

수정 직접 이진 검색 알고리즘을 이용한 컴퓨터 형성 홀로그램 합성 (Computer-Generated Holograms Sythesized by Modified Direct Binary Search Algorithm)

저자 (Authors)	남태원, 김성용, 도양희, 김수중
출처 (Source)	전자공학회논문지-B 28(4) , 1991.4, 253-259(7 pages) The Institute of Electronics Engineers of Korea - B 28(4) , 1991.4, 253-259(7 pages)
발행처 (Publisher)	대한전자공학회 The Institute of Electronics and Information Engineers
URL	http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE00399434
APA Style	남태원, 김성용, 도양희, 김수중 (1991). 수정 직접 이진 검색 알고리즘을 이용한 컴퓨터 형성 홀로그램 합성 (Computer-Generated Holograms Sythesized by Modified Direct Binary Search Algorithm). 전자공학회논문지-B, 28(4), 253-259
이용정보 (Accessed)	포항공과대학교 141.***.166.171 2019/07/19 15:38 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

論文 91-28B-4-4

수정 직접 이진 검색 알고리즘을 이용한 컴퓨터 형성 홀로그램 합성

(Computer-Generated Holograms Synthesized by Modified Direct
Binary Search Algorithm)

南 胎 元*, 金 成 龍*** 都 良 會**, 金 秀 重***

(Tae Weon Nam, Sung Yong Kim, Yang Hoi Doh, and Soo Joong Kim)

要 約

본 논문에서는 두가지의 수정된 직접 이진 검색(MDBS1, MDBS2) 알고리즘을 제안한다. 디지털 홀로그램을 위하여 MDBS1은 Hermitian 특성을 이용한다. MDBS1에 의하여 합성된 디지털 홀로그램들은 전통적인 DBS 알고리즘에 의해 합성된 디지털 홀로그램보다 재생오차가 감소한다. 또 MDBS1 알고리즘은 이용할 수 있는 소자들의 해상도를 적절하게 이용할 수 있다. 홀로그램의 고정된 효율을 이용한 DBS2 알고리즘은 재구성시 반복 횟수를 줄인다.

Abstract

In this paper, we propose two modified direct binary search algorithms (MDBS1, MDBS2). MDBS1 to construct computer generated hologram makes use of Hermitian property of real objects. Digital holograms synthesized by MDBS1 have lower reconstruction errors than holograms synthesized by conventional DBS. MDBS1 makes optimal use of the available device resolution. MDBS2 using fixed efficiency of hologram reduces computational amount.

I. 서 론

광 정보처리에 많이 이용되는 컴퓨터형성 홀로그램(computer generated hologram: CGH)^{[1][2]}은 공간 대역폭적(space bandwidth product)의 제한으로 인하여 제작에 많은 어려움이 있다. 이는 홀로그램 제작

소자의 제한된 해상도와 많은 양의 홀로그램 기록시간에 기인한다. 그러므로, 낮은 해상도를 갖는 소자로 홀로그램을 합성할 때에는 제한된 공간 대역폭적의 문제를 개선하기 위하여, 주어진 소자의 해상도를 최대로 활용할 필요가 있다. 홀로그램의 해상도를 가장 효과적으로 이용할 수 있는 직접 이진 검색에 의한 홀로그램 합성법(direct binary search: DBS)^{[3][4]}이 1987년에 Seldowitz 등에 의하여 제안되었다. 이 알고리즘은 이진 홀로그램과 재생되어야 할 영상을 반복적 기법(iterative method)에 의해 직접 다루므로, 전통적인 홀로그램 합성법과 같이 입력영상을 푸리에 변환한 복소값을 양자화 하여 입력영상의 위상을 조작할 필요가 없다.^{[5][6][7]} 또한, 홀로그램이 가

*正會員, 國防科學研究所

(Agency for Defense Develop)

