

Array受信器에 의한 超音波 Hologram으로 像의 Digital 再生

孫 珍 鉉

Digital Reconstruction of Images by the Ultrasonic Holograms using the Array Transducers

Jin-Hyeon Son

目 次

- | | |
|--|--|
| Abstract | 4. Digital 處理에 의한 hologram으로 像의 再生 |
| 1. 序 論 | (1) 補間에 의한 hologram으로 像의 再生 |
| 2. Array 受信器가 傾斜한 경우의 一般的인
Fresnel 回折과 그의 再生 | (2) 傾斜된 array 受信器에 의한 hologram으로 像
의 再生 |
| 3. Array 受信器에 의한 On-line data 收集 | 5. 傾斜된 array 受信器에 의한 Fresnel zone
pattern |
| (1) Array 受信器 | 6. 結 論 |
| (2) Array 受信器의 傾斜角 | 參考文獻 |
| (3) Data의 測定과 on-line data 收集裝置 | |

Abstract

Ultrasonic holography is being widely used for many fields, such as non-destructive testing, ultrasonic diagnosis, etc.. Digital image processing by computer is of use to scanned ultrasonic holograms, because the processing requires less memory capacity and processing time than those of optical images.

But the scanning method using one receiver takes too much time to acquire data, so it is disadvantageous in producing real time reconstruction of images.

In this paper, the images are reconstructed by calculating the new and general inverse Fresnel transform which also gives the possibility of the perfect reconstruction under the condition of tilted hologram with the aid of the fast Fourier transform(FFT) algorithm.

A method of saving time in acquiring digital ultrasonic holograms using the pulse wave is on-line data acquisition by using the array receiver (consisting of 33 transducers). The experimental results produced by the above method are as follows.

1. Reconstructed images are compared with one another. One is acquired by use of all

data (64×64) which are obtained by the two scanning method.

The others are acquired by the interpolation of a half(64×32) of the data and a quarter(32×32) of the data which are obtained by the one scanning method.

2. By means of a new algorithm, perfect reconstruction of hologram obtained by the tilted array receiver is examined.

1. 序 論

超音波 holography는 非破壞檢査, 超音波診斷, 海底調査, 地質檢査 等 그의 應用이 날로 增加하고 있다¹⁻⁷⁾. 超音波 holography의 檢出에는 走査型⁸⁾, 液面型²⁰⁾ 等 여러 方法이 있지만, 液面型은 laser를 介在해서 光學的인 analog 再生이고 더以上 畫質의 向上이 困難하다. 그러나 走査型 超音波 holography는 高感度인 超音波變換子를 使用할 수 있고, 또 振幅과 位相 혹은 複素振幅을 直接 檢出해서 hologram을 얻고 Gabor의 in-line 配置에도 共役像의 妨害가 없는 再生이 可能하다.

超音波는 빛에 此하여 長波長이므로 開口對 波長比가 적어서 data數를 줄여 計算機에 依한 digital 處理로 再生을 할 수 있다⁹⁻¹²⁾. 한편 digital 再生은 digital 畫像處理¹³⁾의 技術을 併用 함으로써 畫質의 改善도 可能하고, 最近 IC, LSI, microprossecer¹⁴⁾ 等의 進歩로 digital 演算과 記憶 cost가 急激히 低下하고 있어서 超音波 holography의 digital處理가 實用化 되기도 目前에 이르고 있다. 그러나 走査方法에 依한 超音波 holography의 digital處理는 data 收集時間과 處理時間이 긴 缺點이 있으므로 實時間再生에는 難點이 되고 있다. data 收集時間을 短縮하는 한 方法은 array 受信器를 使用하는 것이다.

array 受信器를 使用하는 경우 array 受信器가 傾斜가되면 傾斜된 hologram이 되고 이것은 從來의 方法으로 再生하면 完全한 再生이 이루어 지지 않는다.

本 研究에서는 1) 傾斜된 hologram도 完全 再生이 可能的인 一般的인 algorithm을 導出하고 이것을 立證 하였다. 2) array 受信器(33個의 受信子로 構成)와 array 受信器의 制御裝置를 製作하고 micro computer에 on-line으로 data를 收集하여 data 收集時間을 顯著히 短縮시켰다. 3) digital處理로 補間에 依하여 data數 즉 data 收集時間도 더 줄일 수 있는 可能性을 보였다.

2. Array 受信器가 傾斜된 경우의 一般的인 Fresnel回折과 그의 再生

Fig. 1과 같이 平面인 目標物體의 座標를 $(x_1, y_1, 0)$, 이 面과 平行 즉 array 受信器(Fig. 2)가 傾斜되지 않은 경우의 array 受信器의 走査面(hologram面)의 座標를 (x_0, y_0, z_0) 라 하고, 또 array 受信器가 (y_0, z) 면과 A , (x_0, y_0) 면과 B 의 角으로 傾斜되고 있는 경우의 hologram面의 修正座標를 (X, Y, Z) 라 하면, 送信子는 物體 $(x_1, y_1, 0)$ 下側에 있고 이것과 hologram面과 物體의 中心은 한 直線上에 있다. 傾斜로 因한 各 座標의 變量을 P_x, P_y , 및 P_z 라 하고 hologram面과 物體와의 任意距離를 r 이라 하고, array 受信器가 x 方向(x_0 方向)으로 走査할 때, 各單位距離(1mm)를 進行할 때 마다 array 受信器의 左側에서 右側 즉 y_0 의 反對 方向으로 向해서 順次的으로 各 受信子가 情報를 收集하면 다음의 (1), (2) 및 (3)式이 成立한다.

$$\left. \begin{aligned} X &= x_0 + P_x \\ Y &= y_0 - P_y \\ Z &= z_0 + P_z \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

$$\left. \begin{aligned} P_x &= \sin A \cos B y_0 \\ P_y &= (1 - \cos A \cos B) y_0 \\ P_z &= \cos A \sin B y_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

$$r = [Z^2 + (X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

$$\approx Z \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{X - x_1}{Z} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{Y - y_1}{Z} \right)^2 \right] \dots \dots \dots (3)$$

(3) 式의 近似式은 $\left(\frac{X - x_1}{Z} \right)^2 + \left(\frac{Y - y_1}{Z} \right)^2 < 1$ 이 成立하는 경우이다.

