

超音波 홀로그램의 디지털處理에 의한 立体物体의 分離再生

孫 珍 鉉

Separated Reconstruction of Images from Ultrasonic Holograms with Tridimensional Object by Digital Processing

Jin-Hyeon Son

〈目 次〉

Abstract	4. 디지털處理에 의한 像의 分離再生
1. 序 論	(1) 홀로그램의 變換
2. 立体物体의 分離再生에 關한 理論	(2) 從來의 再生法에 傾斜를 考慮한 分離再生
(1) 多重回析에서 線形關係式	(3) 두 홀로그램의 演算에 의한 分離再生
(2) 한 홀로그램에서 다른 角度로 傾斜한 홀로그램으로 變換	5. 結 論
3. 對象物体와 데이터의 收集	參考文獻

Abstract

Because of much attractiveness, digital reconstruction of image from ultrasonic hologram by computer has been widely studied in recent years.

But the method of digital reconstruction of image is displayed in the plain only, so study is done mainly of the hologram obtained from bidimensional objects.

Many applications of the ultrasonic holography such as the non-destructive testing and the ultrasonic diagnosis are mostly of the tridimensional object. In the ordinary digital reconstruction of the image from the hologram obtained from tridimensional object, a question of hidden-image problem arises, and the separated reconstruction of the image for the considered part of the object is required.

In this paper, multi-diffraction by tridimensional object is assumed to have linearity, ie. superposition property by each diffraction of bidimensional objects.

And a new algorithm is proposed here, namely reconstructed image for considered one

of bidimensional objects in tridimensional object obtained by means of operation from the two holograms tilted in unequal angles. Such tilted holograms are obtained from the tilted linear array receivers by scanning method. That images can be reconstructed by the operation from two holograms means that the new algorithm is verified.

And another new method of the transformation of hologram, that is, transformation of a hologram to arbitrarily tilted hologram, has been proved valid.

The reconstructed images obtained with the method of transformation and the method of operation, are the images reconstructed from one hologram by the tridimensional object and more distinctly separated than any images mentioned above.

1. 序 論

最近의 超音波 홀로그래피(holography)는 計算機를 使用하여 디지털(digital) 處理에 依한 再生法이 많이 研究되고 있다.^{1)~4)} 이것은 超音波가 빛에 比하여 長波長이므로 開口對 波長比가 적어서 데이터(data)數가 적고, 디지털 畫像處理⁵⁾를 併用하여 畫質을 改善할수 있고, 또 홀로그램(hologram)의 데이터를 收集하는데 高感度인 超音波交換子를 使用할수있는 走査方法⁶⁾⁷⁾을 利用할수 있기 때문이다.

超音波 홀로그램의 디지털 處理에 依한 再生은 二次元的인 面으로만 디스플레이(display)가 되므로, 지금까지의 研究에서도 對象物체는 主로 平面체에 關한 것이고, 立体的인 物체의 再生인 境遇에는 考慮하는 한 層의 再生像과 다른 各層의 像도 焦點이 흐린 像으로서 겹쳐져 나타난다.⁸⁾

非破壞檢査, 超音波診斷, 海底調査等 超音波 홀로그래피의 많은 應用面에서는 그 對象物체가 立体的인 物体이므로, 考慮하는 層만이 分離되어서 再生되는 것이 要求된다.

本論文에서는 立体物体에 依한 多重回折에서도 線形關係가 成立한다고 假定하고, 立体物体에 依한 홀로그램面에서 서로 다른 角度로 傾斜한 두 홀로그램에 關한 演算을 해서, 立体物体中 不必要한 層의 像을 除去하고, 考慮하는 層의 像만을 再生하는 새로운 알고리즘(algorithm)을 誘導하였다.

이 方法에 依한 再生像으로 多重回折에서도 線形關係가 成立한다는 것을 立證하였고, 또 이들 再生像과 傾斜를 考慮한 從來의 再生法에 依한 再生像과를 比較하였다.

한편 任意의 一面의 홀로그램이 다른 任意의 角度로 傾斜한 홀로그램으로 變換하는 “홀로그램의 變換法”을 새로 導入하였다.

여기서 이 홀로그램의 變換이 立体物体에 依한 홀로그램에 適用된 實例를 보였고, 또 이中 한 홀로그램에서 서로 다른 任意角으로 傾斜한 두 홀로그램으로 變換시키고 이들 두 홀로그램을 演算해서 分離性이 더 좋은 再生像도 나타내었다.

2. 立体物体의 分離再生에 關한 理論

(1) 多重回折에서 線形關係式

그림1은 点波源 S에서 超音波의 高周波 펄스(pulse)가 發射되어 第一平面物体 O_1 에서 回折하고 다시 第二平面物体 O_2 에서 二次回折을한 波面이 홀로그램面에 까지 到達하는 關係를 나타낸 것이다.