**正會員, 濟州大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Cheju Nat'l Univ.)

***正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日: 1991년 1월 25일

질 수 있는 구성의 거의 대부분을 조사하여, 이 홀로그램들에 의해 재생된 영상(reconstructed image) 들을 입력영상과 직접 비교하여 그중 가장 낮은 재생오차(reconstructed error)를 갖는 홀로그램을 검색하므로, 최종적으로 합성된 홀로그램은 최적에 가까운 구성을 갖는다고 할 수 있으며 전통적인 홀로그램보다 광 효율이 높고, 그 응용 범위도 넓다. 그러나 오차비교를 위해 매 번 검색 때마다 푸리에 변환을 반복해야 하므로 계산량이 크다. 이 DBS 알고리즘에 의해 만든 홀로그램보다 더욱 낮은 재생오차를 갖는 홀로그램 합성을 위하여 Seldowitz등은 Simulated Annealing방법^[8]을 DBS알고리즘에 도입하였으나 큰 효과를 얻지 못하였다. 대부분의 입력영상은 실수값이므로 이를 푸리에 변환한 함수는 Hermitian 특성을 갖는다. 따라서 이러한 영상을 재생하기 위하여 크기정보만의 이진 홀로그램을 합성할 경우, 가장 최적으로 합성된 홀로그램은 완전한 우대칭(even symmetry)의 특성을 가져야 한다.

본 논문에서는 재생오차를 더욱 줄이기 위하여 최종적으로 합성된 홀로그램이 항상 완전한 우대칭의 특성을 갖도록 하는 수정된 DBS알고리즘(modified DBS:MDBS)을 제안하였다. 그리고 기존의 DBS 알고리즘에서 최적치로 수렴되는 광효율을 미리 일정한 값으로 지정하여 줌으로써, 계산량을 줄여줄 수 있는 또다른 알고리즘을 제안하였다. 대칭성을 이용하여 수정한 DBS알고리즘은 우대칭의 특성을 갖는 무작위 홀로그램(random hologram)에서 시작하여 항상 우대칭의 특성을 유지하도록 반복검색을 함으로써, 최종적으로 얻은 홀로그램이 항상 완전한 우대칭의 특성을 갖도록 하였다. 그러므로 이 알고리즘에 의해 합성된 홀로그램은 기존의 알고리즘에 의한 홀로그램보다 더 작은 재생오차를 가질 수 있으며, 따라서 더욱 최적의 구성을 갖는다고 할 수 있다. 또, 고정된 광효율을 이용하여 수정한 DBS 알고리즘은 홀로그램상에서 같은 이진값을 갖는 화소들의 갯수의 총합을 미리 결정하여, 이 총합에 변화를 주지 않으면서 반복검색을 함으로써 반복횟수를 줄여줄 수 있다. 기존의 DBS알고리즘과 제안된 수정 DBS알고리즘들에 의하여 구성한 홀로그램들로부터 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 영상을 재생하여 그 장단점을 비교 검토하였다.

II. 홀로그램과 재생영상

주파수 영역에서의 홀로그램을 $H(u, v)$ 라 두고 공간영역에서의 회절무늬를 $h(x, y)$ 라 한다. 이들은 서

로 연속적인 푸리에 변환 관계를 가지며 다음과 같이 표현된다.

$$h(x, y) = \iint H(u, v) \exp[-i2\pi(ux+vy)] du dv. \quad (1)$$

홀로그램의 구조는 $M \times N$ 의 장방형 셀(rectangular cell)배열이며, 각각 이진 전달함수(transmittance) H_{k1} ($-M/2 \leq k < M/2$, $-N/2 \leq l < N/2$)을 가지며, 크기는 $R \times S$ 이다. 따라서, $h(x, y)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$H(u, v) = \sum_{k=-M/2}^{M/2-1} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} H_{k1} \operatorname{rect}\left\{\frac{u-kR}{R}, \frac{v-lS}{S}\right\} \quad (2)$$

$$h(x, y) = RS \operatorname{sinc}(Rx, Sy) \sum_{k=-M/2}^{M/2-1} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} H_{k1} \exp[i2\pi(Rxk+Sy l)] \quad (3)$$

$$\text{여기서, } \operatorname{rect}(a, b) = \begin{cases} 1, & |a|, |b| < 1/2 \\ 0, & |a|, |b| \geq 1/2 \end{cases}$$

$$\operatorname{sine}(a, b) = \sin(\pi a) \sin(\pi b) / \pi^2 ab.$$

$h(x, y)$ 를 x 방향으로 간격 X , y 방향으로 간격 Y 만큼 표본화(sampling)시키면 다음과 같다.