物体로 부터의 hologram 面의 impulse 應答 $h(X, Y, Z; x_1, y_1)$ 와 이의 傳達函數 즉 h 의 Fourier變換은 (3)式의 近似式 즉, Fresnel의 近似式을 利用하면 各各 다음의 (4), (5)式이 된다. 여기서 λ 는 波長이고 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ 이다.

$$h(X, Y, Z; x_1, y_1) = \frac{\exp(jkZ)}{j\lambda Z} \exp \left[j \frac{k}{2Z} \left\{ (X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2 \right\} \right] \dots \dots \dots (4)$$

$$F[h] = \frac{1}{j\sqrt{\lambda Z}} \exp(jkZ) \exp \left\{ -j\pi\lambda Z (f_x^2 + f_y^2) \right\} \cdot \exp \left\{ -j2\pi(X + Y)(f_x + f_y) \right\} \dots \dots \dots (5)$$

(5) 式의 f_x 및 f_y 는 各各 x 方向과 y 方向의 空間周波數이고(6) 式과 같다.

$$f_x = \frac{X}{\lambda Z}, f_y = \frac{Y}{\lambda Z} \dots \dots \dots (6)$$

Fresnel의 回折에 依하여 開口面에서의 hologram $U_0(X, Y, Z)$ 는 다음 (7)式과 같이 convolution의 式으로 表示된다. 여기서 $U_1(x_1, y_1)$ 은 物体의 情報이며 再生時의 物体의 像이 된다.

(7)式은 다시 convolution의 定理에 依하여 (8)式으로 表示된다.

$$U_0(X, Y, Z) = h(X, Y, Z; x_1, y_1) * U_1(x_1, y_1) \dots \dots \dots (7)$$

$$F[U_0] = F[h] \cdot F[U_1] \dots \dots \dots (8)$$

(8) 式의 各項은 (7)式의 各項의 Fourier 變數이다. 像의 再生은 (9)와 같이 $F[U_0]$ 와 $F[h]$ 와의 比를 구하고 다시 Fourier 逆變換을 한다. 強度를 얻기 위하여 絕對值를 取한다.

$$\left| [U_1] \right| = \left| F^{-1} \left[\frac{F[U_0]}{F[h]} \right] \right| \dots \dots \dots (9)$$

한편 (7)式을 積分型으로 變更하면 (10)式이 된다.

$$U_0(X, Y, Z) = \frac{\exp(jkz_0)}{j\lambda z_0} \exp(jkP_r) \exp \left\{ j \frac{k}{2Z} (X^2 + Y^2) \right\} \cdot \int \int_{-\infty}^{\infty} U_1(x_1, y_1) \exp \left\{ j \frac{k}{2Z} (x_1^2 + y_1^2) \right\} \exp \left\{ -j \frac{2\pi}{\lambda Z} (Xx_1 + Yy_1) \right\} dx_1 dy_1 \dots \dots (10)$$

(10) 式에서 x 方向과 y 方向의 空間周波數를 (6)式과 같이 各各 f_x, f_y 라 하면 (10)式의 積分記號內는 $U_1(x_1, y_1) \exp \left\{ j \frac{k}{2Z} (x_1^2 + y_1^2) \right\}$ 의 Fourier變換이 된다.

像 $U_1(x_1, y_1)$ 의 再生은 常數項을 除外하면 (11)式과 같이 hologram $U_0(X, Y, Z)$ 에 (12)式의 位相項을 곱한것을 Fourier 逆變換한 것이다.

$$U_1(x_1, y_1) \exp j \frac{k}{2Z} (x_1^2, y_1^2) = F^{-1}[U_0(X, Y, Z) \cdot E(X, Y, Z)] \dots \dots \dots (11)$$

$$E(X, Y, Z) = \exp(-jkP_r) \exp \left\{ -j \frac{k}{2Z} (X^2 + Y^2) \right\} \dots \dots \dots (12)$$

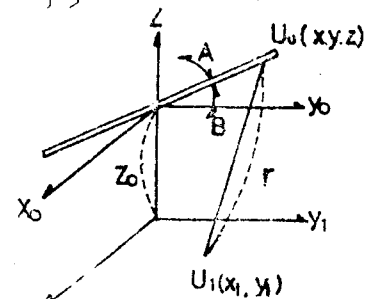


Fig. 1. Geometry for hologram recoding with tilted linear array receners U_1 & U_0 illustrate object & hologram and A&B, angles of tilted array receivers.



像의 強度는 (11)式의 絶對值를 取하여 (13)式으로 구한다.

$$|U_1(x_1, y_1)| = |F^{-1}[U_0(X, Y, Z) \cdot E(X, Y, Z)]| \dots\dots\dots(13)$$

(9) 式 혹은 (13)式은 傾斜한 hologram面을 包含한 一般의인 Fresnel 逆變換式에 絶對值를 取한 것이다.

3. Array 受信器에 依한 on-line data 收集

(1) Array 受信器

33個의 受信子로 構成된 array 受信器를 Fig.2의 略圖와 같이 製作하였다.

