

1次元フーリエ変換によるバイナリーホログラムの再生像改善について

藤 木 茂 夫*

On the Improvement for the Reconstructed Images of Binary Hologram by One Dimensional Fourier Transform.

Shigeo FUJIKI

要 旨

前報, 22号 (1987)¹⁾において2次元画像の計算機合成による Lohmann 型バイナリーホログラムを1次元フーリエ変換により作成する方法を提案した。本報ではそれについて逐次近似法による再生像の改善およびその有効性について報告する。

Abstract

In this journal, 22 (1987), a new method for the binary hologram which is made by one-dimensional Fourier transform was proposed.

In this paper, the improvement of the reconstructed image by the successive approximation and its effectivity are reported.

1. は じ め に

2次元画像の計算機合成 Lohmann 型フーリエ変換によるバイナリーホログラム²⁾からの再生像にはその原理上必然的に歪が含まれている。2次元フーリエ変換による再生像の改善については逐次近似法が有効であることが示されている²⁾。しかし2次元の場合、その計算量が膨大であるため近似法による効果についてはあまり論じられていないのが現状である。

前報¹⁾において提案された方法、すなわち2次元物体の計算機合成ホログラムを1次元のフーリエ変換で行う場合にも同様の手法で像歪の改善が可能であり、また2次元に比べ容易に高次の解を得ることができる。今回は逐次近似による再生像の改善の効果と問題点について検討したので報告する。

2. 1次元フーリエ変換によるバイナリーホログラムの原理

1次元フーリエ変換ホログラムは2次元画像関数を M 行 $\times$ N 列のサンプル値で表示したとき各行を N 個の1次元データとし、1次元ホログラムを作製する。それを M 回繰り返し最後に1次元フーリエ変換光学系で2次元画像を再生するものである。以下にその原理の要約を述べる。

再生すべき1次元関数 (以後入力関数という) を $g(x)$, そのフーリエ変換値を $G(\mu)$ とする。またそれらの N 個のサンプル値を $g(n)$, $G(n)$ と記すことにする。 $H(\mu)$ を1か0かのバイナリー (2値) ホログラム関数とし、次式の $U(\mu)$ を定義する。

$$U(\mu) = K \cdot H(\mu) \cdot e^{j2\pi x_0 \mu} \quad (1)$$

(ただし, K, x_0 は定数)

ここで,

$$G(\mu) = C \cdot U(\mu) \quad (C \text{ は定数}) \quad (2)$$

なる関係があれば2値関数 $H(\mu)$ から $g(x)$ を再生できる。しかし、式(2)は任意の複素数関数 $G(\mu)$ に対して一般的には成立しないので、以下の仮定をする。

$$\left. \begin{array}{l} g(x) = 0 \quad |x| > \Delta x / 2 \\ G(\mu) \approx 0 \quad |\mu| > \Delta \mu / 2 \end{array} \right\} \quad (3)$$

また、2値関数 $H(\mu)$ を次式で表すものとす

* 助教授 電気工学科

る。

$$H(\mu) = \sum_n \text{rect} \left\{ \frac{\mu - (n + P_n) \delta \mu}{W_n \delta \mu} \right\} \quad (4)$$

ただし、

$$\text{rect}(x) = \begin{cases} 1 & |x| \leq 1/2 \\ 0 & |x| > 1/2 \end{cases} \quad (5)$$

式(3)の条件は再生面上の $|x| \leq \Delta x / 2$ の範囲内に得られる波動場のみを問題とすればよく、また、作成されるホログラムが有限の大きさでよいこと、逆に言えば再生像の解像度が有限でしか得られないことを意味している。

W_n, P_n はこれから求めるべき実数値である。図1に n 番目の区間の $H(\mu)$ の様子を示す。

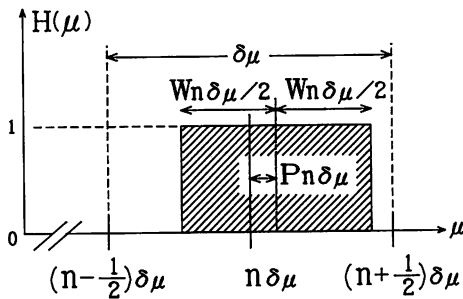


図1 $H(\mu)$ の n 番目のセル

n 番目の区間（以後セルと言う）とそれらと隣合わせの区間とで rect 関数が1となる部分が重ならないものとする、 $H(\mu)$ は

$$H(\mu) = \begin{cases} 1 & \mu_{1n} \leq \mu \leq \mu_{2n} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