$$h(mX, nY) = \left\{ \frac{RS}{XY} \right\}^{1/2} \operatorname{sinc}\left\{ \frac{m}{M}, \frac{n}{N} \right\} h_{mn} \quad (4)$$

여기서 $R_x = 1/M$, $S_y = 1/N$ 이며, h_{mn} 는 H_{k1} 의 이산 푸리에 역변환이다. 즉

$$h_{mn} = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{k=-M/2}^{M/2-1} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} H_{k1} \exp\left\{ i2\pi\left\{ \frac{mk}{M} + \frac{nl}{N} \right\} \right\} \quad (5)$$

그러므로 디지털적으로 재생된 영상은 다음과 같이 정의된다.

$$g_{mn} = \begin{cases} h_{m-m_0, n-n_0}, & (m-m_0, n-n_0) \in R, \\ 0, & (m-m_0, n-n_0) \notin R \end{cases} \quad (6)$$

여기서, R 은 요구되는 재생영상의 지원(support)영역이며, (m_0, n_0) 은 재생영상의 원점이다.

III. 평균 제곱오차(mean squared error:MSE)와 효율

입력영상과 재생영상의 유사성의 비교로서, 두 영상 사이의 오차를 측정할 수 있다. 입력영상을 f_{mn} 라 두고, 이 영상의 푸리에 영역에서의 최대치를 "1"로 정규화시킨 영상을 \bar{f}_{mn} 라 한다. 입력영상과 재생영상이 모두 $A \times B$ 의 크기를 가지고, A 와 B 는 모두 짝수라고 가정한다. 입력영상과 재생영상 사이의 MSE e 는

$$e = \frac{1}{AB} \sum_{m=-A/2}^{A/2-1} \sum_{n=-B/2}^{B/2-1} |\bar{f}_{mn} - \mu \bar{g}_{mn}|^2 \quad (7)$$

로 정의한다. 여기서 μ 는 변하는 회절 효율이 오차의 측정에 주는 영향을 없애면서 효과적으로 재생영상을 정규화하여, 최소 MSE를 얻기 위한 복소인자(complex factor)이다. μ 는 실수부와 허수부에 대한 MSE식의 편미분을 "0"으로 두어서 유도할 수 있다.

$$\mu = \frac{\sum_{m=-A/2}^{A/2-1} \sum_{n=-B/2}^{B/2-1} \bar{f}_{mn} \bar{g}_{mn}}{\sum_{m=-A/2}^{A/2-1} \sum_{n=-B/2}^{B/2-1} |\bar{g}_{mn}|^2} \quad (8)$$

재생영상의 크기만을 필요로 한다면 MSE는 식(9)과 같이 다시 정의할 수 있으며, 이 때의 μ 는 실수값이 된다.

$$e = \frac{1}{AB} \sum_{m=-A/2}^{A/2-1} \sum_{n=-B/2}^{B/2-1} \{ |\bar{f}_{mn}| - \mu |\bar{g}_{mn}| \}^2 \quad (9)$$

정규화 된 평균 실효오차(root mean squared error: RMS)를 다음과 같이 정의한다.

$$\bar{e}_{rms} = \frac{e^{1/2}}{\max_{mn} |\bar{f}_{mn}|} \quad (10)$$

재생영상을 평가하기 위하여 입력영상 효율(input-image efficiency), 총효율(total efficiency), 이진효율(binary efficiency)을 정의한다. 단위크기의 평면파가 홀로그래프에 입사되었을 때, 홀로그래프를 통과한 파의 에너지가 입력영상 효율이 되며, 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha_{ob} = \frac{1}{MN} \sum_{m=-A/2}^{A/2-1} \sum_{n=-B/2}^{B/2-1} |\bar{f}_{mn}|^2 \quad (11)$$