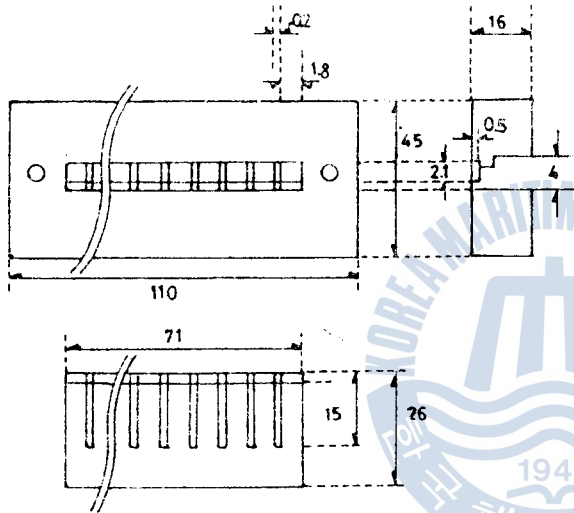


Fig. 2. Configuration of linear array receivers & mount (mm)

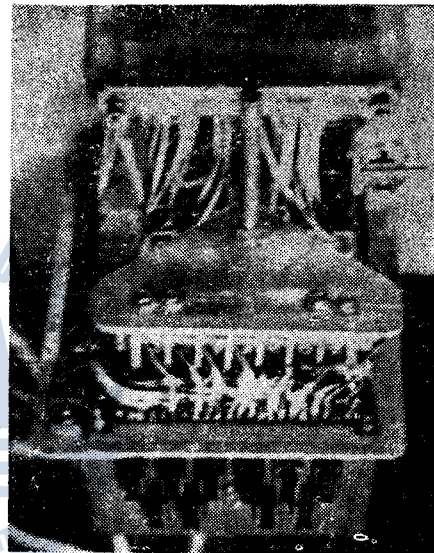


Photo. 1. Photograph of linear array receivers

受信子は 直徑 80mm, 두께 0.5mm, 共振周波數 4.410097 MHz의 ceramics振動子(No. 316) (送信子 $\phi=3mm$ 도 이 振動子의 一部分을 使用)를 막대 모양으로 切斷(10mm×66mm)해서 mount (acryl 台)에 接着하고 縱으로 2.1mm幅으로 切斷하여 다시 振動子의 다른 한 幅1.88mm, 間隔0.2mm, 길이 約 15mm(dicing)가 되게 振動子와 mount의 一部分을 切斷하였다. 各 振動子의 電極에는 $\phi=0.2mm$ 銀線(길이 約5mm)를 導電接着劑로 兩電極에 接着하고 各各 同軸線(길이 約105mm)를 使用해서 reed relay에 연결하고 振動子와 導線은 paraffin으로 防水했다. 完成된 各 振動子의 Q는 낮아서 共振點이 나타나지 않고 水槽內에서 送受信子의 縮合特性에 依하여 使用周波數(4.2863MHz)을 決定하였다. 各 振動子의 振幅과 位相의 特性은 큰 差異가 없고, 2個의 振動子를 別個로 切斷(2mm×2mm)해서 各各 接着하여 製作한 2個의 Array 受信子¹⁸⁾과 같이 各 振動子에 對하여 振幅과 位相의 補正을 할 必要가 없었다. Photo. 1은 完成된 array 受信器의 寫眞이다.

(2) Array 受信器의 傾斜角

Array 受信器의 傾斜角 즉 (2)式의 角A와 B에 關하여 우선 Fig.3과 같은 簡單한 경우를 考察한다.

A=0 즉 array 受信器가 x_0 軸과 直交가 되게 調整한다. 이것은 走査가 시작하는 位置 x_{01} 과 走

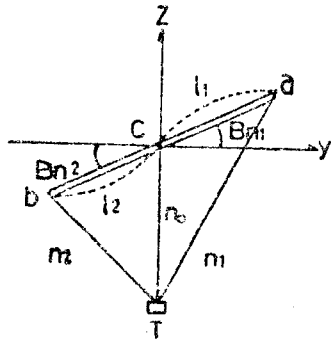


Fig. 3. Geometry of tilted linear array receivers for measurement of B at $A=0$. T & ab illustrate transmitter for ultrasonic & linear array receivers respectively.

查가 그치는 位置 x_{02} 에서 同一 受信子와 送信子(T)間이 等距離가 되게하는 것이다. 이 調整은 使用高周波 $f(4.2846\text{MHz})$ 에 同期되어 送信子에서 放出한 高周波 pulse波(pulse幅; $8\mu\text{sec}$)를 x_{01} 과 x_{02} 位置에서 各各 同一 受信子가 이 pulse波를 受信할 때 까지의 高周波의 波數를 計數하여 兩位置에서 이 波數를 같게 하면 된다. 實際로는 同期用과 波數用 高周波는 $2f$ 로 하여 더 正確性을 期했다.

data를 收集 할 때는 array 受信子가 走査하고 있으므로 角 A 는 (14)式이 된다.

$$A = \sin^{-1} \frac{1}{62} = 0.92^\circ \dots\dots\dots (14)$$

角 B 는 走査의 中心 位置에서 Fig.3과 같이 array 受信器의 a (第1受信子)와 b (第33受信子) 그리고 中心 c (第17受信子)에서의 各波數 $2n_1, 2n_2$ 및 $2n_0$ 를 測定하여 다음의 (15)式으로 구하였다.

$$B = \frac{B_1 + B_2}{2} \dots\dots\dots (15)$$

여기서

$$B_1 = \sin^{-1} \frac{(n_1\lambda)^2 - (n_0\lambda)^2 - l_1^2}{2l_1n_0\lambda} \dots\dots\dots (16)$$

$$B_2 = \sin^{-1} \frac{(n_0\lambda)^2 - (n_2\lambda)^2 + l_2^2}{2l_2n_0\lambda}$$

이고 (16)式中에서 $l_1 = l_2 = 32\text{mm}$ 이다.