ただし、 $\mu_{1n} = (n + P_n - W_n/2) \delta \mu$
 $\mu_{2n} = (n + P_n + W_n/2) \delta \mu$
 なる2値関数である。式(1), (4)より、 $U(\mu)$ のフーリエ逆変換値を $u(x)$ をすれば、

$$u(x) = \delta \mu \sum W_n e^{j2\pi(x+x_0)(n+P_n)\delta\mu} \cdot \text{sinc}\{(x+x_0)W_n\delta\mu\} \quad (7)$$

ただし、式(2)の定数 C は省略し、

$$\text{sinc}(x) = \sin(\pi x) / \pi x$$

である。ここで

$$\left. \begin{aligned} \delta \mu &= 1 / \Delta x \\ G(n / \Delta x) &= G_n = A_n \cdot e^{j\phi_n} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} x_0 \delta \mu &= M \text{ (任意の正整数)} \\ W_n &= K \cdot A_n \text{ (} K: \text{正の定数)} \\ P_n &= \phi_n / (2\pi M) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

とおく。ここで A_n, ϕ_n は $g(x)$ を周期 Δx の周期関数と見なした場合のフーリエ展開係数の振

幅、位相である。正の定数 K は1と置いても一般性を失わないので、以後 $K=1$ とする。

実際に A_n, ϕ_n を求めるには、 $g(x)$ のサンプル値 $g(m)$ ($m=1, 2, \dots, N$) をFFT(高速フーリエ変換)を利用して N 個の離散的フーリエ変換値を求め、それを $a_n = A_n \cdot \exp(j\phi_n)$ とする。以後 A_n または W_n を AM 値、 ϕ_n または $P_n (= \phi_n / 2\pi M)$ を PH 値と呼ぶことにする。

式(8), (9)より、式(7)は次のように書ける。

$$u(x) = \delta \mu \sum W_n e^{j2\pi MP_n} e^{j2\pi x n \delta \mu} \cdot e^{j2\pi x P_n \delta \mu} \cdot \text{sinc}\{(x+x_0)KA_n\delta\mu\} \quad (10)$$

一方、 $g(x)$ は式(3)を仮定しているのでそのフーリエ変換は、

$$G(\mu) = \sum G \left(\frac{n}{\Delta x} \right) \text{sinc}(\mu \Delta x - n)$$

となり、従ってそのフーリエ逆変換 $g(x)$ は

$$\begin{aligned} g(x) &= \int G(\mu) e^{j2\pi x \mu} d\mu \\ &= \frac{1}{\Delta x} \text{rect}\left(\frac{x}{\Delta x}\right) \sum G\left(\frac{n}{\Delta x}\right) e^{j2\pi nx / \Delta x} \quad (11) \end{aligned}$$

となる。したがって、 $|x| \leq \Delta x / 2$ なる範囲で式(10)と式(11)が等しくなるためには次の2つの条件が必要となる。

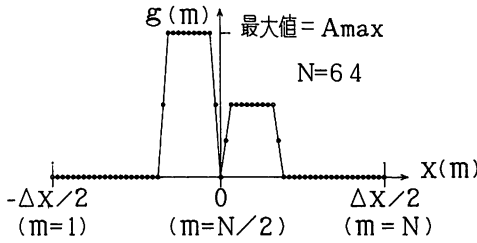
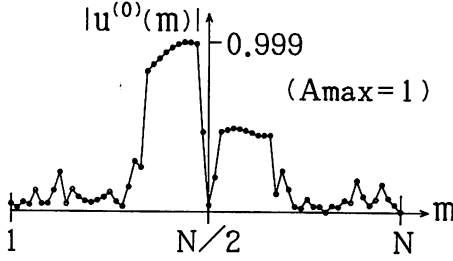
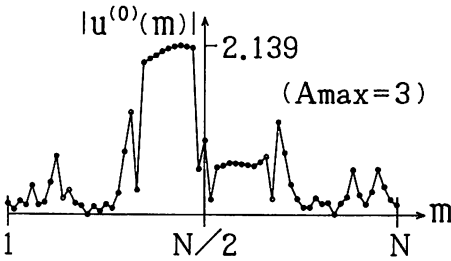
$$\begin{aligned} \text{条件(I)} \quad \exp(j2\pi x P_n \delta \mu) &= \exp(j\phi_n x \delta \mu / M) \doteq 1 \quad (12) \end{aligned}$$

$$\text{条件(II)} \quad \text{sinc}\{(x+x_0)W_n\delta\mu\} \doteq 1 \quad (13)$$

上記の条件について若干説明しておく。条件(I)のみ考えれば、任意整数 M は大きければ大きいほどよいのであるが、式(13)の sinc 関数中の $x_0 \delta \mu = M$ により条件(II)が満たされなくなるので、 M は任意とは言えごく限られた整数値例えば1または2程度がよいと思われる。以後に述べる計算および実験では全て $M=1$ また1次元データ数 N は64とした。