그림1에서 O_1 과 O_2 는 S에서 發射한 球面波의 進行方向(垂直線인 z軸)에 對하여 直角으로 놓여있고 O_1 과 O_2 의 中心과 S는 z軸上에 있으며,

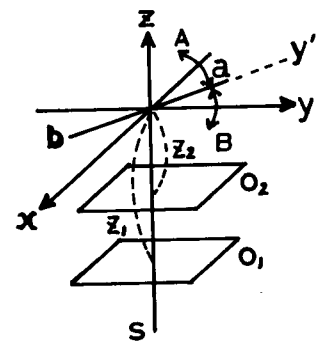


Fig.1 Geometry for hologram recording with tilted linear array receivers
 O_1 & O_2 illustrate objects, a-b, linear array receivers, and A & B, angles of tilted array receivers.



Fig. 2 Block diagram of the whole system for ultrasonic holography

各 物体에서 各各 z_1, z_2 인 距離에 있는 水平面의 座標를 그림1과 같이 (x, y) 라 하면 이面은 傾斜하지 않은 境遇의 홀로그래프의 面이 된다.

線形 어레이 受信器($a-b$)가 (y, z) 面과 角 A 로, (x, y) 面과 角 B 로 傾斜하여 a 受信子에어 b 쪽 受信子를 向하여 順次的으로 各点의 情報를 受信하여 데이터를 收集하고 同時에 어레이 受信器가 x 方向으로 走査하면 傾斜된 한 面의 홀로그래프가 얻어진다. 이 境遇의 홀로그래프의 座標 (X, Y, Z_i) 는 다음의 (1), (2)式이 成立한다. 여기서 i 는 O_1 物体 혹은 O_2 物体에 對하여 各各 1 혹은 2가 된다.

$$\left. \begin{aligned} X &= x - k_x \cdot y' \\ Y &= k_y \cdot y' \\ Z_i &= z_i - k_z \cdot y' \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

$$\left. \begin{aligned} k_x &= \sin A \cdot \cos B \\ k_y &= \cos A \cdot \cos B \\ k_z &= \sin B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

(1)式에어 y' 는 어레이 受信器上의 座標이며 이것의 크기는 y 座標의 크기와 같다. (1)式의 各 座標를 y' 의 函數로 한것은 어레이 受信器가 x 方向으로 走査하면서 x 의 各 位置에서 어레이 受信子의 配列方向으로 데이터를 收集하기 때문이다.

各 物体의 情報를 各各 $U_1(x_1, y_1), U_2(x_2, y_2)$, 任意角으로 傾斜한 한 面의 홀로그래프를 $H'(X', Y', Z')$ 라 하고, O_1 에서 O_2 에 關한 임펄스(impulse)應答을 $h_{12}(x_2, y_2)$, O_2 에서 H' 홀로그래프에 關한 임펄스應答을 $h_2'(X', Y', Z_2')$ 라 하면 그림1과 같은 二重回折에 關한 回折式은 홀로그래프面이 傾斜하지 않은 境遇의 單一物体에 關한 回折式¹⁰⁾을 擴張하면 다음의 (3)式과 같이 될것이고, 이의 近似式은 (4)式이 될것이다.

$$H'(X', Y', Z') = h_2'(X', Y', Z_2') * \{ [h_{12}(x_2, y_2) * U_1(x_1, y_1)] \cdot U_2(x_2, y_2) \} \dots\dots\dots(3)$$

$$\begin{aligned} H'(X', Y', Z') &= h_{12}(x_2, y_2) \cdot F[U_1(x_1, y_1) \cdot E_1'(x_1, y_1, Z_1')] \cdot \\ &h_2'(X', Y', Z_2') \cdot F[U_2(x_2, y_2) \cdot E_2'(x_2, y_2, Z_2')] \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

(3)式의 *記號는 컨볼루션(convolution)을 나타내고, (4)式의 $F[]$ 는 括弧內函數의 Fourier變換이다.

두 物体의 像을 各各 再生하는 것은 (3)式 혹은 (4)式에서 U_1 과 U_2 를 求하는 것임으로 다른 角度로 傾斜한 또 하나의 홀로그래프 $H''(X'', Y'', Z'')$ 에 關한 (3)式 혹은 (4)式과 같은 式이 必要하지마는 이들 式에서 $U_1(x_1, y_1)$ 과 $U_2(x_2, y_2)$ 를 求한다는 것은 不可能한 일이다.

여기서 多重回折에서도 近似的으로 線形關係가 成立한다고 假定하고, 다음의 式들과 같이 立体物体에 依한 한 홀로그래프는 各 物体가 單獨으로 存在하는 境遇의 各 홀로그래프의 疊으로 이루어져 있다고 보고 關係式을 展開한다.

