



One-step holographic stereogram のための被写体撮影

康 徳寛・山口 雅浩・本田 捷夫・大山 永昭

東京工業大学工学部像情報工学研究施設 〒227 横浜市緑区長津田町 4259

(1990年3月26日受付, 1990年6月27日受理)

Imaging of Real Object for One-Step Holographic Stereogram Recording

Der-Kuan KANG, Masahiro YAMAGUCHI, Toshio HONDA and Nagaaki OHYAMA

Imaging Science and Engineering Laboratory, Tokyo Institute of Technology,
4259, Nagatuta, Midori-ku, Yokohama 227

(Received March 26, 1990; Accepted June 27, 1990)

In one-step holographic stereogram (HS) with white-light reconstruction, the image is reconstructed behind the hologram plane if 2-D original pictures are used just as they have been taken from perspective views. In order to get the 3D image of a real object on the HS plane or in front of it, we introduce a new imaging method to take the 2D sequential pictures which are used directly in the one-step HS recording.

1. はじめに

Holographic stereogram (HS) は物体を異なった方向から撮影した二次元画像(原画)列を用いて1枚のホログラムに合成する。それゆえ、物体に直接レーザー光を当てる必要がないので表示対象物に制限が少ない、再生像を拡大あるいは縮小表示することができる、等の長所を持っている。白色光再生 HS の合成の方法としては1-ステップ法と2-ステップ法があるが、目的によっては自動的に合成できる1-ステップ法が望ましい。しかし、1-ステップの合成方法において再生像は一般にホログラムの後方に再生される。

われわれは以前、Fig. 1 に示すような光学系による1-ステップ平面型 HS で再生像を任意の位置に表示するための原画処理法を報告した¹⁾。それは、各方向から普通の撮影系で撮影した画像列を垂直方向に短冊状に分割し、それらを互いに組み合わせる処理をコンピュータで行うことにより、HS に合成するための原画を得るという方法である。コンピュータ・グラフィックス画像などコンピュータを用いて原画列を処理・生成する場合、この方法は便利に利用できる。しかし、実在する物体の場合には、原画列の撮影、コンピュータへの入力、入替

えの画像処理、出力、処理された原画列の撮影などの手間のかかるプロセスが必要になる。

本報告では、実在する物体に対して、HS の再生像を任意の位置に再生するための原画撮影を光学的に行う方法を提案する²⁾。この方法を用いれば、前述の手間を省くことができる。実在する被写体を使って実験を行い、ホログラム画の前に立体像を再生することができた。

2. 原画撮影

ここでは立体視に重要な水平方向のみの視差を持つ HS について述べる。Fig. 2 に示すようにホログラムの前後に膨らむように体を再生することを考える。それぞれの要素ホログラムとして記録すべき原画は、その要素ホログラムの位置における視角域範囲内の被写体表面(太い線)部分の光線を再生すればよいから、原画作製では被写体の表面を再生光線の逆方向に投影すればよいことがわかる。たとえば、同図の要素ホログラム EL 1 に記録すべき原画 P は EL 1 の位置における視角域範囲(θ)内の被写体表面部分の投影像である。同じように、EL 2 に対応する原画はその位置に対応する表面部分を記録する。Fig. 2 からわかるように、この図で再生像をホログラムの左側、つまり、観察者の反対側に作る場

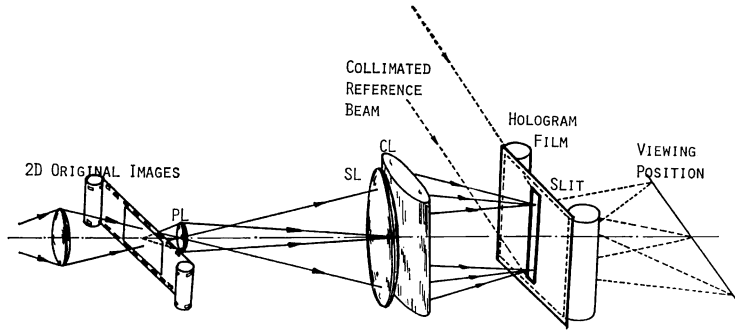


Fig. 1 The synthetic system of one-step holographic stereogram.