3. 逐次近似による再生像の改善

2. で述べられた方法での1次元フーリエ変換ホログラムから得られる条件(I), (II)が厳密に満たされることがないので、式(10)で計算される再生像 $u(x)$ は入力関数 $g(x)$ とは異なっている。例として図2のような入力関数の場合を考える。この関数の AM, PH 値をFFTにより計算し、式(10)より得られる $u(m)$ の絶対値の例を図3, 4に示す。それぞれ入力関数の最大値 (A_{max}) を1, 3とした場合である。これらは後に述べる逐

図2 入力関数 $g(m)$ 図3 再生像 $|u^{(0)}(m)|$ ($A_{max}=1$)図4 再生像 $|u^{(0)}(m)|$ ($A_{max}=3$)

次近似における0次解の W_n, P_n によるものであるので $u^{(0)}(m)$ と記す。以後同様である。

図2の入力関数 $g(m)$ のAM値の最大値は $A_{max}=1$ のとき約0.234であり、 $A_{max}=3$ のときはその3倍の約0.703である。

図3, 4に見られるように入力関数のAM値が大きくなると再生像の歪が大きくなることがわかる。図3では $\exp(j2\pi x P_n \delta \mu)$ の影響が大きく、図5では $\text{sinc}\{(x+x_0)W_n \delta \mu\}$ の影響が大きく出ていると思われる。

ここでは、式(10)の右辺がより望まれる値に近くなるための W_n, P_n を Lohmann 等による方法と同様の逐次近似法により求めることにする。式(10)の $u(x)$ と望まれる関数 $g(x)$ を等しいと置く代わりにそれらのフーリエ変換値を等しく置いてもよい。また $u(x)$ は $|x| \leq \Delta x/2$ の範囲で $g(x)$ に等しければよく、 $|x| > \Delta x/2$ では任

意であることを考えれば、それらのフーリエ変換はフーリエ級数の形で書いてもよいであろう。すなわち周期 Δx なる周期関数 $v(x) = \sum_n g(x - n\Delta x)$ を定義し、 $u(x)$ も周期 Δx の関数とみなし、両者のフーリエ展開係数を等しく置く。すなわち

$$v(x) = \sum A_n e^{j\phi_n} e^{j2\pi nx/\Delta x} \quad (14)$$

とし、

$$\begin{aligned} A_n \cdot e^{j\phi_n} &= \frac{1}{\Delta x} \int_{-\Delta x/2}^{\Delta x/2} u(x) e^{-j2\pi nx/\Delta x} dx \\ &= \sum_m W_m e^{j2\pi MP_n} S_{m,n} \end{aligned} \quad (15)$$

とおく。ただし、

$$\begin{aligned} S_{m,n} &= (\delta \mu)^2 \frac{1}{\Delta x} \int_{-\Delta x/2}^{\Delta x/2} \text{sinc}\{(x+x_0)W_m \delta \mu\} \\ &\quad \cdot e^{j2\pi(m-n+P_n)x\delta \mu} dx \\ &= B_{m,n} \cdot e^{jC_{m,n}} \end{aligned} \quad (16)$$

である。式(15)を $2N$ 個の未知数 W_n, P_n ($n=1, 2, \dots, N$) を求めるための方程式とし、これを逐次近似法で求めるため次のように書き換える。

$$A_n \cdot e^{j\phi_n} = W_n \cdot B_{n,n} e^{j2\pi MP_n + jC_{n,n}} + R_n \quad (17)$$

$$R_n = \sum_m W_m e^{j2\pi MP_n} S_{m,n} \quad (18)$$

ただし、式(18)の $\sum$ は $m=n$ を除いた和である。

0次近似として、

$$B_{n,n} = 1, C_{n,n} = 0, R_n = 0 \quad (19)$$

すなわち、

$$W_n^{(0)} = A_n, P_n^{(0)} = \phi_n / 2\pi M \quad (20)$$

とする。右肩カッコ内の数字は0次近似解であることを示す。

$L (\geq 1)$ 次近似解として

$$\begin{aligned} A_n \cdot e^{j\phi_n} &= W_n^{(L)} B_{n,n}^{(L)} \\ &\quad \cdot e^{j2\pi MP_n^{(L)} + jC_{n,n}^{(L-1)}} + R_n^{(L-1)} \end{aligned} \quad (21)$$