우선 그림1에서 O_1 物体만이 存在할때는 (4)式에서 H' 홀로그래프는 다음 (5)式의 H_1' 가 된다.

$$H_1'(X', Y', Z_1') = h_1'(X', Y', Z_1') \cdot F[U_1(x_1, y_1) \cdot E_1'(x_1, y_1, Z_1')] \dots\dots\dots(5)$$

(5)式에서 各 函數는 다음의 (6), (7) 및 (8)式과 같다.

$$h_1'(X', Y', Z_1') = \frac{\exp(jkZ_1')}{j\lambda Z_1'} \exp \left[j \frac{k}{2Z_1'} \{ (X')^2 + (Y')^2 \} \right] \dots\dots\dots(6)$$

(6)式은 O_1 物体에서 H_1' 홀로그래프面에 關한 임펄스應答이다.

$$E_1'(x_1, y_1, Z_1') = \exp \left\{ j \frac{k}{2Z_1'} (x_1^2 + y_1^2) \right\} \dots\dots\dots(7)$$

$$F \left[U_1(x_1, y_1) \cdot E_1'(x_1, y_1, Z_1') \right] = \iint_{-\infty}^{\infty} U_1(x_1, y_1) \cdot E_1'(x_1, y_1, Z_1') \cdot \exp \left\{ -j \frac{2\pi}{\lambda Z_1'} (X' \cdot x_1 + Y' \cdot y_1) \right\} dx_1 \cdot dy_1 \dots\dots\dots(8)$$

(6), (7) 및 (8)式에서 λ 는 波長을, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 이고, (8)式에서 x 와 y 方向의 各 空間周波數 f'_{x_1} , f'_{y_1} 는 다음 (9)式과 같다.

$$f'_{x_1} = \frac{X'}{\lambda Z_1'} \quad , \quad f'_{y_1} = \frac{Y'}{\lambda Z_1'} \dots\dots\dots(9)$$

以上の (6), (7), (8) 및 (9)式은 다음의 (10), (11) 및 (12)式의 各 函數도 같은 形式의 關係式이다.

O_1 物体만이 存在하는 境遇의 H'' 홀로그렘은 다음 (10)式의 H_1'' 가 된다.

$$H_1''(X'', Y'', Z_1'') = h_1''(X'', Y'', Z_1'') \cdot F[U_1(x_1, y_1) \cdot E_1''(x_1, y_1, Z_1'')] \dots\dots\dots(10)$$

그리고 O_2 物体만이 存在할 때의 H' 와 H'' 의 各 홀로그렘은 다음의 (11), (12)式이 된다.

$$H_2'(X', Y', Z_2') = h_2'(X', Y', Z_2') \cdot F[U_2(x_2, y_2) \cdot E_2'(x_2, y_2, Z_2')] \dots\dots\dots(11)$$

$$H_2''(X'', Y'', Z_2'') = h_2''(X'', Y'', Z_2'') \cdot F[U_2(x_2, y_2) \cdot E_2''(x_2, y_2, Z_2'')] \dots\dots\dots(12)$$

實際는 O_1 과 O_2 가 같이 存在하므로 H' 와 H'' 의 各 홀로그렘은 各各 다음의 (13), (14)式과 같이 線形關係가 成立한다고 假定한다.

$$H'(X', Y', Z') = H_1'(X', Y', Z_1') + H_2'(X', Y', Z_2') \dots\dots\dots(13)$$

$$H''(X'', Y'', Z'') = H_1''(X'', Y'', Z_1'') + H_2''(X'', Y'', Z_2'') \dots\dots\dots(14)$$

(1)式에서 $|z_i| \gg |k \cdot y_i|$ 가 成立하면 $Z_i \doteq z_i$ 가 되고 이 關係를 (5), (10), (11) 및 (12)式의 E_1' , E_1'' 및 E_2'' 의 各各 該當하는 (7)式에 適用하면 다음의 (15)式이 成立한다.

$$\left. \begin{aligned} E_1'(x_1, y_1, Z_1') &\doteq E_1''(x_1, y_1, Z_1'') \\ E_2'(x_2, y_2, Z_2') &\doteq E_2''(x_2, y_2, Z_2'') \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

따라서 $U_1(x_1, y_1)$ 과 $U_2(x_2, y_2)$ 는 (5), (10), (11) 및 (12)式과 (13), (14)式에서 다음의 (16), (17)式과 같이 求할 수 있다.

$$U_1 = \sqrt{ \left\{ F^{-1} \left[\frac{h_2'' H' - h_2' H''}{h_1' h_2'' - h_1'' h_2'} \right] \right\}^2 } \dots\dots\dots(16)$$

$$\bar{U}_2 = \sqrt{ \left\{ F^{-1} \left[\frac{h_1'' H' - h_1' H''}{h_2' h_1'' - h_2'' h_1'} \right] \right\}^2 } \dots\dots\dots(17)$$

(16), (17)式에서 $F^{-1} [\]$ 는 括弧內函數의 Fourier 逆變換이고, 自乘平方根은 強度를 얻기 爲한 것이며 이것을 各各 U_1 , U_2 로 나타내었다.

