Objects by Employing the Ray-Sampling Plane Method

伊藤眞人 [1]　松島恭治 [1]　山口雅浩 [2]
Masato Ito[1]　Kyoji Matsushima[1]　Masahiro Yamaguchi[2]
[1] 関西大学 システム理工学部 電気電子情報工学科
[1]Department of Electrical and Electronic Engineering, Kansai University
[2] 東京工業大学 工学院
[2] School of Engineering, Tokyo Institute of Technology

ABSTRACT

A high-definition CGH reconstructing the 3D scene of real objects is created by using the technique of ray-sampling plane. In this technique, the multi-viewpoint image of a 3D scene is converted into its object wave. Thus, several limiting factors necessary in digitized holography, such as coherent light source, darkroom and anti-vibration environment, are not required to capture the object field. In this study, we actually captured the high-density multi-viewpoint image from a real 3D scene and generated the high-definition CGH with 4 billion pixels.

Keywords: Computer holography, Computer-generated hologram, Multi-viewpoint image

1. はじめに

実在する物体の高解像度計算機合成ホログラム(CGH)を作成する手法として，光学的ホログラフィックステレオグラムを仮想的にシミュレートする手法や[1]，デジタルホログラフィの技術で物体光波を取得するデジタイズドホログラフィの手法を報告している[2].

このデジタイズドホログラフィでは，光学ホログラフィと全く同じことをデジタル的に実行するために，理想的な 3 次元画像を得ることができる．しかし，光学ホログラフィと同様，その撮影にはレーザー光源，暗室，除振環境等が必要となり，実際の撮影は容易ではない．それに対して，多視点画像の撮影にはこのような問題がなく，屋外を含めた幅広い環境下での撮影が可能である.

多視点画像から計算機合成ホログラムを作成する手法の一つに光線サンプリング面(RS 面)を用いた手法がある[3]．この手法では，光線情報から波面情報に変換する RS 面を物体の近くに配置できるため，高密度の光線情報を得ることができる．また，ホログラム面での光波は, RS 面からの波動光学的伝搬計算により求めるため，眼のレンズ調節による奥行感が RS 面の位置で得られ，通常のステレオグラムで問題となる輻輳・調節矛盾がほとんど生じないという利点がある．しかし，従来のこの技術による CGH は，主として CG モデルの仮想物体に対して作成されており，実写では，カメラアレイを用いた低密度の多視点画像から補間を用いて作成した例がある程度である[4].

そこで本研究では，実物体に対して 16,000 枚以上の高密度多視点画像を撮影し, RS 面の手法を用いて

松島恭治
<matsu@kansai-u.ac.jp>
関西大学システム理工学部電気電子情報工学科
〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35
TEL 06-6368-0933 (ダイヤルイン)

実際に高解像度 CGH を作成した.

2. 光線サンプリング面を用いた手法

Fig.1 に示すように, 撮影物体から到来する光線をサンプリングするための面のことを光線サンプリング面(RS 面)と呼ぶ. また, 物体から到来する光線を RS 面上でサンプリングする点を光線サンプリング点(RS 点)と呼ぶ. この手法では, RS 面を物体の近傍に設定し, インテグラルフォトグラフィの光線再生の手法と同様に, 物体からの光線情報を RS 面上の RS 点でサンプリングする. この時, 光線情報を多視点画像から求める.

多視点画像は, 仮想物体では CG のレンダリング, 実在物体では複数視点からの写真撮影によって得られる. 多視点画像中の各々の画像に乱数位相を付加してフーリエ変換することにより, その画像に対応する RS 点における微小波面の光波分布を得ることができる. このような微小波面を全 RS 点に対応させることで RS 面全体の複素振幅分布を得る. すなわち, RS 面上で光線情報を波面情報に変換する.

RS 面から CGH 面への波面の伝搬は光の回折伝搬として計算する. 本研究では, 帯域制限角スペクトル法を用いた[5]. 最終的に, CGH 面上で得られた光波と参照光を干渉させ, 干渉縞パターンを得た.

3. 多視点画像の撮影

本研究では, Fig.2 に示すように実在物体とカメラを配置した. カメラ 1 台を水平, 垂直方向に一定間隔で平行移動させ, 多視点画像を得た. カメラの平行移動には 2 軸の自動ステージを用い, 制御コントローラーを介して PC から制御を行った. このとき, カメラも PC からシャッタータイミング等を制御し, 2 軸自動ステージと同期して撮影した.

ここで, 撮影したシーンの写真を Fig.3 に示す. シーンを構成するそれぞれの物体はカメラ側から, シマウマの模型, ライオンの模型, 背景の順と並んでいる. それぞれの撮影距離は, シマウマの模型が 450mm, ライオンの模型が 680mm, 背景が 1200mm である. ライオンの模型は 34mm の高さの台に乗せ

Table 1 Parameters used for taking the multiple-viewpoint image.