とする。 $C_{n,n}^{(L-1)}, R_n^{(L-1)}$ はそれらの計算において $W_m^{(L-1)}, P_m^{(L-1)}$ ($m=1, \dots, N$) を用いることを意味する。ここで、

$$A_n \cdot e^{j\phi_n} - R_n^{(L-1)} = E_n^{(L-1)} \cdot e^{j\phi_n^{(L-1)}} \quad (22)$$

とおけば、 L 次近似解として次式のように求まる。

$$W_n^{(L)} = E_n^{(L-1)} / B_{n,n}^{(L-1)} \quad (23)$$

$$P_n^{(L)} = (\phi_n^{(L-1)} - C_{n,n}^{(L-1)}) / 2\pi M \quad (24)$$

式(16)における $S_{m,n}$ の計算は、 sinc 関数が位相項に比べゆるやかに変化することを考え、 $-\Delta x/2 \sim \Delta x/2$ なる区間を適当に s 個の等区間にわけ、

$$\begin{aligned} S_{m,n} &\approx \frac{(\delta \mu)^2}{s} \text{sinc}\{(m-n+P_n)\delta \mu/s\} \\ &\quad \cdot \sum_{i=1}^s \text{sinc}\{(x_i+x_0)W_m \delta \mu\} e^{j2\pi(m-n+P_n)x_i \delta \mu} \end{aligned} \quad (25)$$

と近似することにより計算時間を短縮できる。ただし、

$$x_i = \left(-\frac{1}{2} + \frac{i}{s} - \frac{1}{2s} \right)$$

である。

この逐次近似解の収束性を一般的に論ずることは難しい。一般的に言えることは、各近似段階で W_n , P_n の変動に対して $S_{m,n}$ および R_n がゆるやかに変化する場合は収束すると思われる。

収束する場合でも $u(m)$ が限りなく入力関数 $g(m)$ に近づくわけではない。数種の入力関数について、逐次近似を行った結果、入力関数はほぼ三つのタイプに分類されることが分かった。すなわち、

- (a) 収束し、0次近似解に比べ像質が改善される。
- (b) 近似を進めるとある程度改善されたあと再び悪化し、その後改善、悪化をくりかえす。
- (c) 収束せず、近似を進めるほど悪化する。

図2の関数は(b)のタイプである。図5、図6に、図2で $A_{max} = 1$ の場合のそれぞれ3次、4次近似解による $u(m)$ の絶対値を示す。0次近似による $|u^{(0)}(m)|$ は図3に示してある。図から明らかに3次より4次の方が悪化しているのがわかる。

図7は逐次近似を0次から20次まで計算し、各近似次数 L に対する再生像の歪の程度をグラフにしたものである。縦軸 $\alpha(L)$ は入力関数を g

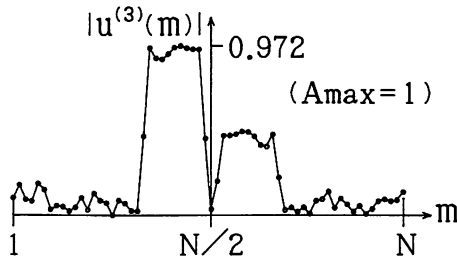


図5 再生像 $|u^{(3)}(m)|$ ($A_{max} = 1$)

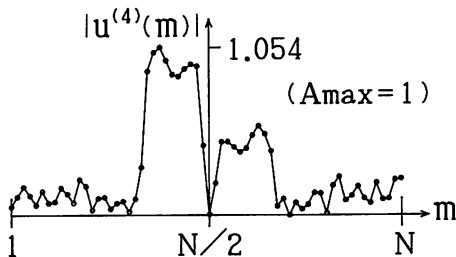


図6 再生像 $|u^{(4)}(m)|$ ($A_{max} = 1$)

(m), L 次近似解より式(10)で計算されたものを $u^{(L)}(m)$ としたとき次式で定義されたものである。

$$\alpha(L) = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N ||g(m)| - |u^{(L)}(m)|| \quad (26)$$

図の■印の点で示されたグラフが今の場合である。この場合、上記の逐次近似をそのまま計算したので無調整近似と言うことにする。近似を進めると周期的に改善と悪化を繰り返し、収束しないことが示されている。