(3) Data의 測定과 on-line data 收集裝置

本實驗의 全体構成은 Fig.4와 같고 hologram의 複素振幅은 micro computer에 on-line으로 data를 收集하고 mini computer에 依하여 digital處理와 display를 한다.

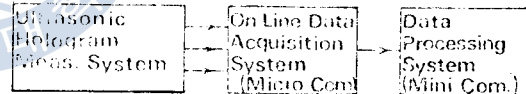


Fig. 4. Block diagram of the whole system for ultrasonic holography.

複素振幅의 data를 測定하고 또 制御하는 裝置

를 Fig.5에 또 이 Fig.5内の array 受信子の 制御裝置를 Fig.6에 나타 내었다. 이것은 走査時 受信子の 位置(sample 間隔에 따라 $0.5\text{mm}, 1\text{mm}$ 혹은 2mm)를 나타 내는 clock pulse를 基準으로 制御된다.

Fig.6의 array 制御裝置는 reed relay의 制御入力 pulse(pulse幅; 8msec)가 入力 한뒤 이 pulse幅의 $\frac{1}{2}$ 時間後 pulse 形成回路에서 高周波(4.2863MHz)에 同期되어나온 高周波 pulse(pulse幅; $8\mu\text{sec}$)를 高周波 電力 增幅器로 增幅해서 送信子에 보낸다. 여기서 發生한 超音波는 水中을 지나 物體에서 回折하고 受信子에 이른다. 受信子에서 受信한 物體波는 reed relay를 지나 增幅되고 高周波의 位相을 基準으로 同期檢波를 하여 同相成分(實數部)과 直交成分(虛數部)을 얻는다. sample hold는 A/D變換時 sampling pulse와의 遲近($5\mu\text{sec}$)과 各 channel間的 遲近($10\mu\text{sec}$)關係로 두었다.

Fig.7은 이들 各部의 波形을 나타낸 것이다. (1)은 clock pulse를, (2), (3)은 reed relay의 制御入力pulse波를, (4)는 高周波pulse를, (5)는 受信波와 反射波를, (6)은 檢波 波形을, (7)은

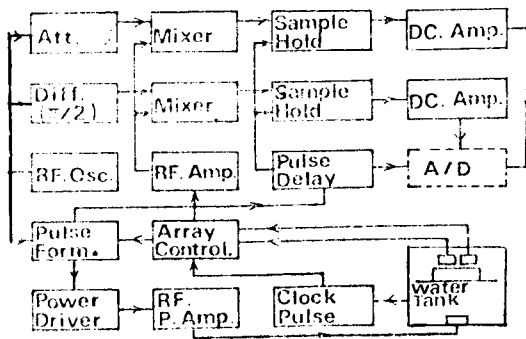


Fig. 5. Block diagram of measurement system for ultrasonic hologram.

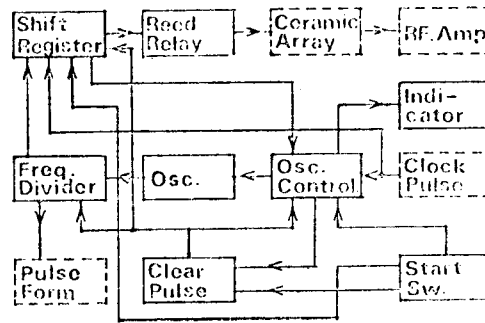


Fig. 6. Block diagram of controlling array receivers.

sample hold의 出力 波形을, (8)은 A/D 變換의 sampling pulse를 나타낸 것이다.

以上の 各 機能은 32個의 reed relay를 順次的으로 制御한다. 따라서 受信波는 array 受信子の 配列方向(y方向)으로 2mm間隔인 32点에서 受信한다. 이 過程은 array受信器의 走査方向(x方向)으로 1mm 間隔마다, 1走査當 64回 反復하여 32×64点에서 受信波를 받는다.

다음 2回의 走査는 y方向으로 1mm 移動하고 x方向은 1回 째와 같은 位置에서 走査한다. 以上 2回의 走査에 依하여 y와 x方向으로 各各, 1mm 間隔에 (32×64)×2点에서 data를 sampling하게 된다. 이들 各 受信波는 同期檢波되어 實數 및 虛數部로 分離되고 Fig.8의 on line data 收集 system¹⁹⁾에서 A/D 變換하여 micro computer (SMP 80/20)CUP를 거쳐 floppy disk에 store된다.

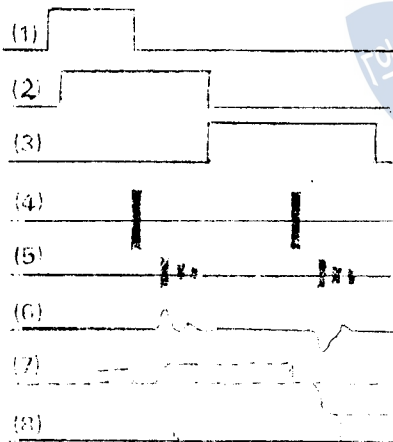


Fig. 7. Waveforms

- (1) Clock pulse
- (2), (3) Controlling pulse for reed relay
- (4) RF pulse
- (5) Receiving & reflected RF pulses
- (6) Output signal of RF pulse synchronously detected
- (7) Output signal of sample hold
- (8) Trigger pulse for sampling