Number of captured images	16,384 (=128 × 128)
Intervals of viewpoint	1 mm × 1 mm
Number of pixels on each captured image	1024 × 1024
Pitches of image sensor	2.2 μm × 2.2 μm
Focal length	12 mm
Shutter speed	125 ms
f-number	f/11

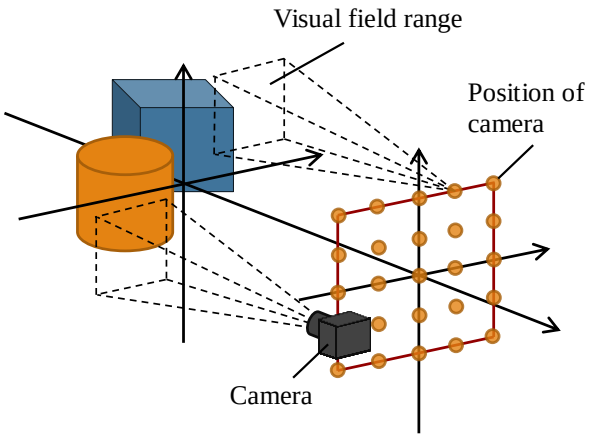

Fig.2 Capturing multiple-viewpoint images.

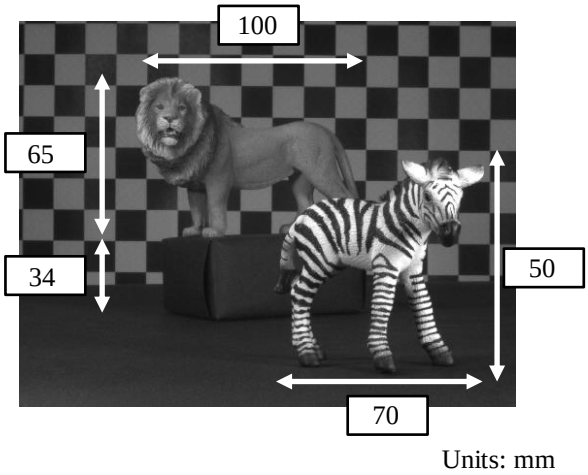

Fig.3 The photograph of the 3D scene.

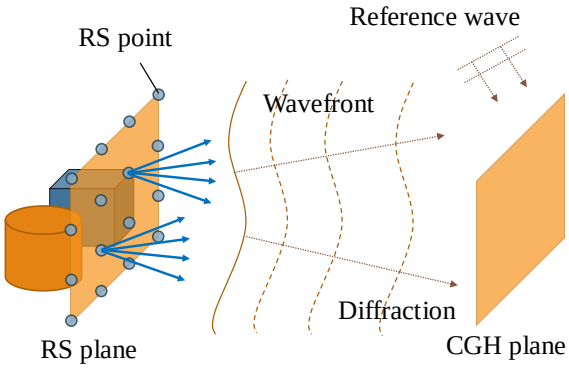

Fig.1 Creation of CGH by using RS plane.

ている．背景のチェック柄の 1 つのマス目は横幅，縦幅ともに 25mm とした．

多視点画像の撮影に用いた主要なパラメータを Table 1 に示す．本研究では，撮影間隔 1mm で 16,384(=128 × 128)枚の多視点画像を約 7 時間で撮影した．撮影した多視点画像の一部を Fig.4 に示す．

4. 高解像度 CGH の計算と作成

今回作成した CGH の作成には，前節で撮影した多視点画像のピクセルを間引いて，1024 × 1024 pixel から 512× 512 pixel へ縮小して用いた．撮影した多視点画像は光強度分布で位相を持たないため，Fig.5 に示すようにランダム位相を付与した．すなわち，RS 点(x_i, y_j)における撮影画像のピクセル値$p_{ij}[m,n]$から，光線情報として用いられる複素振幅は

$$u_{ij}(m,n) = \sqrt{p_{ij}[m,n]}\exp[i\phi(m.n)] \qquad (1)$$

となる．ここで，ランダム位相$\phi(m,n)$を求めるために，乱数ジェネレータとしてメルセンヌ・ツイスタを用いた．

この複素振幅をフーリエ変換し，

$$U_{ij}(k,l) = \mathrm{FFT}\{u_{ij}(m,n)\} \qquad (2)$$

を得た．これを隙間や重なりがないように RS 面に敷き詰めた．

用いたパラメータと RS 面の配置を Table 2 と Fig.6 にそれぞれ示す．最終的に CGH 面において球面波参照光と数値的干渉を行い，干渉縞パターンを得た．この時，本研究では，レーザーリソグラフィにより干渉縞描画を行うことから，閾値による 2 値振幅コーディングを用いた．