(2) 한 홀로그렘에서 다른 角度로 傾斜한 홀로그렘으로 變換

서로 다른 角度로 傾斜한 두 種의 홀로그렘은 2回의 데이터 收集이 必要하고, 또 이들 두 홀로그렘의 相對的인 位置가 一致하지 않으면 (16), (17)式에서 두 홀로그렘의 演算을 하는 意義가 없어진다. 그리고 相對的인 位置를 一致시킨다는 것은 데이터 收集에서 容易한 일이 아니다.

한 홀로그렘에서 다른 角度로 傾斜한 홀로그렘을 求하는 것을 우선 單一物体인 境遇부터 考察한다. H' 홀로그렘에서 H'' 홀로그렘을 求하는 關係式은 다음의 (18)式이 成立하는 R 函數를 求하고 (18)에 適用하면 된다.

$$H''(X'', Y'', Z'') = H'(X', Y', Z') \cdot R(X', Y', Z', X'', Y'', Z'') \dots \dots \dots (18)$$

R函數는 (18)式에서 두 홀로그래프의 비가 되므로, 한 物体의 홀로그래프의 關係式인 (5)式과 (10)式, 혹은 (11)式과 (12)式에, (15)式의 近似式을 使用하면 다음의 (19)式과 같이 그 物体와 各 홀로그래프에 關한 (6)式의 입력스應答의 비가 된다.

$$R(X', Y', Z', X'', Y'', Z'') \doteq h''(X'', Y'', Z'') \cdot [h'(X', Y', Z')]^{-1} \dots \dots \dots (19)$$

以上の 單一物体에 關한 關係式은 單一物体에 依한 홀로그래프에서 (18)式이 成立하는 것을 立證하였으나, 다음의 立体的인 物体의 境遇에서 그 例를 보이고 本文에서는 省略한다.

그림1과 같은 두 物体로 構成된 境遇의 (19)式의 各 輸入스應答은 考慮하는 한 物体에서 各 홀로그래프에 關한 輸入스應答이 된다. 卽 (16)式에서 U_1 을 求할 때는, (19)式의 h' 는 (6)式인 h_1' 이고, h'' 는 (6)式에 該當하는 (10)式의 h_1'' 가 된다. 또 (17)式에서 U_2 를 求할 때는 (19)式의 h' 와 h'' 는 (6)式에 該當하는 (11)式의 h_2' 와 (12)式의 h_2'' 가 된다.

以上の 關係式과 (15)式을 適用한 (5)式 (혹은(10)~(12), 以下에서는 (5)式만을 記載함)에 依하여 (16), (17)式이 成立하는 것을 알수 있다.

3. 對象物体와 데이터의 收集

本實驗의 全体課程은 그림2와 같고, 홀로그래프의 데이터測定, 收集裝置 및 各種電子制御回路는 “이 레이受信器에 依한 超音波 홀로그래프로 像의 디지털再生¹¹⁾에서 實行한 것과 같다.

그림2에서 超音波 홀로그래프의 데이터測定裝置의 略圖는 그림1과 같다. 여기서 物体로 부터의 回折波를 이 레이受信器가 受信하고, 電子의인 參照에 依하여 同期檢波를 한다. 檢波된 信號는 複素振幅인 홀로그래프의 데이터가 되며 그림2의 마이크로 計算機와 온라인(on-line)으로 A/D變換을 하고 收集한다. 디지털化한 이 데이터는 다시 PT(paper tape)에 옮긴다.

測定에 使用한 그림1의 對象物体인 O_1 과 O_2 에서 O_1 物体¹²⁾는 넓이 400mm×380mm, 두께 1.5mm인 알루미늄(aluminum)板 中央에 USH 文字를 파낸 것으로 各 文字의 幅은 2.3mm이고, 3文字의 全幅은 30mm, 全長은 26mm로 되어 있다. 그리고 O_2 物体는 같은 두께의 알루미늄을 幅 3mm, 길이 50mm인 막대기 3個를 5mm 間隔으로 配列한 것이다.

그림 1에서 $z_1 = -200mm$, $z_2 = -150mm$ 이고, 波源S에서 홀로그래프의 中心까지는 430mm이다. 送信子는 두께 0.5mm 直徑 3mm인 시레믹스(ceramics) 振動子(No. 316)이고 여기서 펄스幅 8μsec인 4.2863 MHz의 超音波펄스를 周期 8m sec로 發射한다.