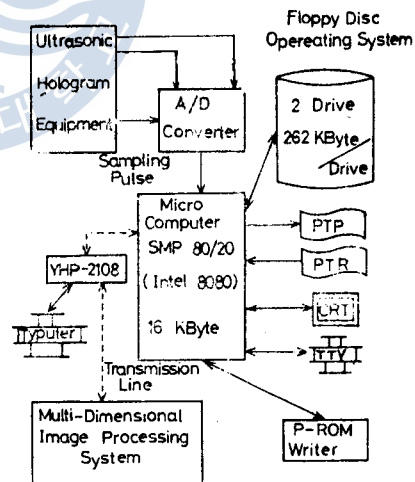


Fig. 8. Block diagram of on-line data acquisition system

以上の data를 測定하여 store하는데 所要된 時間은 約 2分30秒였다. ($f=1\text{MHz}$, sample間隔 2mm × 2mm, 1個의 受信子를 使用하여 A/D變換을 하지않고 analog의 data로 data recorder에 收録한

從來의 경우는 約 110分 所要)

實驗에서 使用한 目標物體의 略圖는 Fig. 9와 같고 이것은 $400mm \times 380mm$, 두께 $1.5mm$ 의 aluminum板 兩面에 gum tape를 발라 超音波의 散亂을 防止하고 이 板中央에 Fig. 9와 같은 USH의 글을 판 것이다.

以上の 裝置와 方法으로 hologram의 data를 收集하였다. 超音波의 周波數 $f=4.2863MHz$ 이고 物體와 hologram面 까지의 距離 $Z_0=150mm$ 이고 表에서 各 data를 測定할 때의 條件을 나타내었다. 表中에서 $S_1 \sim S_4$ 는 data名, λ 는 波長(水溫에 依하여 變함), D 는 送信子와 hologram面의 中心까지의 距離, $n_0 \sim n_2$ 는 (16)式 中の 波數, A 와 B 는 (14)式과 (15)式에서의 array受信器의 傾斜角, P_x, P_y 및 P_z 는 (2)式의 값이다.

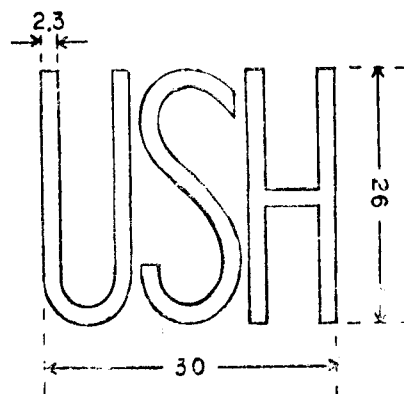


Fig. 9. Object for ultrasonic hologram (mm)

	S_1	S_2	S_3	S_4
$\lambda(mm)$	0.348	0.348	0.347	0.345
$D(mm)$	435	435	435	427
n_1	1251.5	1243	1263	1234
n_0	1248.5	1248	1251	1236
n_2	1251.5	1259	1244	1247
$A^{(0)}$	0.92	0.92	0.92	0.92
$B^{(0)}$	0.0	-5.34	6.33	-4.04
P_x	0.016	0.016	0.016	0.016
P_y	0.0001	0.005	0.004	0.0026
P_z	0.00	-0.093	0.08	-0.0704

$f_0=4.2863MHz$ $Z_0=150mm$

Table Measurement conditions of hologram data

$S_1 \sim S_4$ illustrate data names, λ , wave length, $n_0 \sim n_2$ number of waves from transmitter to the receivers, A & B illustrate angles of linear array receivers (Fig. 1), and P_x, P_y & P_z parameters for Eq. (1) n_1 being the first receiver, n_0 the middle receiver, n_2 the last receiver.

4. digital 處理에 依한 hologram으로 像의 再生

floppy disk에 store된 data는 必要時에 다시 Fig. 8의 micro-computer의 CPU와 YHP-2108의 CPU를 거쳐 mini computer에 傳送되어 digital 處理로 再生된다. 이 再生은 (9)式 혹은 (13)式의 一般的인 Fresnel逆變換法을 利用하였다. 再生處理는 mini-computer(YHP-2100)로 data의 配列變換, 位相項演算, Fourier 逆變換(FFT)¹⁵⁾⁻¹⁷⁾, 絶對值演算, CRT에 display等이고 再生에 所要된 全時間은 約 1分50秒였다.

(1) 補間에 依한 hologram으로 像의 再生

Fig. 8의 floppy disk에 store되어 있는 實數와 虛數部의 各data는 $(32 \times 64) \times 2$ 個 즉 64×64 個이고

이것을 mini computer로 傳送해서 無處理로 CRT에 display하면 Photo.2와 3과 같이된다. 이것은 表의 S_1 (array受信器가 傾斜하지 않을때의 data)의 경우이고, 各各 複素振幅의 實數部(Photo.2)와 虛數部(Photo.3)의 hologram의 data를 各各 data收集時의 順序대로 64×64 個로 display한 것이다. Photo.2와 3의 (a)는 第1走査時 x 方向의 奇數列의 data(32×32 個)에 依한 것이고 hologram面 $64 \text{ mm} \times 64 \text{ mm}$ 를 $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ 間隔으로 sampling 한것을 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ 間隔에 該當하게 display한 것이다.



Photo. 2 Holograms(each hologram : $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$ sampling, 32×32 data) for real part of S_1 in the Table

- (a) Hologram made by odd lines of the first scanning
- (b) Hologram made by even lines of the first scanning
- (c) Hologram made by odd lines of the second scanning
- (d) Hologram made by even lines of the second scanning

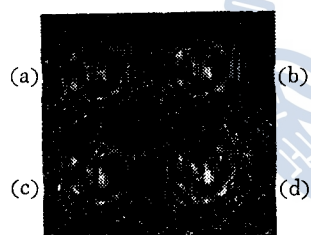


Photo. 3 Holograms for imaginary part of S_1 are equal to the cases of Photo. 2.

Photo.2와 3의 (b)의 것은 第1走査時 x 方向의 偶數列에 依한 것이다. Photo.2와 3의 (c), (d)의 寫眞은 第2走査에 依한 各 hologram이다.