홀로그래프를 통과한 파의 일부분만이 회절되어 영상을 재생한다. 직접적으로 영상을 재생하는데 사용된 파의 에너지가 총효율이 되며, 다음과 같이 표현된다.

$$\alpha_{tot} = \frac{1}{MN} \sum_{m=-A/2}^{A/2-1} \sum_{n=-B/2}^{B/2-1} |\bar{g}_{mn}|^2 \quad (12)$$

이진 효율은 크기 정보만 갖는 이진 홀로그래프의 효율이며, 다음과 같이 입력영상 효율과 총효율의 비로서 나타낼 수 있다.

$$\alpha_{bin} = \frac{\alpha_{tot}}{\alpha_{ob}} \quad (13)$$

이 효율들은 서로 그림 1과 같은 관계를 갖는다. MSE와 효율과의 관계는 식(8)을 식(7)에 대입하여 구할 수 있다.

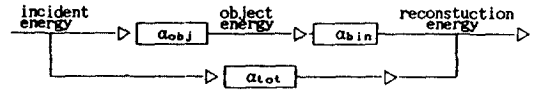


그림 1. 효율간의 상관관계

Fig. 1. Relationship between efficiency measures.

$$e = \frac{1}{AB} \left\{ \sum_{m=-A/2}^{A/2-1} \sum_{n=-B/2}^{B/2-1} |\bar{f}_{mn}|^2 - (|\mu|^2 \sum_{m=-A/2}^{A/2-1} \sum_{n=-B/2}^{B/2-1} |\bar{g}_{mn}|^2) \right\} \quad (14)$$

따라서, MSE는 정규화 된 입력영상 에너지와 재생영상 에너지의 차이로서 해석될 수 있다. MSE를 효율의 항들로 표현하면

$$e = \frac{MN}{AB} \alpha_{ob} (1 - |\mu|^2 \alpha_{bin}) \quad (15)$$

로 되며, $e=0$ 일 때 이진효율은 다음과 같다.

$$\alpha_{bin} = \frac{1}{|\mu|^2} \quad (16)$$

IV. DBS 알고리즘

이진 푸리에 홀로그램(binary Fourier transform hologram)을 제작하는 전통적인 방법은 입력영상에 대한 푸리에 변환값을 이진 실수값의 전달함수로 변환하는 것이다. 그러나 DBS 알고리즘에서는 입력영상과 재생영상 사이의 MSE를 최소로 하는 이진 전달함수를 얻기 위하여 반복적 검색방법(iterative search algorithm)을 도입하였다. DBS 알고리즘은 다음과 같다.

- 무작위 이진 홀로그램(random binary hologram) H_k 를 구한다.
- 역푸리에 변환을 통하여 재생영상 \bar{g}_{mn} 를 얻는다.
- 이 재생영상과 입력영상 사이의 MSE를 식(8)과 식(14)에 의해 구한다.
- 홀로그램을 사전 검색 순(lexicographic order)으로 검색하면서, 홀로그램상의 각 화소에 대하여 그 이진값을 바꾸어 주며 각 홀로그램에 대한 재생영상을 구한다.
- 새로운 재생영상과 입력영상 사이의 MSE를 계산하여, 이전의 MSE와 비교한다.
- 만일 MSE가 감소하면, 바뀐 홀로그램의 구성과 감소된 MSE를 참값으로 기억한다.
- 홀로그램상의 모든 화소들에 대하여 검색하면, 한 번의 반복적 검색(iteration)이 된다.
- 한 번의 완전한 반복적 검색동안 홀로그램의 구성에 변화가 없으면 검색을 끝낸다.