	S_1	S_2	S_3
λ (mm)	0.345	0.346	0.347
A (°)	0.000	-0.909	-0.909
B (°)	0.000	6.300	-3.653
$ k_x \cdot y' $ (mm)	0.000	0~3.511	0~2.039

$$f = 4.2863MHz, z_1 = -200.0mm, z_2 = -150.0mm$$

Table Measurement conditions of hologram data

$S_1 \sim S_3$ illustrate names of hologram data, λ , wave length and A & B, angles of tilted array receivers (Fig. 1)

한편 어레이受信器¹³⁾는 送信子와 같은 시레믹스振動子를 使用하고 幅 1.8mm, 길이 2.1mm인 受信子 32個를 中心間隔 2mm(受信子間의 間隔은 0.2mm)로 配列한 것이다. 이 어레이受信器가 그림 1과같이 角 A, B 로 傾斜하여 홀로그래프面에서 $-x$ 方向으로 64mm間을 走査하면서 이 方向의 各 1mm 間隔에 對하여 $-y'$ 方向($a \rightarrow b$)인 各 受信子로 2mm 間隔, 32點에서 데이터를 收集한다. 다시 第2走査는 어레이受信器를 $-y'$ 方向으로 1mm 移動하여 第1走査時의 各 受信子の 中間位置에서 데이터를 收集한다.

以上 2回의 走査로 홀로그래프面에서 x 方向과 y' 方向 各 各 1mm 間隔으로 64×64點에서 데이터가 收集된다. 이 데이터는 前述한 바와 같이 複素振幅이므로 實數部와 虛數部 各 各 64×64個로서 한 홀로그래프가 된다.

表에서 홀로그래프의 데이터를 測定한 條件이 表示되어 있다. $S_1 \sim S_3$ 은 홀로그래프의 데이터名이고, λ 는 波長이며, A, B 는 그림1의 傾斜角이다. 傾斜角은 送信子에서 어레이受信器의 兩端 受信子까지 超音波펄스가 到達할때 까지의 波數로 算出하였다.¹⁴⁾ $|k_2 \cdot y'|$ 는 (15)式의 近似式이 成立하는 條件이며, (2)式과 $y'(0 \sim \pm 32\text{mm})$ 로 算出한 값이다. z_i 即 $z_1 = -200\text{mm}$ 와 $z_2 = -150\text{mm}$ 에서 $|k_2 \cdot y'|$ 의 最大値에 關하여도 $|z_i| \gg |k_2 \cdot y'|$ 即 $Z_i \approx z_i$ 가 되고 (15)式이 成立한다

4. 디지털處理에 依한 像의 分離再生

(1) 홀로그래프의 變換

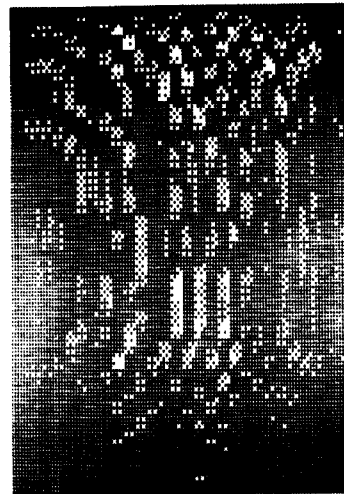
디지털化한 複素振幅인 홀로그래프의 데이터는 그림2의 미니計算機에서 우선 데이터收集時의 홀로그래프面의 位置順으로 데이터順의 配列을 變換한다.

表에서 S_1 과 S_2, S_3 는 그림1에 依한 傾斜하지 않은 境遇와 傾斜한 境遇의 各 홀로그래프이며 其中 S_1 과 S_2 의 實數部만을 라인프린터(line printer)에 디스플레이 한것이 寫眞(1)과 (2)이다. (S_3 와 各 홀로그래프의 虛數部도 類似한 것임으로 이들의 寫眞은 省略하였다.)

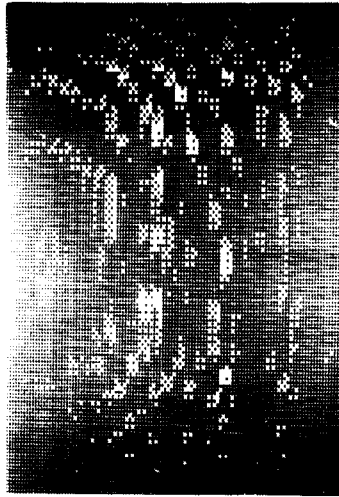
實際의 홀로그래프面은 데이터收集時 세로와 가로가 같은 間隔이고 데이터數가 64×64個이므로, 傾斜하지 않으면 正方形이 되고 傾斜한 境遇에는 平行四邊形이 되지 마는, 라인프린터에 印字로써 디스플레이 하면 活字의 가로와 세로의 比가 7:9로 되어있는 關係로 寫眞과 같이 長方形이 된다. 더



Ph. 1 Real part of hologram of S_1 in Table



Ph. 2 Real part of hologram of S_2 in Table



Ph. 3 Real part of hologram transformed from S_1 to S_2 with Eq. (18)



Ph. 4 Real part of hologram transformed from S_2 to S_1 with Eq. (18)

스플레이에서 각 데이터의 畫素는 5레벨(level) 即 4文字分을 對應시키고, 各 文字는 8字, H字 및 I字를 겹쳐서 印字하여 明暗의 對照를 높였다.