Photo.2와 3 즉 實數와 虛數部에서 對應하는 4組의 各 hologram에서 各各 1組(32×32 個의 data)를 選擇하여 各 data와 data 사이를 兩側의 data의 平均値로 補間해서 64×64 個의 data로 變更하고 表中 S_1 의 各 parameter($\lambda=0.438 \text{ mm}$, $Z_0=150 \text{ mm}$, $P_x=0.016$, $P_y=0.0001$, $P_z=0.00$)를 使用해서 (13)式에 依하여 再生하면 Photo.4의 各各 對應하는 位置의 4個의 再生像이 된다.

Photo.5와 6은 Photo.2와 3의 (a)와 (b)2個(第1走査)의 hologram과 (c)와 (d)2個(第2走査)의 것을 各走査에 關하여 x 方向의 奇數列과 偶數列을 차례로 挿入하는 配列變更을 한것이다. 즉, Photo.5의 (a)는 第1走査에 依한 64×32 個의 實數部의 hologram이고 (b)는 第2走査에 依한 것이다. Photo.6은 虛數部의 各各에 該當한다. Photo.5와 6의 (a)의 2 mm 間隔쪽(x 方向)을 平均値로 補間해서 各各 64×64 個의 data로된 各 hologram을 再生하면 Photo.7의 (a)의 再生像이 된다. Photo.7의 (b)는 第2走査에 依한 再生像이다. Photo.7의 (c), (d)는 (a), (b)를 threshold 處理한 各像이다.

Photo.5와 6의 各各을 다시 x 方向으로 第2走査의 各data를 第1走査의 data사이에 挿入하는 配列

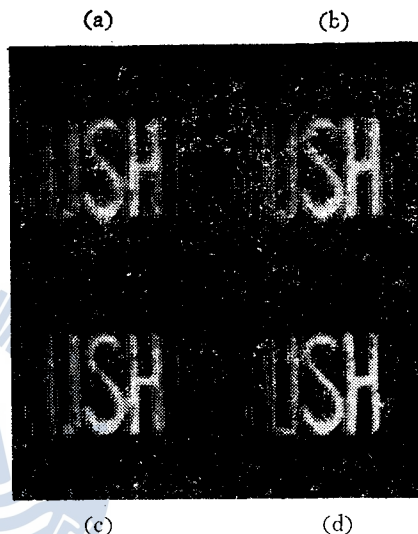


Photo. 4 Reconstructed images from holograms with interpolation

- (a) Image made by Photo. 2(a) & Photo. 3(a)
- (b) Image made by Photo. 2(b) & Photo. 3(b)
- (c) Image made by Photo. 2(c) & Photo. 3(c)
- (d) Image made by Photo. 2(d) & Photo. 3(d)



(a) (b)

Photo. 5 Rearranged holograms(each hologram: $1mm \times 2mm$ sampling, 64×32 data) from Photo. 2

- (a) Hologram made by Photo. 2(a) & (b)
- (b) Hologram made by Photo. 2(c) & (d)



(a) (b)

Photo. 6 Rearranged holograms from Photo. 3

- (a) Hologram made by Photo. 3(a) & (b)
- (b) Hologram made by photo. 3(c) & (d)



(c) (d)

Photo. 7 Reconstructed images from holograms with interpolation & threshold processing

- (a) Image made by Photo. 5(a) & Photo. 6(a)
- (b) Image made by Photo. 5(b) & Photo. 6(b)
- (c) Image made by threshold processing (a)
- (d) Image made by threshold processing (b)

變更을 하면 各 data는 data收集時의 hologram面의 原位置로 變更되고 Photo. 8의 (a), (b)와 같다. Photo. 8의 (a)는 實數部의 hologram이고 (b)는 虛實部의 것이다. 이 두 hologram을 再生하면 Photo. 8의 (c)의 再生像이 된다.

以上의 各 再生像을 比較하면 原 data數가 적을수록 noise가 增加하는 것은 當然한 結果이기만은 畫像處理로 畫質을 向上시킬 수 있으므로 data數를 減少시켜 data收集時間과 記憶容量, 그리고 傳送時間을 短縮할 수 있다.

(2) 傾斜된 array 受信器에 의한 hologram으로 像의 再生

表의 $S_2(A=0.92^\circ, B=-5.34^\circ)$ 를 配列變更하여 複數振幅을 display한 것이 Photo. 9의 (a), (b)의 寫眞이다. (a)가 實數部의 hologram이고 (b)가 虛數部의 hologram이다. 이것을 從來의 再生法 즉 (1)式에서 $P_x=P_y=P_z=0$ 로 해서 (13)式으로 再生한 것이 Photo. 9의 (c)의 再生像이다. 이것은 array 受信器가 傾斜함으로써 x方向(走査方向)의 sample 間隔보다 y方向(array受信子の 配列方向)의 sample間隔이 短縮되어 y方向의 空間周波數 ((6)式)가 x方向의 空間周波數 보다 增加함으로써 y方向으로 多重像이 再生된 것이다. Photo. 9 (a), (b)의 兩hologram을 表에서 S_2 의 parameter ($\lambda=0.348mm, z_0=150mm, P_x=0.016, P_y=0.005, P_z=-0.093$)를 使用해서 一般化한 (13)式으로 再生한 것이 Photo. 9의 (d)인 再生像이다.

그리고 array 受信器를 反對方向으로 傾斜한 $S_3(A=0.92^\circ, B=6.33^\circ)$ 를 S_2 와 같은 방법으로 再生한 것이 Photo. 9의 (e), (f)의 再生像이다. (e)가 從來의 再生法 ($p_x=p_y=p_z=0$)에 의한 再生像이고 (f)가 一般化한 再生法($P_x=0.016, P_y=0.004, P_z=0.08$)으로 再生한 再生像이다.

一般化한 再生法에 의한 像은(Photo. 9의 (d), (f)의 再生像과 같이 物體(Fig. 9)를 完全히 再生한다.