5. 高解像度 CGH の光学再生像

作成した高解像度 CGH の光学再生像を Fig.7 に示す．各模型と背景の間隔を大きくとったため，運動視差をはっきり確認できる．また，視点数が多いため滑らかな運動視差が再生されており，輻輳・調節矛盾も全く知覚されない．なお，水平方向だけでなく，垂直方向にも運動視差が正しく再生されていることも確認できた．

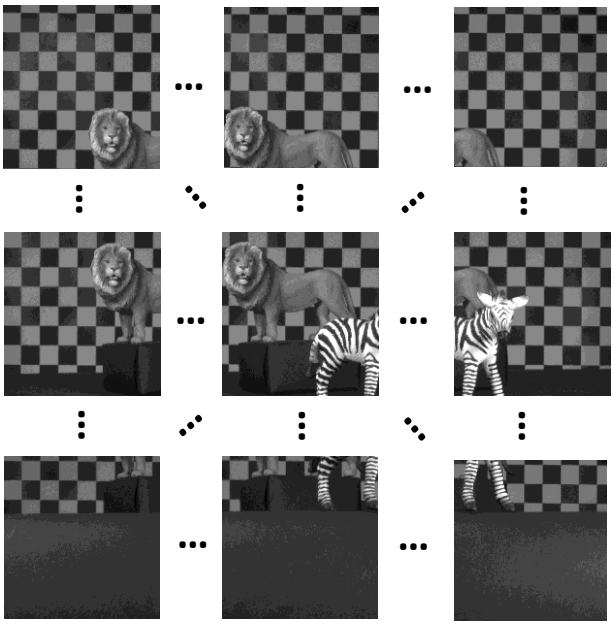

Fig. 4 Examples of captured multiple-viewpoint image.

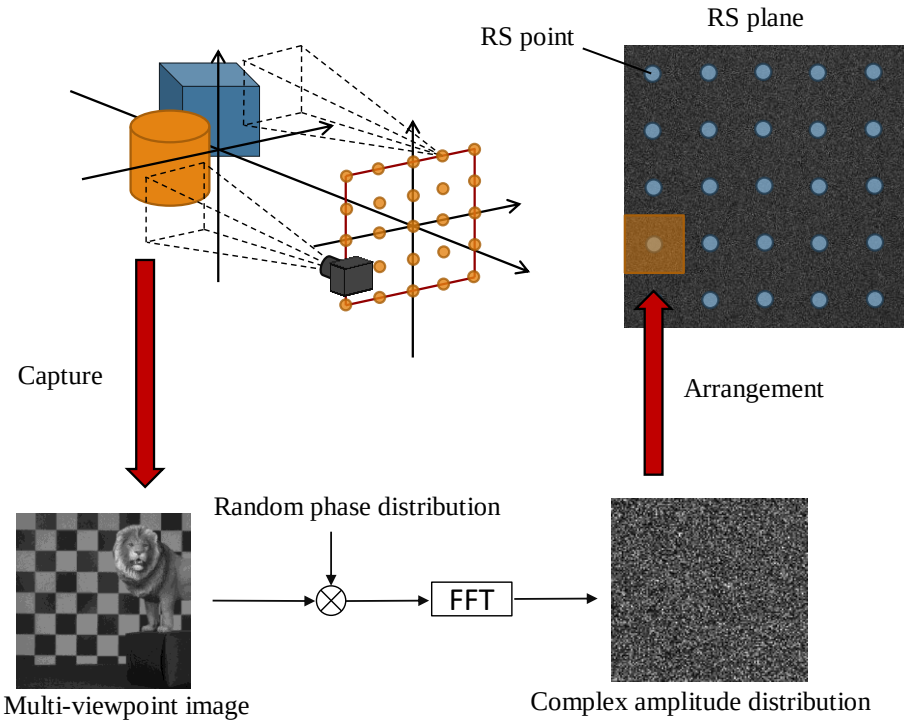

Fig.5 The procedure for calculating the RS plane.

6. まとめ

本研究では，実際に撮影した実物体の高密度多視点画像から RS 面の手法を用いて高解像度 CGH を作成し，高品質な再生像が得られることを示した．

本研究では 8bit グレースケールのディジタルカメラを用いたが，RGB を記録できるカメラを用いて RGB それぞれの RS 面を求め，物体光波を計算することで，RS 面を用いた手法でフルカラーCGH の作成も可能と考えられる．

謝辞

本研究は，日本学術振興会の科研費（15K00512），および文部科学省私立大学戦略基盤研究形成支援事業（平成 25 年～平成 29 年）の助成を受けたものである．

参考文献

[1] 吉崎裕，松島恭治，中原住雄: “多視点画像を 3D シーン内に埋め込んだ超高解像度 CGH の作成,” 3 次元画像コンファレンス 2012, P-15(2012).