表의 S_1 과 S_2 홀로그램에서 그림1의 O_1 物体에 該當하는 (19)式을 (18)式에 適用시켜 S_1 에서 S_2 로, 또 S_2 에서 S_1 으로 홀로그램의 變換을 한것이 各各 寫眞(3)과 (4)가 된다. 서로 다른 條件下에서 測定하여 收集한 各 홀로그램에서 한 物体(O_1)에 該當하는 條件과 또 測定裝置의 未備(특히 홀로그램의 中心位置 調整)를 考慮하면 寫眞(1)과 (4), 그리고 (2)와 (3)은 相當히 類似한 關係라 할수 있다.

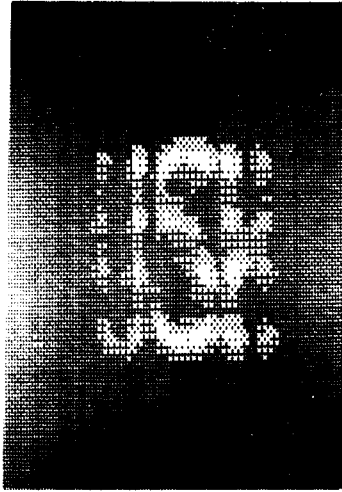
變換된 홀로그램에 (18)式의 逆算을하면 當然히 原홀로그램으로 還元되고 原홀로그램의 寫眞이 된다.

(2) 從來의 再生法에 傾斜를 考慮한 分離再生

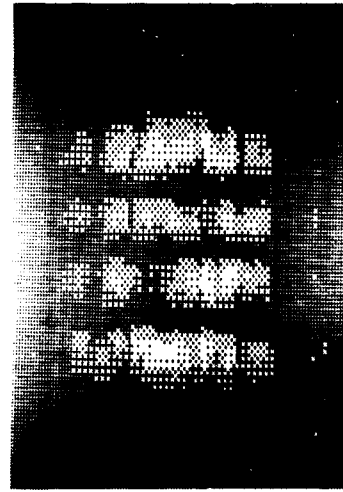
홀로그램에서 像의 再生은 從來의 再生法에 傾斜를 考慮하여 一般化한 (5)式을 使用하고, 또 두 홀로그램의 演算에 依한 分離再生(4의(3))은 (16), (17)式에 依한 것으로 홀로그램과 임펄스應答과의 演算을 하고, FFT^{15), 16)}를 利用해서 Fourier逆變換을 한다음 強度를 求하기 爲하여 自乘平方根을 取하고 라인프린트에 디스플레이 한다.

立体物体의 境遇는 勿論이고 單一物体에 關한 것도 傾斜한 홀로그램을 從來의 再生法 即 (2)式에서 $A=O$, $B=O$ 인 境遇의 (5)式으로 再生하면 (9)式의 세로와 가로의 空間周波數의 差異로 多重像이 再生된다.¹⁷⁾ 그러나 傾斜한 홀로그램에 關하여 그 傾斜面으로 變換한 (5)式으로 再生하면 物体의 完全한 像이 얻어진다.¹⁷⁾ 이 方法을 使用해서 그림1의 O_1 物体 혹은 O_2 物体에 關한 測定條件에 依하여 再生한 像이 寫眞 (5), (6), (7) 및 (8)이다. 寫眞 (5)와 (6)은 表의 S_1 에 關한, 即 寫眞(1)과 그의 虛數部의 홀로그램으로 再生한 O_1 物体와 O_2 物体의 各 再生像이다. 이것들은 傾斜하지 않은 境遇이므로 從來의 再生法에 依한것과 같다. 그리고 寫眞(7)과 (8)은 表의 S_2 , 即 傾斜한 境遇의 再生像이며, 이것들은 寫眞(4)와 같이 再生對象物体에 該當하게 表의 S_2 를 S_1 으로 홀로그램의 變換을 해서 從來의 再生法으로 再生한 像과 같다.