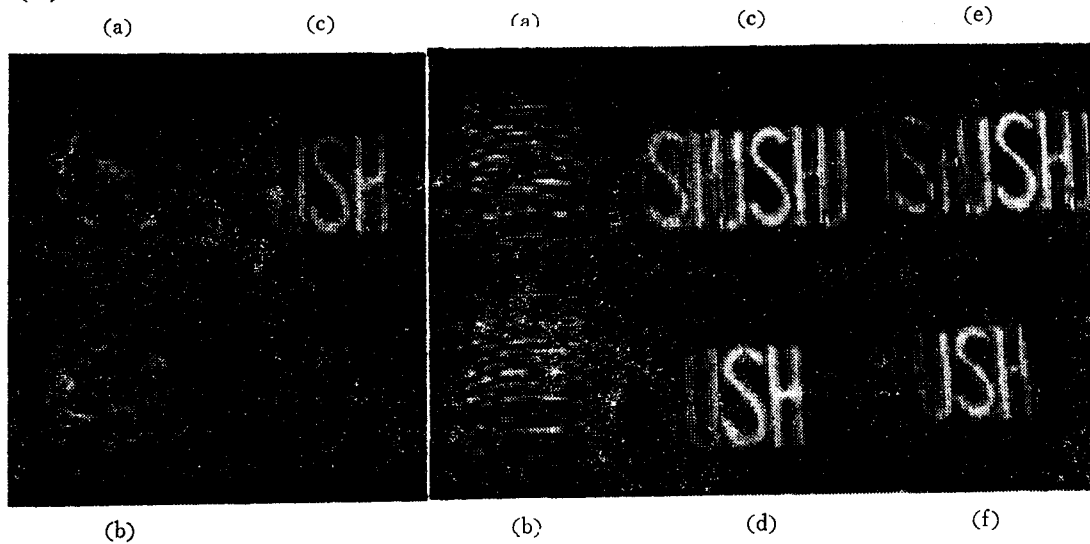


Photo. 8 Rearranged holograms (each hologram : $1mm \times 1mm$ sampling, 64×64 data) from Photo. 5 & Photo. 6, and reconstructed image

- (a) Hologram made by Photo. 5
- (b) Hologram made by Photo. 6
- (c) Image made by (a) & (b)

Photo. 9 Holograms from tilted array receivers and its reconstructions by means of traditional method(TM), and new & general method(NGH)

- (a) Real part of hologram
- (b) Imaginary part of hologram
- (c) Reconstructed image by means of TM using (a) & (b)
- (d) Reconstructed image by means of NGH using (a) & (b)
- (e) Reconstructed image from TM using other holograms (S_3) tilted inversely to (a) & (b)
- (f) Reconstructed image from NGH using other holograms (S_3) tilted inversely to (a) & (b)

5. 傾斜한 array受信器에 의한 Fresnel zone tattern

表中 $S_4=0.92^\circ, B=-4.04^\circ$ 는 無物體의 音場을 傾斜한 array受信器로 data를 收集한 것이다. 이것을 配列變更한 複素振幅을 display한 것이 Photo. 10의 (a), (b)의 寫眞이고 (a)가 實數部의 hologram 즉 Fresnel zone pattern이며 (b)가 虛實部의 zone pattern이다. 이들 寫眞에서 各各 上部에 黑線이 나타나는 것은 array受信子 32個中 第3번째의 受信子가 斷線됨으로써 配列變更後의 hologram(zone pattern)에는 5列과 6列의 data가 喪失된 까닭이다. 한편, 一般化한 impulse 應答式인 (4)式에 S_4 의 各 parameter($\lambda=0.345mm, z_0=D=427mm, P_x=0.016, P_y=0.006, P_z=-0.0704$)를 使用해서 simulation한 複素振幅의 各 hologram 즉, zone pattern을 Photo. 10 (c), (d)의 寫眞으로 나타내었다. (c)가 實數部의 zone pattern이고 (d)가 虛數部의 zone pattern이다. 이것은 實測에 의한 Photo. 10 (a), (b)와 比較하면 相當히 一致한 結果가 된다.

參考로 이 simulation에서 $P_x=P_y=P_z=0$ 즉, array受信器가 傾斜하지않는 경우의 simulation의 複素振幅의 hologram(zone pattern)을 Photo. 11 (a), (b) [(a)가 實數部, (b)가 虛數部]에 表示하고, 또 이 條件($A=0, B=0$)으로 實測한 複素振幅의 hologram(zone pattern)을 Photo. 11의 (e), (f) [(e)가 實數部, (f)가 虛數部]에 表示하였다. Photo. 11의 (c), (d)는 實測에 의한 (e), (f)의 複素振幅을 振幅部(c)와 位相部(d)로 變換한 hologram이며, 位相部는 역시 zone pattern을 形成하고 있다.