DBS알고리즘에서는 한 번 검색할 때 마다 단지 홀로그램상의 한 화소의 값만 변화 시키므로, 이산 푸리에 역변환을 다음과 같이 단순화 된 식으로 이용할 수 있다.

$$g_{mn} = \begin{cases} g_{mn} + \frac{1}{\sqrt{MN}} \exp\{i2\pi(k\frac{m}{M} + l\frac{n}{N})\}, & \text{if } H_{kl}=1 \\ g_{mn} - \frac{1}{\sqrt{MN}} \exp\{i2\pi(k\frac{m}{M} + l\frac{n}{M})\}, & \text{if } H_{kl}=0 \end{cases} \quad (17)$$

여기서 (k, l) 는 홀로그램상에서 이진값이 바뀐 화소의 위치이며, g_{mn} 은 H_{kl} 로의 변환이 있기 직전의 재생영상이다.

V. 수정 DBS 알고리즘

기존의 DBS 알고리즘보다 더욱 최적 구조의 홀로그램을 얻기 위하여 검색 과정에 대칭성을 부여하여 수정한 DBS 알고리즘(MDBS1)과 반복횟수를 줄이기 위하여 고정된 광효율을 이용하여 수정한 DBS 알고리즘(MDBS2)을 제안한다.

1. 대칭성을 이용하여 수정된 DBS 알고리즘 (MDBS1)

입력영상이 실수값으로 표현되어 있으면, 그 푸리에 변환된 함수는 Hermitian 특성을 갖는다. 그러므로, 이러한 입력영상을 재생하기 위한 크기 정보만을 갖는 이진 홀로그램이 가장 최적의 구성으로 합성 되었다면, 이 홀로그램은 우대칭의 특성을 가질 것이다.

기존의 DBS 알고리즘을 이용하여 합성된 이진 홀로그램은 부분적으로는 우대칭의 특성을 가지나 완전하게 우대칭은 아니다. 따라서, 최종적으로 합성된 홀로그램이 완전한 우대칭의 특성을 갖도록하는 수정된 DBS 알고리즘(MDBS1)을 제안한다.

- 우대칭의 특성을 갖는 무작위 홀로그램 H_{kl} 을 만든다.
- 역푸리에 변환을 통하여 재생영상 g_{mn} 을 얻는다.
- 재생영상과 입력영상 사이의 MSE를 계산한다. 이 계산은 식(17)을 연속해서 두 번 사용함으로 간단하게 할 수 있다.
- 홀로그램상의 우대칭의 위치에 있는 두 화소의 이진값을 동시에 바꾸어 주며 바뀐 홀로그램에 대한 재생영상을 구한다.
- 새로운 재생영상과 입력영상 사이의 MSE를 계산하여, 이전의 MSE와 비교한다.
- 만일 MSE가 감소하면, 바뀐 홀로그램의 구성과

감소된 MSE를 참값으로 기억한다.

- 홀로그램상의 모든 화소에 대한 한 번 검색할 동안에 홀로그램 구성에 변화가 없으면 검색을 끝낸다.

수정된 DBS 알고리즘에 의해 합성된 이진 홀로그램은 항상 완전한 우대칭의 특성을 가지며, 따라서 기존의 알고리즘보다 더 작은 재생오차를 갖는 홀로그램을 합성할 수 있다.

2. 고정된 광효율을 이용하여 수정된 DBS 알고리즘(MDBS2)

이진 홀로그램상에서 같은 이진값을 갖는 화소들의 갯수의 총합을 각각 미리 지정해주면, 광효율을 고정하는 경우가 되며, 이 총합을 이용하여 반복 검색의 수렴 속도를 빠르게 함으로써, 검색 횟수를 상당히 줄여줄 수 있는 수정된 DBS알고리즘(MDBS2)을 제안한다. 이 알고리즘은 다음과 같다.