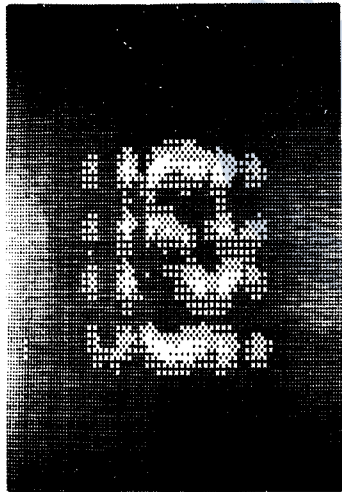
이들 寫眞에서 (5)와 (7)은 O_1 物体인 透過型으로된 USH 文字의 再生像이고, 寫眞 (6)과 (8)은 反對로 不透過體인 O_2 物体(알미늄棒)의 再生像이며 寫眞에서 밝은 4줄部分 中間의 검은 3줄部分이



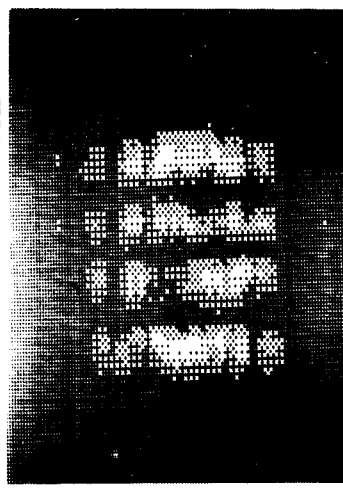
Ph. 5 Image of O_1 (letters of USH) in tridimensional object reconstructed with ordinary method not tilted holograms of S_1



Ph. 6 Image of O_2 (three bars) in tridimensional object reconstructed with ordinary method not tilted holograms of S_1



Ph. 7 Image of O_1 in tridi. object reconstructed with the ordinary method considered with tilted holograms of S_2



Ph. 8 Image of O_2 in tridi. object reconstructed with the ordinary method considered with tilted holograms of S_2

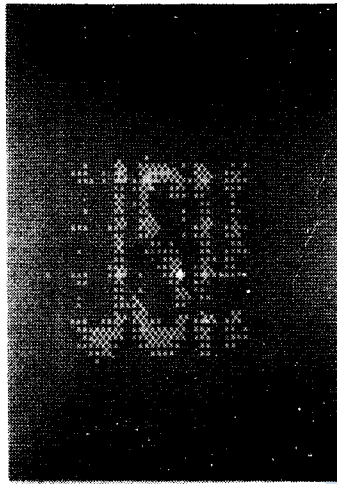
O_2 物体의 再生像이다.

以上の各再生像에서 나타난 것과 같이 O_1 物体의 再生像에는 O_2 物体의 像이, 또 O_2 物体의 再生像에는 O_1 物体의 像이 겹쳐져서 再生이 되어있다. 表에서 S_3 의 各 再生像도 寫眞(5)~(8)과 類似한 것임으로 省略한다.

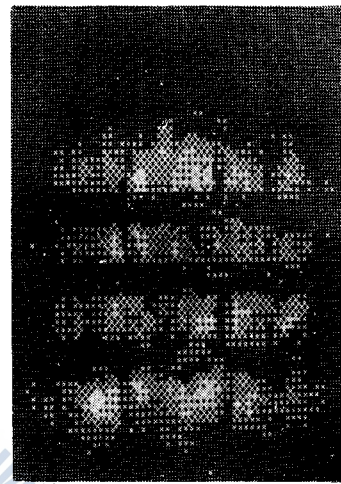
(3) 두 홀로그램의 演算에 의한 分離再生

두 홀로그램과 그의 各 임펄스應答에 의한 (16)式과 (17)式의 各 演算으로 再生한 像이 寫眞(9)

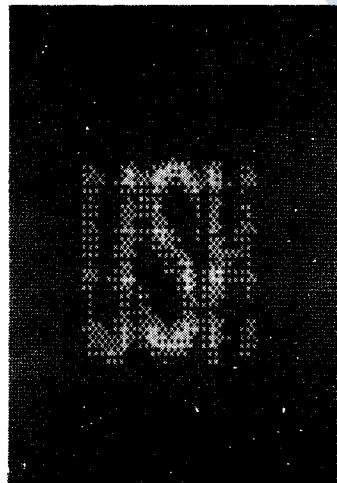
와 (10)이다. 이것은 위에서 S_2 와 S_3 에 관한 두 홀로그래프에 의한 것으로 각각 O_1 과 O_2 物体의 再生像이다. 이들 像은 앞의 寫眞(5)~(8)의 各 再生像에 比하여 別로 改善된 點이 없고 오히려 惡化된 點도있다. 이것은 S_2 와 S_3 에서 두 홀로그래프의 測定條件 特히 中心位置가 一致하지 않은 것으로 解釋된다. 即 다른 두 홀로그래프를 같은 方法으로 再生하여 全히 結像이 되지 않은 境遇가 있고, 또