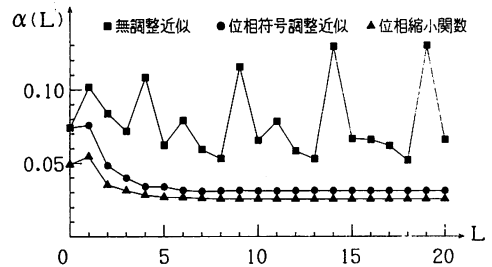


図7 近似次数対改善度 $\alpha(L)$

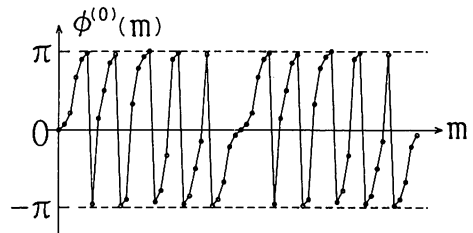


図8 入力関数 $g(m)$ の PH 値 $\phi^{(0)}(m)$

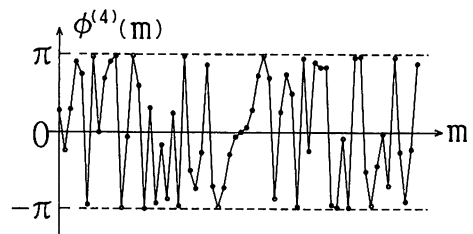


図9 $u^{(4)}(m)$ の PH 値 $\phi^{(4)}(m)$

この近似解が収束せず、振動する理由として次のように考えられる。図8に図2の入力関数の PH 値 (0次近似解) を、図9に4次近似解の PH 値を示す。図8では $\pm\pi$ に極めて近い値が多数あり、そのうちの9個の値が符号を変えて図9の $\pm\pi$ 近くの値に変化しているのがわかる。この場合、式(10)の $\exp(j\phi_n)$ にはほとんど影響を与えない、すなわち、位相としては、 $+\pi$ も $-\pi$ も同じである。しかし、 $\exp(j2\pi x P_n \delta\mu)$ に大きな影響を与え、結果的に再生像が悪化するもの

と思われる。

この推定が正しいことを示す例を次に述べる。図10は図2の関数 $g(m)$ の PH 値全てに0.9を乗じた PH 値をもち、かつ $g(m)$ のものに等しい AM 値を持つ関数の絶対値である。この場合、 $\pm\pi$ に極めて近い PH 値は存在しないことになる。これを新たな入力関数 $g_1(m)$ としてその0次、3次近似による $u_1(m)$ の絶対値を図11, 12に示

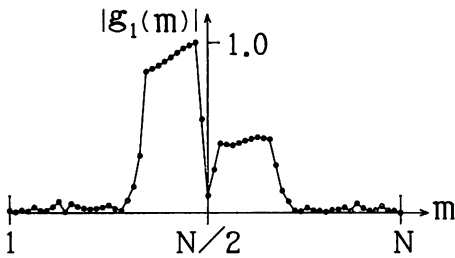


図10 入力関数 $|g_1(m)|$

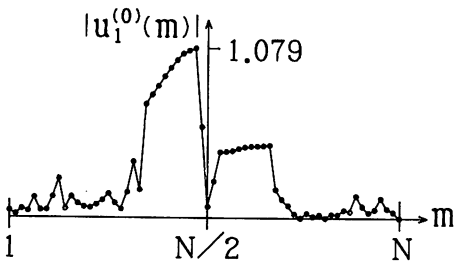


図11 再生像 $|u_1^{(0)}(m)|$

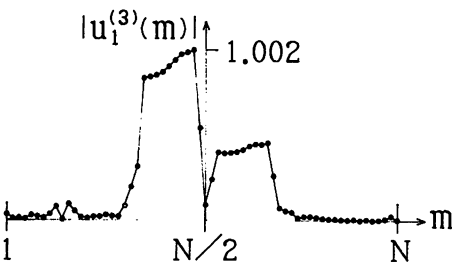


図12 再生像 $|u_1^{(3)}(m)|$

す。図12の $|u_1^{(3)}(m)|$ は0次の図11に比べかなり改善されている。 $g_1(m)$ (このような関数を位相縮小関数と言うことにする) に対する近似次数と改善度の関係を図7の▲印の点のグラフで示してある。この場合、4～5次程度で一定値に収束することがわかる。図7の■印のグラフはこの $\pm\pi$ 付近で PH 値の変動が周期的に現れているものと思われる。

以上のことから、入力関数の PH 値が近似過程で $\pm\pi$ 近くでの符号の変動による非収束性を解決する便宜的方法として、各近似段階で得られる $P_n^{(L)}$ の符号を0次の $P_n^{(0)}$ のそれと一致させることが考えられる。この方法を位相符号調整と呼ぶことにする。この方法は、実用的にはかなり有効であることがわかった。