[2] K. Matsushima, Y. Arima, S. Nakahara: “Digitized holography: modern holography for 3D imaging of virtual and real objects,” Appl. Opt. **50**, H278-H284(2011).

[3] K. Wakunami, M. Yamaguchi: “Calculation for computer generated hologram using ray-sampling plane,” Opt. Express **19**, 9086-9101(2011).

[4] M. Yamaguchi, K. Wakunami, M. Inaniwa, “Computer generated hologram from full-parallax 3D image data captured by scanning vertical camera array,” Chin. Opt. Lett. **12**, 060018(2014).

[5] K. Matsushima, T. Shimobaba, “Band-limited angular spectrum method for numerical simulation of free-space propagation in far and near fields,” Opt. Express **17**, 19662-19673 (2009).

Table 2 Parameters used for calculating the RS plane and CGH.

RS plane	
Number of samplings	65,536 × 65,536
Number of RS points	128 × 128
Number of samplings in each RS point	512 × 512
Intervals of RS points	0.5 mm × 0.5 mm
Size of RS plane	65.5 mm × 65.5 mm
CGH	
Number of pixels	65,536 × 65,536
Pixel pitches	1 μm × 1 μm
Size of CGH plane	65.5 mm × 65.5 mm
Reconstruction wavelength	632.8 nm

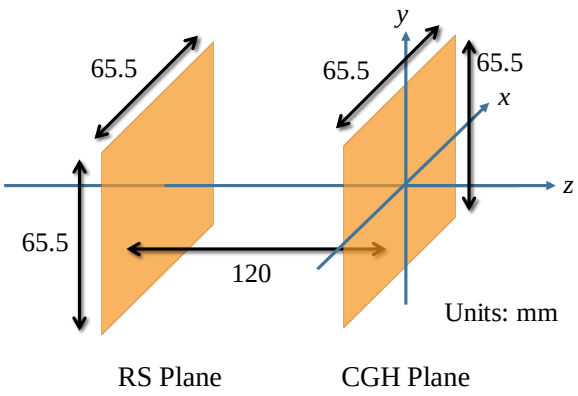

Fig.6 Positions of the RS and CGH plane.

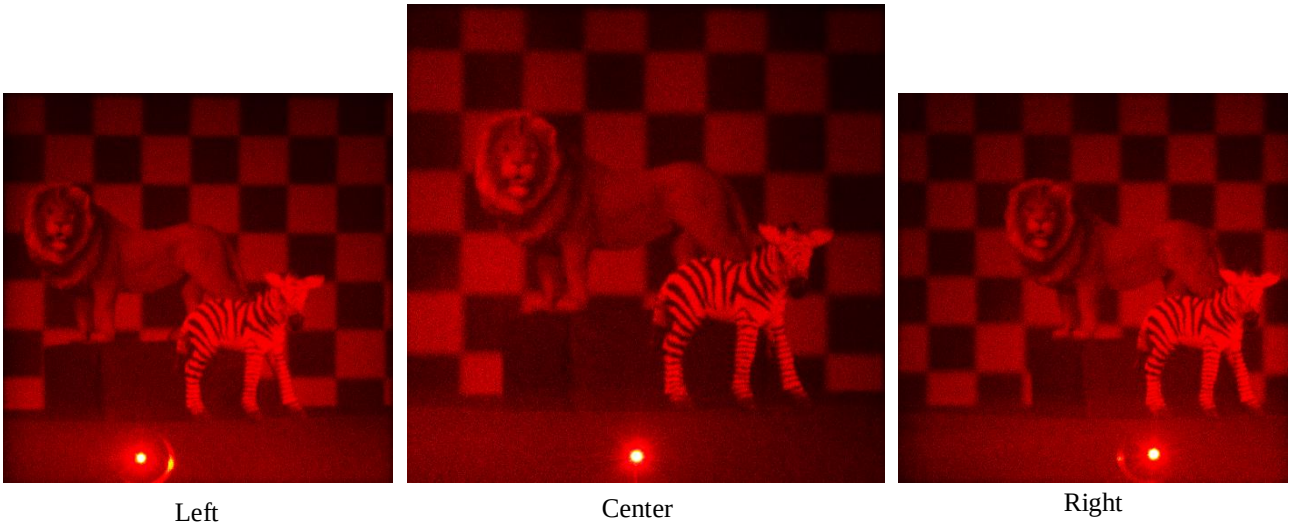

Fig. 7 Optical reconstruction of the high-definition CGH. Photographs are taken from different viewpoints.