Ph. 9 Image of O_1 in tridi. object reconstructed by operation with Eq. (16) from S_2 and S_3



Ph. 10 Image of O_2 in tridi. object reconstructed by operation with Eq. (17) from S_2 and S_3



Ph. 11 Image of O_1 in tridi. object reconstructed by operation with Eq. (16) from S_2 and S_3 which are transformed with Eq. (18) from S_1



Ph. 12 Image of O_2 in tridi. object reconstructed by operation with Eq. (17) from S_2 and S_3 which are transformed with Eq. (18) from S_1

表의 S_2 와 S_3 에 관한 두 홀로그램中 한 홀로그램의 中心을 變更하여 再生하면 더 惡化하고 中心의 相對位置의 差가 클수록 그 程度가 더 甚하게 惡化하였기 때문이다.

그러나 寫眞(9)와 (10)에서와 같이 S_2 와 S_3 에 관한 두 홀로그램에서 (16)式과 (17)式에 의한 演算으로도 再生이 된다는 것은 多重回折에 관한 線形關係가 成立한다는 것을 意味한다.

寫眞(11)과 (12)는 表의 S_1 의 한 홀로그램을 使用해서 (19)式과 (18)式에 依하여 表의 S_2 와 S_3 의 各 對象物體에 該當하게 두 홀로그램으로 各各 變換하고, 이들 두 홀로그램과 또 이들의 各 임펄스 應答을 (16)式과 (17)式의 演算으로 再生한 像이다. 各各 O_1 과 O_2 物體의 像이며 앞의 各 再生像에 比하여 良好한 結果이고 이들 各 再生像은 單一物體에 관한 最近의 다른 文獻¹⁸⁾에서의 再生像에 比하여도 遜色이 없다.

5. 結 論

立体物體에 依한 超音波 홀로그램으로부터 各 物體의 分離再生을 爲한 結果로서 다음과 같이 結論을 맺는다.

1. 立体物體에 依한 多重回折의 境遇에서도 線形關係가 成立하는 것을 超音波 홀로그래피로서 例示하였다.

2. 任意角으로 傾斜한 한 홀로그램에서 다른 任意角으로 傾斜한 홀로그램으로 變換하는 方法과 그 實例를 보였다.

3. 立体物體에서 서로 다른 角으로 傾斜한 두 홀로그램의 데이터를 收集하고 이것을 서로 演算해서 再生된 像에 依하여 線形關係의 演算式이 成立하는 것을 보이고, 또 이들 홀로그램의 各各을 傾斜를 考慮한 從來의 方法에 依한 再生像과 比較하였다.

4. 立体物體에 依한 한 홀로그램에서 서로 다른 角으로 傾斜한 두 홀로그램으로 變換하고 이들 두 홀로그램을 演算해서 分離性이 더 좋은 再生像을 나타내었다.

5. 홀로그램의 變換法은 立体物體의 分離再生에서도 1회의 데이터收集만으로 可能하게 한다.

參 考 文 獻

- 1) A. L. Boyer, et al : "Computer Reconstruction of Images from Ultrasonic Holograms", Acoustical Holography, vol. 2, p.211, Plenum Press, New York (1970)
- 2) Thomas S. Huang : "Digital Holography", Proc. IEEE, vol. 59, No. 9, p.1335 (1971)
- 3) 尾上宇夫 : "ホログラム의 デジタル處理", 電子通信學會誌 vol. 59, No. 11, p.1271 (1976)
- 4) Yoshinao Aoki : "Image Reconstruction by Computer in Acoustical Holography", Acoustical Holography, vol. 5, p.551, Plenum Press, New York (1977)
- 5) A. Rosenfeld : "Picture Processing by Computer", Academic Press, New York (1969)
- 6) B. P. Hildebrand & K. A. Haines : "Holography by Scanning", J. Opt. Soc. Am. 59 (1969)
- 7) 岩崎, 青木, 釘木 : "走査超音波ホログラフィー" 應用物理, 第40卷, 第5號, p.504 (1971)
- 8) 2)의 p.1340
- 9) 孫珍鉉 : "Array受信器에 依한 超音波 Hologram으로 像의 Digital 再生", 韓國海洋大學論文集(自然科學篇), 第13輯, p.95 (1978)
- 10) 2)의 p.1339
- 11) 9)의 p.91

- 12) 9)의 p. 93
- 13) 9)의 p. 90
- 14) 9)의 p. 91
- 15) E. O. Brigram, et al : "The Fast Fourier Transform", IEEE Spectrum, December (1967)
- 16) E. O. Brigram : "The Fast Fourier Transform", Prentice-Hall (1974)
- 17) 9)의 p. 95
- 18) Agustin E. Coello-Vera, et al : "Motion Effect in Scanned Acoustic Holography", IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, vol. SU-25, No. 4, p. 174 (1978)