図13, 14に位相符号調整により得られた2, 5次近似解による計算値像 $u^{(L)}(m)$ を示す。

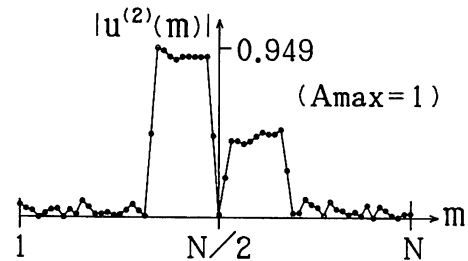


図13 再生像(位相符号調整) $|u^{(2)}(m)|$ ($A_{max}=1$)

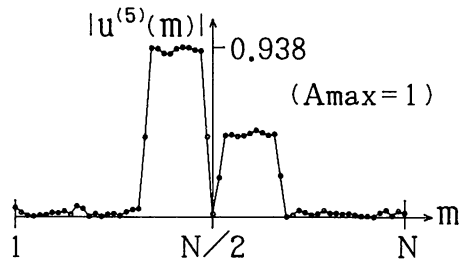


図14 再生像(位相符号調整) $|u^{(5)}(m)|$ ($A_{max}=1$)

また図7の●印のグラフが位相符号調整による改善度のグラフである。この場合3, 4次程度で一定値に収束し、位相符号調整が効果的であることを示している。なお、近似を進めても最終的には $\alpha(L)$ が0に近づかないのは、いくら近似を進めても式(10)の $\exp$ 項, sinc 項が依然存在するためである。

以上、主に条件(I)について述べた。条件(II)については4. で述べる。

4. 回折効率の向上について

3. で述べた結果は入力関数の AM 値が全体的に小さなきときであり、このような場合には逐次近似法に位相符号調整を加味すれば再生像はかなり改善されることがわかった。

回折効率の良い、すなわち明るい像を再生するには、ホログラムセルの窓 ($H(\mu)$) が1である部

分)の幅が大きいことが望まれる。そのためには、
[1]入力関数値の AM 値に定数を乗じて大きな値にする、または、同じことであるが、入力関数の最大値を任意に大きくすること、

[2]最大値が任意の入力関数にランダムな位相を乗じる、等の方法が考えられる。

この[2]の方法はホログラムが計算機合成によるか、光学的に作られるかを問わず現在採用されている方法である。

3. で述べた(c)すなわち近似を進めるにつれ解が発散するタイプの入力関数とは、入力関数の AM 値が全体的にある程度大きな場合である。このような場合 ($W_m^{(L-1)}$ が大なるとき)、式(16)の $\text{sinc}\{(x+x_0)W_m^{(L-1)}\delta\mu\}$ が全体的に小さくなるため、 $S_{m,n}$ の絶対値、すなわち、式(23)の $B_{n,n}^{(L-1)}$ が小となり、 $W_m^{(L)}$ が大となる。以下このような悪循環を繰り返し解が発散するものと思われる。

ここでは、以上のことを考慮に入れて[1],[2]について3. で述べた逐次近似法の有効性と限界について述べる。

図15, 16に図3の入力関数の最大値 (A_{max}) がそれぞれ2, 3のときの、それぞれ3次近似解による $|u^{(3)}(m)|$ を示す。 $A_{max}=3$ のときの0次近似解によるものは図4である。ただし、この場合には上記の理由により解が発散するために、各近似段階での AM 値の全てに一定値を乗じその

最大値を入力関数の AM 値の最大値に一致させて解の発散を防ぎ、さらに位相符号調整も行っている。各近似段階で AM 値の最大値を一定値に抑えることは解の発散を防ぐためであるが、そのために再生像の最大値は入力関数の AM 値の増加の割には大きくなっていない。図15では最大値が1.43 (強度 ∞ 明るさは2倍)、図16では逆に1.279 (同1.6倍)と減少している。4次以降は再生像の改善はほとんどなされない。図より AM 値を大きくするにつれ、逐次近似による再生像 $u(m)$ の歪改善度が低下することがわかる。

次に[2]の入力関数にランダムな位相を乗じた場合について述べる。一般に入力関数を正の実関数とすると、それにランダム位相を乗じるとその AM 値は低域から高域までほぼ一様に分布するようになり、かつその値も全体的に減少する。したがって、その減少した AM 値に一定値 (≥ 1) を乗じたものに対して逐次近似を行えば明るい像を再生することが可能となるであろう。図2の入力関数 ($A_{max}=1$) に $+\pi$ から $-\pi$ の範囲のランダム位相を乗じたものを $g_2(m)$ とする。この場合の AM 値の最大値は0.108で、ランダム位相のないときは0.234である。