- 지정된 수 만큼의 "1"의 화소와 "0"의 화소를 갖는 무작위 홀로그램을 구한다.
 - 같은 이진값을 갖는 각 화소들의 번지를 차례로 기억하는 두 이진값에 대한 두 개의 배열을 만든다.
 - 임의의 한 배열의 첫 번째에 기억된 번지를 갖는 화소부터 검색을 시작한다.
 - 같은 이진값을 갖는 화소들의 총 갯수가 검색 중에 바뀌지 않도록 하기 위하여, 이진값의 변환이 없으면, 이 화소의 번지를 그대로 같은 배열에 두고 배열의 다음 번째에 있는 번지를 갖는 화소를 검색한다.
 - 이진값의 변환이 있으면, 이 화소의 번지를 다른 배열의 끝자리로 옮겨 기억시키고, 다음 검색할 화소는 다른 배열의 첫번째 번지의 화소가 된다.
 - 이렇게 각 화소의 번지를 기억하는 두 배열을 차례로 번갈아 가며 검색하여, 홀로그램상의 모든 화소에 대하여 MSE의 감소를 위한 이진값의 변환이 한 번도 일어나지 않을 경우 검색을 끝낸다.
- 수정된 DBS 알고리즘은 식(8)의 μ 가 임의로 결정되므로, 재생된 영상이 최적으로 scale 되지 못하여 MSE는 다소 늘어날 것으로 예상되나 반복횟수는 기존의 알고리즘에 비하여 매우 줄여줄 수 있다.

VI. 시뮬레이션 결과 및 고찰

그림 2(a)와 같은 16×16 크기의 "ㄱ"문자의 입력 영상에 대하여 홀로그램을 합성하였다. MSE의 계산은 입력영상과 재생영상의 크기값만을 비교한 식(9)를 이용하였다. 기존의 DBS 알고리즘과 수정된

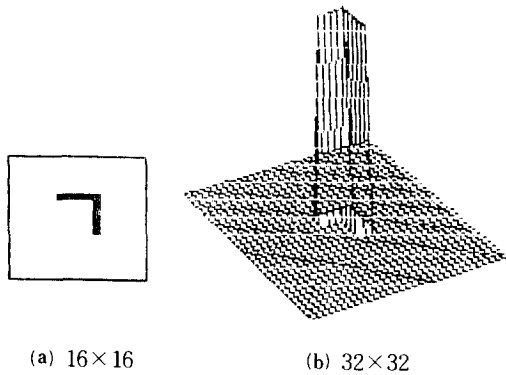


그림 2. 입력영상
Fig. 2. Input object.

알고리즘에 의해 계산된 오차들과 반복 횟수, 이진 효율을 표 1에 나타내었다. 이 값들은 5가지의 서로 다른 무작위 홀로그램들로부터 각각 검색을 시작하여 그 결과들을 평균한 것이며, MDBS 2의 경우 각각 이진값 "0"과 "1"을 갖는 화소들의 갯수의 총합을 동일하게 주었다.

표 1. 오차, 효율 반복횟수의 비교

Table 1. Comparison of the errors, efficiency, and iteration.

	D B S	MDBS 1	MDBS 2
MSE	3.868×10^{-5}	3.311×10^{-5}	3.924×10^{-5}
RMS	3.358×10^{-1}	3.107×10^{-1}	3.383×10^{-1}
α_{bin}	2450	3952	1563
Iteration	10	18	5

표 1에서 알 수 있듯이 MDBS1 알고리즘은 기존의 DBS 알고리즘보다 MSE값을 7.5% 정도 줄여줄 수 있고, 효율도 훨씬 증가한 대신에 반복횟수가 크다. 이는 MDBS1 알고리즘이 더욱 최적의 구성을 갖는 홀로그램을 합성하기 위하여 더 많은 검색횟수를 필요로 하기 때문이다. 또한, MDBS2의 경우에는 MSE가 다소 증가하는 대신에 반복횟수가 훨씬 줄어들었다. 그리고 그림 2(b)의 32×32 크기의 입력 영상에 대한 홀로그램을 각각 합성하여 그 이진 구조를 그림 3에 나타내었으며, 이 홀로그램을 그림 4에 있는 광학적 실험장치의 H평면에 DBS와 수정 DBS 알고리즘에 의해 제작된 홀로그램 필터를 놓고 He-Ne 레이저의 평면파를 입사 시키면 렌즈 L_2 에