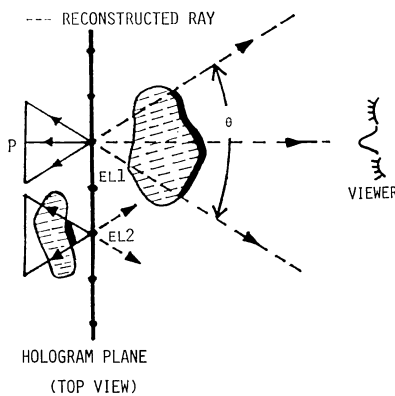


Fig. 2 Reconstructed rays of holographic stereogram.

合には、それぞれの要素ホログラムの位置から表面画を撮影することができるが、ホログラム面上あるいは観察側に再生像を作る場合には、その位置 (EL 1) から直接被写体を撮影することはできない。

これを可能にするために、凹面シリンドリカルミラーを使って、被写体の表面光線を再生光線の逆方向に撮影することを考える。

Fig. 3 は凹面シリンドリカルミラーを使った光学系による原画撮影の原理を示す。いま、HS の再生像の中心位置は HS 面の手前観察者側 ΔX だけ離れた位置に再生すると仮定する。原画撮影の際には、曲率半径 R のシリンドリカルミラー (CM) の曲率中心 O から ΔX だけ離れた位置に被写体を置く。被写体からの拡散光は CM によって反射され、曲率中心軸に入射瞳を置いたカメラで撮影される。

水平方向に関しては、Fig. 2 と Fig. 3(a) からわかるように、HS の再生光線方向は原画に記録された被写体の光線方向のまま再生されるため、CM の曲率中心 O と被写体との距離 ΔX はホログラム面の再生像の中心

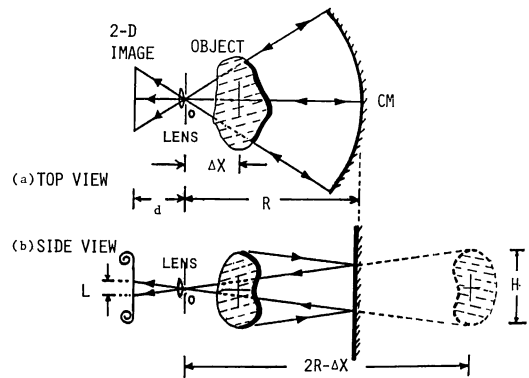


Fig. 3 Imaging of 2D original images using a cylindrical mirror.

(a) top view, (b) side view.

位置の距離と一致する。

垂直方向に関しては、Fig. 3 (b) に示すように、CM は平面鏡と考えられ、 $(2R - \Delta X)$ の距離から被写体を撮影した場合と同じになるため、円筒ミラーの曲率半径 R は観察者からホログラム面までの距離の2分の1にすればよい。

シリンドリカルミラーを用いるために、水平方向と垂直方向の結像関係が異なるので、この円筒中心に小さい口径のピンホールを置くことにより被写体深度を深くし、鮮明な画像を撮影する。

実際にはミラーによる反射光線は被写体自身によってさえぎられているため、Fig. 4 のような光学系を用いる。自動的にわずかなピッチずつ移動するレールに載せた円筒ミラー (CM) の直前に 45° 傾けたハーフミラー (HM) を置き、その上側にミラー (M) を 45° の傾きで固定する。カメラとミラーの間には CM の円筒中心と対応する位置にピンホール (P) を置く。図のように、円筒中心 O から ΔX 離れた被写体から反射された光線は、HM を透過し、CM, HM, M, P の経路で反射さ

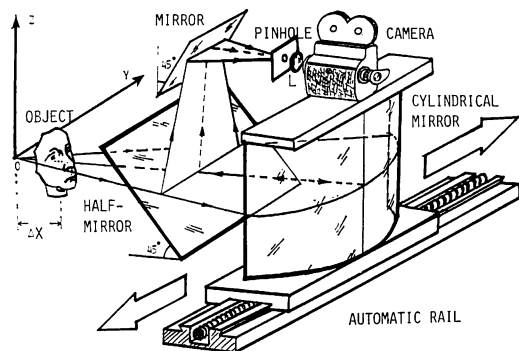


Fig. 4 Recording system of 2D original images.