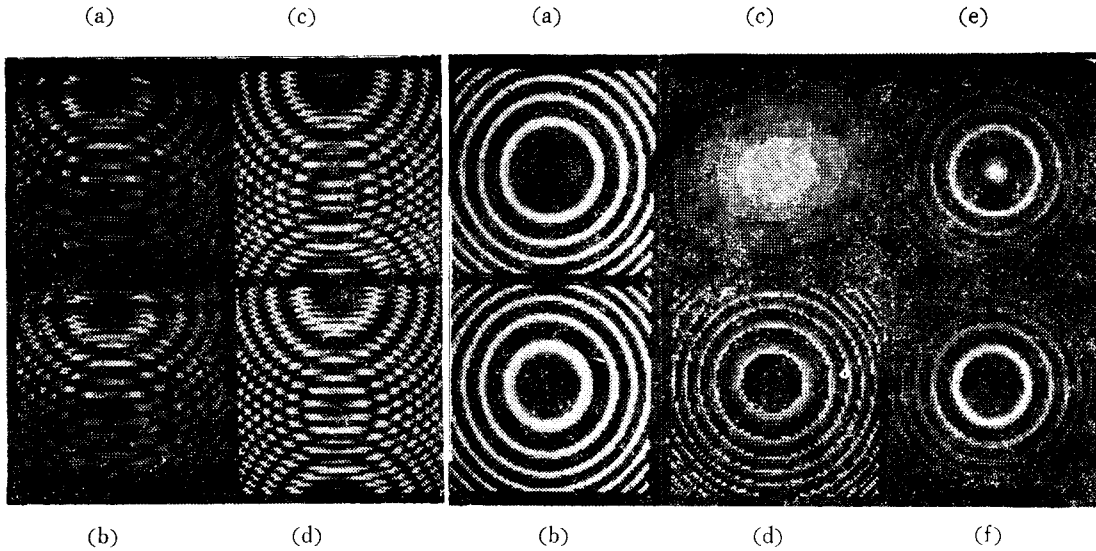


Photo. 10 Fresnel zone pattern from tilted array receivers (Table S₄) and its simulation under the same conditions.

- (a) Real part of hologram from tilted array receivers
- (b) Imaginary part of hologram from tilted array receivers
- (c) Real part of hologram from simulation
- (d) Imaginary part of hologram from simulation

Photo. 11 Fresnel zone pattern & amplitude hologram by means of simulation & untitled array receivers (Table S₄)

- (a) Real part of hologram from simulation
- (b) Imaginary part of hologram from simulation
- (c) Amplitude hologram from untitled array receivers
- (d) Phase hologram from untitled array receivers
- (e) Real part of hologram from untitled array receivers
- (f) Imaginary part of hologram from untitled array receivers

6. 結 論

array 受信器를 使用해서 走査型 超音波 hologram의 digital 再生에서 다음과 같이 結論을 지을 수 있다.

1. data 收集時間의 短縮은 ① array 受信子를 增加시키고 ② 超音波의 周波數를 높여 sampling 間隔을 좁혀 hologram 面을 縮小시키고 (走査距離短縮) ③ data 數를 줄여 補間法과 畫像處理法을 利用하고 ④ on-line으로 data를 收集하는 것이다.
2. array 受信器를 使用하면 任意로 傾斜한 hologram 面의 data를 얻을 수 있고, 傾斜한 hologram 面에서도 適用되는 一般化한 再生法을 誘導하여 完全한 再生을 할 수 있다는 것을 立證하였다.
3. 一般化한 再生法의 誘導의 妥當性을 Fresnel zone pattern의 simulation으로 立證하였다.

参 考 文 献

- 1) Adrianus Korpel : "Acoustic imaging and hologram" IEEE Spectrum, October 1968.
- 2) Rolf K. Mueller : "Acoustic Holography" Proceedings of the IEEE, Vol. 59, No. 9 September 1971.
- 3) 尾上守夫 : "超音波ホログラフイー" テレビジョン 第30巻 第4號 1976.
- 4) 尾上, 孫 : "デジタル再生による超音波ホログラフイー検査"
非破壊検査 秋季大會講演 1976. 9.
- 5) 辻内順平 : "超音波ヒログラフイー" 電子通信學會 1973年 3月 23日 超音波研究資料
- 6) W. P. Leung, *et al* : "Non-Destructive Testing with on Electronically Focused Acoustic Imaging System" 1975 Ultrasonic Symposium proceeding, IEEE Gat. #75 CHO 994~4SU, p. 84.
- 7) G. S. Kino, *et al* : "New Acoustic Imaging Systems for Non-Destructive Testing" 1975 Ultrasonics Symposium Proceeding, IEEE Got. #75 CHO 994~4SU, p. 94.
- 8) 岩崎, 青木, 鈴木 : "走査型超音波ホログラフイー" 應用物理, 第40巻 第5號(1971)
- 9) A. L. Boyer, *et al* : "Computer Reconstruction of Images from Ultrasonic Holograms" Acoustical Holography Vol. 2, p. 211 plenum press, New York(1970)
- 10) Thomas S, Huang : "Digital Holography" Proceeding of the IEEE Vol. 59, No. 9 September 1971.
- 11) 尾上守夫 : "ホログラムのデジタル處理" 電子通信學會誌 Vol. 59, No. 11(1976)
- 12) Yoshinao Aoi : "Image Reconstruction by Computer in Acoustical Holography" Acoustical Holography Vol. 5, p. 551. Plenum Press, New York(1977)
- 13) A. Rosenfeld : "Picture Processing by Computer" Academic Press New York 1969.
- 14) Wen C. Lin : "Microprocessor-Based Digital System Design Fundamentals and the Development Laboratory for Hardware Designers and Engineering Executives"
Proceeding of the IEEE, Vol. 65, No. 8, August 1977.
- 15) 尾上守夫 : "行列の轉置を要しない大規模2次元變換の高速演算法"
東大生研共同研究「多次元情報の傳送と處理」資料 1974. 6. 12
- 16) E. O. Brigham, *et al* : "The Fast Fourier Transform" IEEE Spectrum December 1967.
- 17) E. O. Brigham : "The Fast Fourier Transform" Prentice-Hall 1974.
- 18) 尾上, 孫 : "超音波ホログラフイー用アレイ受信子のばちつき補正による畫質向上"
日本音響學會講演論文集 1976. 10.
- 19) 尾上, 山岸, 孫 : "マイクロコンピュータによる超音波ホログラムのオンラインテーダ収集裝置"
日本音響學會講演論文集 1976. 10.
- 20) B. B. Brenden : "History and present status of liquid surface acoustical holography"
J. Acoust. Soc. Am., 58, 5(1975) 951~955.