의해 역 푸리에 변환되어 원래의 영상이 광학적으로 재생된다. 이와같은 과정을 컴퓨터를 이용하여 디지털적으로 영상을 재생시킨 영상이 그림 5이다. 재생 영상의 비교를 용이하게 하기 위하여 각 영상을 3차원으로 나타내었다. 그림 3(b)에서 대칭성을 확인할 수 있으며, 그림 5에서 MDBS1 알고리즘이 가장 깨끗한 영상을 재생시킬 수 있음을 알 수 있다.

Ⅶ. 결 론

DBS 알고리즘은 홀로그램 제작을 위한 소자들의 해상도를 최대로 활용할 수가 있으며 광효율과 그 응용 범위가 매우 크다. 이러한 DBS 알고리즘에 의하여 합성된 홀로그램은 재생오차를 최소로 갖는 영상을 재생한다는 점에서 최적에 가까운 구성을 갖는다고 할 수 있다.

본 논문에서는 입력영상이 실수값을 가질 때, 그 푸리에 변환된 함수는 Hermitian 특성을 갖는 점을 이용하여 기존의 DBS 알고리즘보다 더 작은 재생오

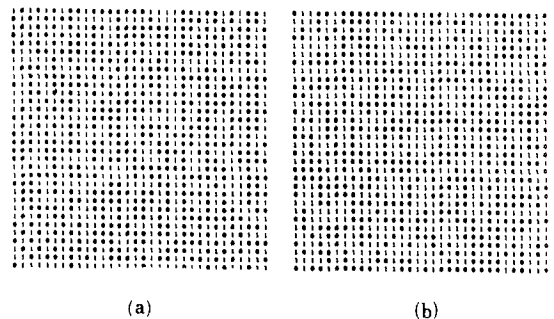


그림 3. 32×32 홀로그램의 이진 구조
(a) DBS (b) MDBS1

Fig. 3. Binary transmittance function of the 32×32 hologram.

(a) DBS, (b) MDBS1.

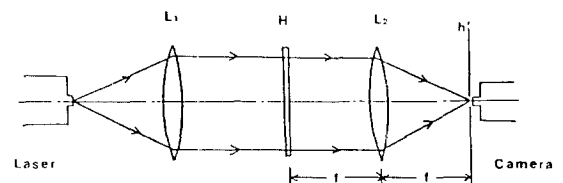


그림 4. 광학적 영상재생을 위한 실험 구성

Fig. 4. The experimental system of a optical image reconstruction.

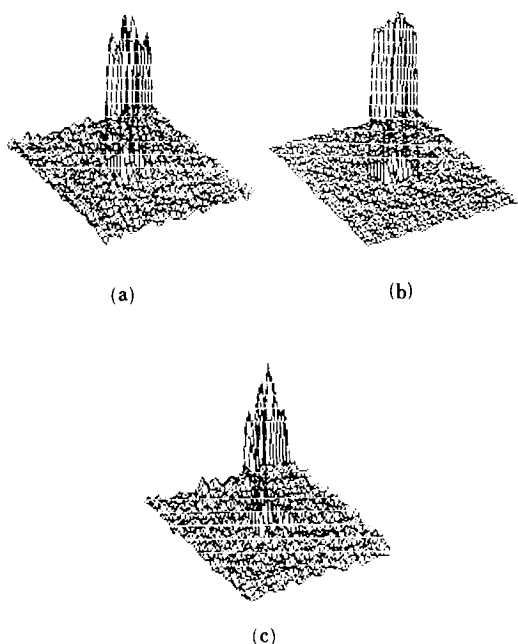


그림 5. 32×32 홀로그램에 의한 재생영상
(a) 기존 DBS (b) MDBS1
(c) MDBS2

Fig. 5. Reconstruction of 32×32 hologram.
(a) conventional DBS,
(b) MDBS1, (c) MDBS2.