れ、カメラレンズによってフィルムに記録される。HM, CM, M, P, およびカメラを一体にしてレール上の台に乗せ、それが水平方向に平行移動するようにする。そして、ホログラム合成時の要素ホログラムの間隔に対応したピッチずつ移動させながら、次々と原画を撮影する。逆にこれらを固定し、被写体のみを平行移動してもよい。

3. HS の合成

従来の合成光学系では、Fig. 1 に示すように、原画は投影レンズ PL によって視野レンズ SL の付近に結像する。これを照明するレーザー光束は、垂直方向に関しては視野レンズ SL によってホログラム面から約 1 m の所に絞り込まれ、また水平方向に関してはシリンダカルレンズ CL によってホログラム面上に集光され、細長い要素ホログラムとして記録される。しかし、上述の原画撮影光学系で撮った写真列を HS の合成光学系の原画として使う場合には、原画の縦方向と横方向の倍率が違うため、従来の合成光学系の投影レンズ PL の代わりに二つのシリンダカルレンズを使ってそれぞれの方向の倍率を補正することが必要になる。その理由を以下に説明する。まず、水平方向に関しては、Fig. 3(a) のように、原画撮影においては、光線は円筒ミラーの中心 O から d 離れた点のフィルムに記録される。合成する際には、その原画は Fig. 1 の SL の付近に拡大投影される。よって被写体に対する投影された像の水平方向の横倍率 m は

$$m = D/d \quad (1)$$

となる。ここで、 D は CL とホログラムフィルムとの距離、 d は原画撮影系でのピンホールと原画フィルムとの距離である。

一方、垂直方向については、Fig. 3(b) のように、

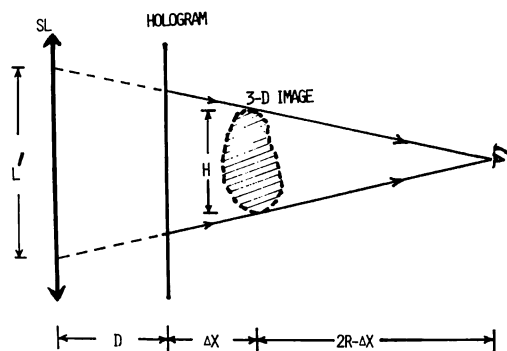


Fig. 5 The vertical magnification of 2D original image on projecting plane.

($2R - \Delta X$) の距離で被写体を記録するため、原画に記録される被写体の像の高さ L は

$$L = \frac{Hd}{2R - \Delta X} \quad (2)$$

となる。ここで、 H は被写体の高さを示す。観察する位置は Fig. 1 の合成光学系の視野レンズ (SL) により、光線が縦方向に収束する位置であり、Fig. 5 よりわかるように、視野レンズの付近に拡大投影される高さ L' は

$$L' = \frac{H(2R + D)}{2R - \Delta X} \quad (3)$$

となる。

式(2)、(3)から、垂直方向の横倍率 M は

$$M = \frac{L'}{L} = \frac{2R + D}{d} \quad (4)$$

となる。

式(1)、(4)より、水平方向と垂直方向の横倍率は異なる。

この違いを補正する方法としては、原画撮影系でアナモルフィック結像光学系を用いて、それぞれの方向の横倍率を補正する方法が考えられるが、本実験では簡単のため、横倍率の異なる原画をそのまま使い、合成時に横倍率を補正する方法を用いる。すなわち、Fig. 1 の従来の合成光学系での投影レンズの代わりに、Fig. 6 に示すように二つのシリンダカルレンズ (CL1, CL2) を用いることにより、補正を行う。CL1 と CL2 の焦点距離 F_1, F_2 および光学系での位置 I_1, I_2 は SL と CL のパラメータ、 D (投影結像面とホログラム・フィルムとの距離)、および d (原画撮影系でのピンホールとフィルムとの距離) に依存し、次のように決められる。