図17, 18に図2で最大値がそれぞれ3, 6の関数にランダム位相を乗じた場合の3次近似解による $|u_2^{(3)}(m)|$ を示す。この図の場合にも位相符号調整を行い、かつ AM 値の最大値を $g_2(m)$ のそれと一致させている。

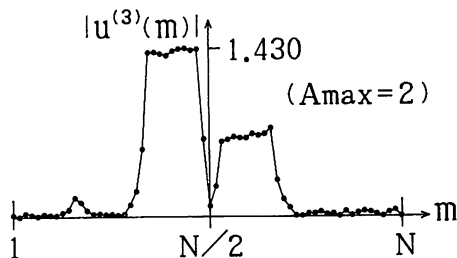


図15 再生像(位相符号調整) $|u^{(3)}(m)|$ ($A_{max}=2$)

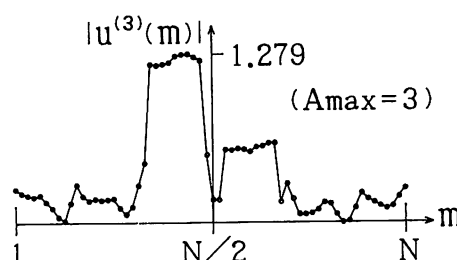


図16 再生像(位相符号調整) $|u^{(3)}(m)|$ ($A_{max}=3$)

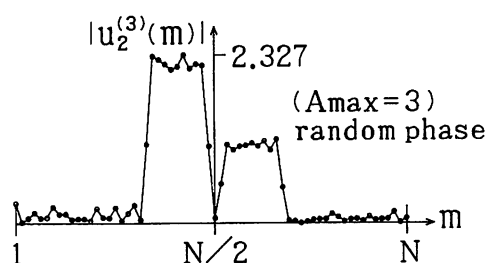


図17 再生像 $|u_2^{(3)}(m)|$ (ランダム位相, $A_{max}=3$)

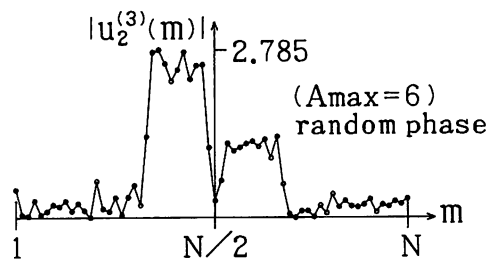


図18 再生像 $|u_2^{(3)}(m)|$ (ランダム位相, $A_{max}=6$)

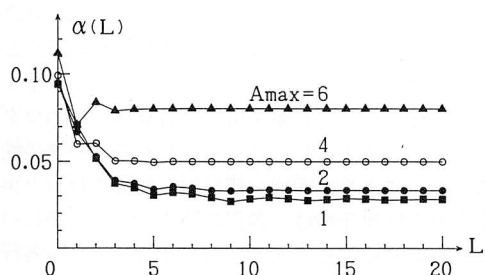
図19 乱数位相付加入力関数に対する改善度 $\alpha(L)$

図17, 18ではその最大値がそれぞれ2.327 (強度では5.4倍), 2.785 (7.8倍) となっている。また, 図16と17の比較からランダム位相を付加した場合にはかなり良質でかつ明るい像が再生されることがわかる。図19に, 図2の入力関数にランダム位相を付加した場合の改善度グラフを示す。パラメータは入力関数の最大値 A_{max} である。ただし, 式(26)の $g(m)$, $u^{(L)}(m)$ としては, それぞれの最大値が1となるように規格化されたものを用いている。図19より入力関数の AM 値が大きいほど再生像の質も悪くなっている。

5. 実験結果について

1. ~ 4. で述べられた方法により作成されたホログラムから光学的に得られた再生像の例を以下に示す。

以下に示す再生像のホログラムのセルの実寸法は $2\text{ mm} \times 2\text{ mm}$ であり, AM 値, PH 値ともその量子化数は41である。1行のサンプル数は64である。

図20, 21は文字“F”を18行に分割したものでランダム位相は乗じていない。0次, 2次近似解により作製したホログラムから光学的に再生した像である。両者とも, 各行の明るさの最大値が計