차를 갖는 홀로그램을 합성할 수 있는 수정된 DBS 알고리즘을 제안하였다. 이렇게 수정된 DBS 알고리즘은 기존의 DBS 알고리즘보다 더 많은 반복횟수를 필요로 하지만, 더 작은 재생오차를 갖는 영상을 재생하므로 더욱 최적의 이진 홀로그램을 합성한다고 할 수 있다.

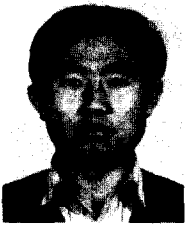
고정된 광효율을 이용하여 수정한 DBS 알고리즘은 기존 DBS 알고리즘의 단점인 많은 계산량을 상당히 줄여줄 수 있었으나, 재생오차가 다소 늘어난다. DBS 알고리즘은 전통적인 홀로그램 합성법에 비하여 여러가지 면에서 우수하나, 오차비교를 위한 계산량이 너무 과다하여 큰 홀로그램을 제작하는데

는 어려움이 있다. 그러나 어레이 프로세서(array processor)등을 이용한다면 이러한 계산량의 문제를 상당히 해결할 수 있을 것이다. 따라서, 공간 광변조기(spatial light modulator)와 같은 낮은 해상도를 갖는 소자로서 광신호처리에 사용되는 필터 등을 제작할 경우 수정된 DBS 알고리즘들은 최적의 필터를 합성할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] G. Tricoles, "Computer-generated hologram: an historical review," *Appl. Opt.*, vol. 26, no. 20, pp. 4351-4360, 1987.
- [2] T.S. Huang, "Digital holography," *Proceedings of IEEE*, vol. 59, no. 3, pp. 1335-1346, September 1971.
- [3] M.A. Seldowitz, J.P. Allebach, and D.W. Sweeney, "Synthesis of digital holograms by direct binary search," *Appl. Opt.*, vol. 26, pp. 2788-2798, 1987.
- [4] B.K. Jennison and J.P. Allebach, "Analysis of leakage from computer-generated holograms synthesized by direct binary search," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 6, no. 2, pp. 234-243, 1989.
- [5] C.K. Hsueh and A. Sawchuk, "Computer-generated double-phase holograms" *Appl. Opt.*, vol. 17, pp. 3874-3883, 1978.
- [6] F. Wyrowsky, R. Hauck, and C. Bryngdahl, "Computer-generated holography: hologram repetition and phase manipulations," *J. Opt. Soc. Am.*, vol. 4, no. 4, pp. 694-698, 1987.
- [7] 박상국, 남태원, 신현삼, 김수중, "반복적 오차감소 알고리즘의 일괄적응에 의한 컴퓨터 형성 2-위상 홀로그램 제작," 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, vol. 11, no. 1, pp. 183-185, 1988.
- [8] P. Carnevali, L. Coletti, and S. Patarnello, "Image processing by simulated annealing," *IBM J. Res. Dev.* vol. 29, pp. 569-575, 1985.

著 者 紹 介



南 胎 元 (正會員)

1962年 3月 5日生. 1987年 2月
경북대학교 전자공학과 졸업. 1990
年 2月 경북대학교 전자공학과
석사과정 졸업. 1990年 3月~현재
국방과학 연구소 연구원. 주관심
분야는 디지털 홀로그래, 광 신

호 처리 등임.



金 成 龍 (正會員)

1963年 2月 17日生. 1988年 2月
경북대학교 전자공학과 졸업. 1990
年 2月 경북대학교 전자공학과
석사과정 졸업. 1990年 3月~현
재 경북대학교 전자공학과 박사
과정 재학중. 주관심분야는 광 패

턴 인식. 신경회로망, 광 컴퓨팅 등임.

●

都 良 會 (正會員) 第26卷 第8號 參照
현재 제주대학교 전자공학과
전임강사

●

金 秀 重 (正會員) 第25卷 第7號 參照
현재 경북대학교 전자공학과
교수