まず、水平方向について考察する。Fig. 6 (b) に示すように、CL と SL のある位置に原画を結像させ、そこ

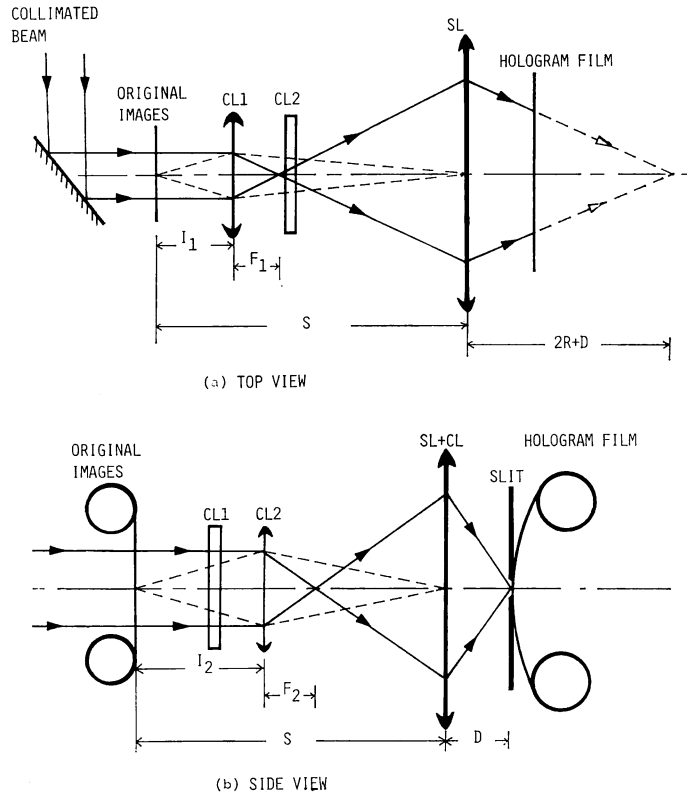


Fig. 6 The synthetic system of one-step HS in the experiment. (a) top view, (b) side view.

から原画までの距離を S とする. CL と SL の組み合わせた焦点距離を F_x と置くと,

$$\frac{S - I_2 - F_2}{F_2} = m \tag{5}$$

$$\frac{1}{S - I_2 - F_2} + \frac{1}{D} = \frac{1}{F_x} \tag{6}$$

$$\frac{1}{I_2} + \frac{1}{S - I_2} = \frac{1}{F_2} \tag{7}$$

の関係がある. F_2, I_2, S に対して解くと,

$$F_2 = \frac{1}{m} \cdot \frac{D \cdot F_x}{D - F_x} \tag{8}$$

$$I_2 = \frac{m+1}{m} \cdot F_2 \tag{9}$$

$$S = \frac{(m+1)^2}{m} \cdot F_2 \tag{10}$$

一例として, $F_x = 133$ mm, $D = 146$ mm, $d = 24.4$ mm, の場合は, $F_2 = 250$ mm, $I_2 = 292$ mm, $S = 2073$ mm が得られる.

一方, 垂直方向に関しては, 式(8)~(10)の導出と同じように考える. つまり, Fig. 6 (a) に示すパラメータ

を直接代入すれば, $F_1, I_1,$ と R を求めることができる. SL の焦点距離を F_y とすると, 式(10)から

$$S = \frac{(M+1)^2}{M} \cdot F_1 = \frac{(m+1)^2}{m} \cdot F_2 \tag{11}$$

$$\therefore F_1 = \frac{(m+1)^2}{m} \cdot \frac{M}{(M+1)^2} \cdot F_2 \tag{12}$$

式(9)から

$$I_1 = \frac{M+1}{M} \cdot F_1 \tag{13}$$

ここで, $M = (2R+D)/d$ である.

しかし, 式(12), (13)には変数 R が入っているため, まず, R を解かなければならない.

式(8)から

$$F_1 = \frac{1}{M} \cdot \frac{(2R+D) \cdot F_y}{(2R+D) - F_y} \tag{14}$$

式(12)と(14)より, R は

$$R = \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{F_y F_2 + 2A \pm \sqrt{(F_y F_2 + 2A)^2 + 4(d F_2 - A)A}}{2(d \cdot F_2 - A)} \right] \cdot d \right\} - D \tag{15}$$

ここでは、 $A = F_v \cdot D / (m+1)^2$ になる。 R を式(12), (13) に代入すれば F_1 , と I_1 が決定される。一例として、

$F_v = 750 \text{ mm}$, $R = 550 \text{ mm}$ とすれば、 $F_1 = 37 \text{ mm}$, $I_1 = 38 \text{ mm}$ となる。

4. 実験と結果

まず、合成光学系パラメータを考慮して円筒ミラーの曲率半径 R (約 550 mm) と Fig. 2 に示す視域角度(θ) (約 60°) を決める。円筒ミラーの中心軸より ΔX (100 mm) に被写体を置く。Fig. 7 (a) は被写体の正面像である。円筒ミラーとハーフミラーによって2回反射された被写体からの拡散光はおよそ 0.5 mm 直径のピンホールを通してカメラレンズによってフィルムに結像する。被写体を Y 方向に要素ホログラムの間隔 1 mm だけ少しずつ移動させて映画カメラで約 200 枚の原画を撮影する。Fig. 7 (b), (c) はこの光学系で撮影した原画の例である。