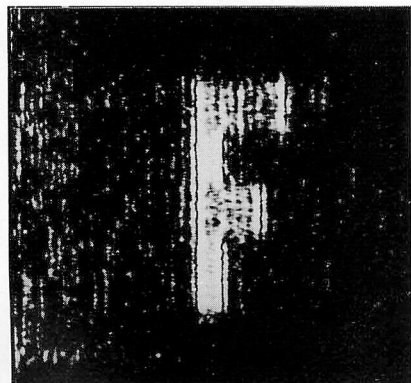


図20 光学的再生像(1)

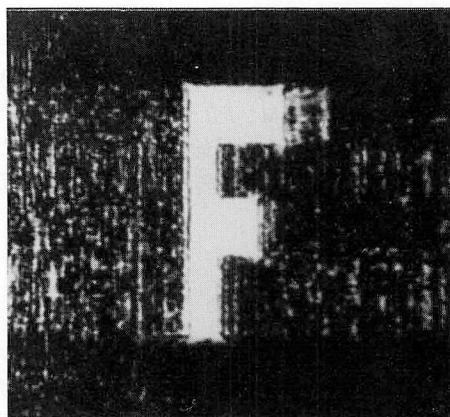


図21 光学的再生像(2)

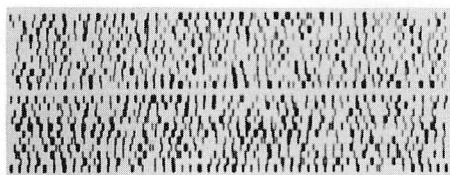


図22 ホログラム

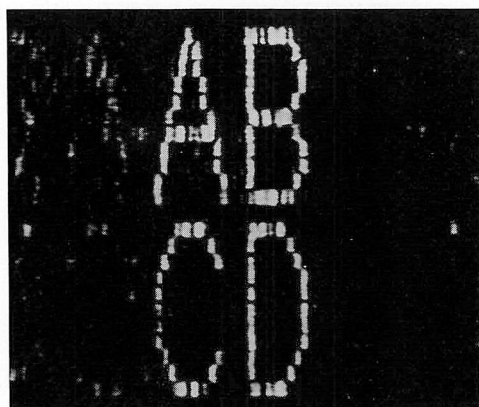


図23 光学的再生像(3)

算値でほぼ等しくなるように調整されている。この場合には, 逐次近似により作製されたホログラムからの再生像は0次のそれに比べると, かなり改善されていることがわかる。

図22は文字“ABCD”を23行で表し, ランダム位相を乗じ, 各行の AM 値の最大値を一律に0.3にしたものの0次近似解により作製したホログラムである。図23はそれから得られた光学的再生像である。この場合は0次近似解によるにもかかわらず比較的良好な再生像が得られている。これは孤立した点が多いためであると思われる。文字Bの上端, 下端など点が連続しているところで

は忠実に再現されていない。

なお、ホログラムを作製する際のプロッターの精度、ペンの太さ、描き得るホログラムの大きさの制限等による AM 、 PH 値の量子化数の限界、及び 1 次元フーリエ変換光学系の不備などのために理論と比較できるほどの光学的再生像を得ることが困難であった。

6. お わ り に

Lohmann 型の 1 次元フーリエ変換による計算機合成バイナリーホログラムの像質改善を逐次近似法により行なった。その結果以下のことが判明した。

入力関数 $g(m)$ の AM 値がある程度以下の大きさの場合には逐次近似法によって像質の改善が有効になされる。ただし、入力関数のフーリエ変換値の位相 $\pm \pi$ にごく近い値が多数ある場合は位相符号調整を行うのが効果的である。当然のことながら明るい像を得るためには像の歪みをある程度犠牲にしなければならない。またランダム位相を乗じた関数については、かなり明るく良質の再生像が得られることがわかった。

また、逐次近似法により得られた解からホログラムを作製し、実際に像質の改善が行われることを示した。

1 次元フーリエ変換を用いた計算機合成ホログラフィの問題点としては、各行ごとのデータの性質の違いにより、各行一律に同じ処理を行うと再生される 2 次元像は、各行の明るさ、像の歪にバラツキがでることである。したがって、今後各行の処理を最適に行えるようなソフトウェア的研究が必要と思われる。

参 考 文 献

- 1) 藤木：1 次元 FFT によるバイナリーホログラムについて、苫小牧高専紀要，第22号（1987年）
- 2) A. W. Lohmann, D. P. Paris : "Binary Fraunhofer Holograms, Generated by Computer" Applied Optics, Vol. 6, No. 10, pp 1739 (October 1967)

(平成元年11月28日受理)