このようにして撮った原画を、Fig. 6 の光学系を使って水平方向と垂直方向のそれぞれの幅を SL と CL の付近に拡大撮影する。光線は水平方向に関しては CL によってホログラム面に集光し、垂直方向に関しては、SL によってホログラム面から約 1 m の所に絞り込む。平行光の参照光は約 45° から入射して合成する。このようにして記録作成した HS を白色光照明した場合の再生像の一例を Fig. 8 に示す。

5. 結 論

実験により、再生像をホログラムの前方に再生できることを確かめた。本手法を用いれば、実在する物体に対して任意の位置に再生するための原画が直接得られ、HS の合成がスムーズに行える。この手法は平面型だけではなく、広視域のレインボウタイプの“Alcove hologram”^{3,4)}の原画作製にも応用できる。

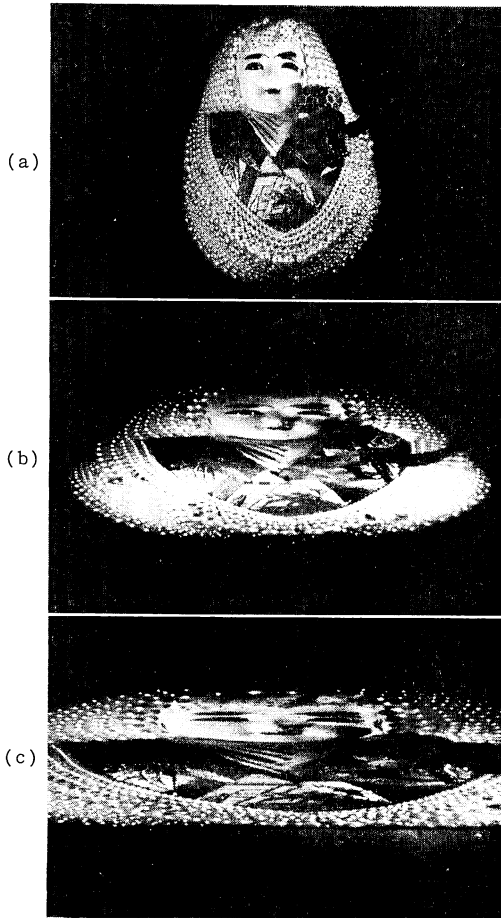


Fig. 7 Examples of the 2D original images taken by the recording system. (a) object, (b) the 2D images when ΔX is 250 mm, (c) the 2D image when ΔX is 100 mm.

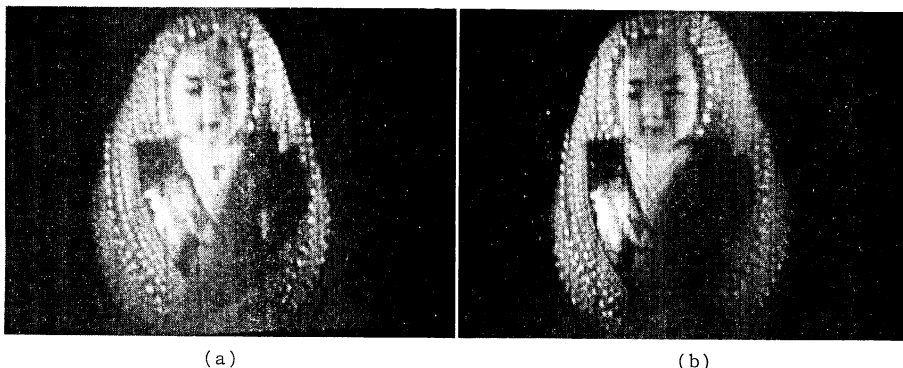


Fig. 8 Photographs of the reconstructed image from the HS. (a) taken from left eye position, (b) taken from right eye position.

文 献

- 1) D.-K. Kang, M. Yamaguchi, T. Honda and N. Ohyama: Opt. Commun., to be published. (康 徳寛, 本田捷夫: “ワンステップ・ホログラフィック・ステレオグラム”, Microopt. News, 7 (1989) pp. 58-63).
- 2) 康 徳寛, 山口雅浩, 本田捷夫, 大山永昭: “光学系による one-step HS のための原画作製”, 第20回画像工学コンファレンス論文集 (1989) pp. 297-300.
- 3) S. A. Benton: “Alcove hologram for computer-aided design,” Proc. SPIE, 761 (1987) 53-61.
- 4) S. A. Benton: “The reflection alcove hologram: a computer-graphic stereogram,” Proc. SPIE, 884 (1988) 106-113.