

GA와 SA 알고리즘의 조합을 이용한 최적의 BPCGH의 설계

준회원 조 창 섭*, 정회원 김 철 수**, 김 수 중***

Design of optimal BPCGH using combination of GA and SA Algorithm

Chang-Sop Cho*, Cheil-Su Kim**, Soo-Jung Kim*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 패턴생성을 위한 최적의 이진 위상 컴퓨터형성홀로그램을 설계하기 위해 합성된 SA알고리즘 및 유전 알고리즘을 이용하였다. 제안된 방법의 탐색과정에서 sGA를 사용하여 BPCGH를 생성하고, 결과 홀로그램 패턴을 SA 알고리즘의 초기 랜덤 투과함수로 이용하여 최적의 BPCGH를 설계하였다. 컴퓨터 시뮬레이션에서 독립적으로 사용된 SA 알고리즘과 유전 알고리즘을 비교한 결과 제안한 알고리즘이 회절 효율이 향상된 것을 확인할 수 있었다.

key Words : CGH, Simulated annealing, Genetic algorithm

ABSTRACT

In this paper, we design an optimal binary phase computer generated hologram for pattern generation using combined genetic algorithm and simulated annealing algorithm together. To design an optimal binary phase computer generated hologram, in searching process of the proposed method, the simple genetic algorithm is used to get an initial random transmittance function of simulated annealing algorithm. Computer simulation shows that the proposed algorithm has better performance than the genetic algorithm or simulated annealing algorithm in terms of diffraction efficiency

1. 서 론

홀로그램은 물체에 의해 산란된 파면의 크기와 위상 정보를 기준파(reference wave)와의 간섭을 통해 기록 매질에 대해 세기의 형태로 기록하는 광학적 홀로그램(optical hologram)과 컴퓨터를 이용하여 회절 이론(diffraction theory)과 푸리에 변환(Fourier transform)등의 수학적 연산을 통해 간섭 파면이 가지는 정보를 해석하는 컴퓨터형성홀로그램(computer generated hologram: CGH)으

로 나눌 수 있다. 광학적 홀로그램은 1948년 Gabor에 의해 처음으로 제안되었으며^[1], 현재까지 가장 완벽한 입체영상을 표현할 수 있는 기술이며, 문화재 보존, 복제 방지 또는 입체 영상 표현 시스템 등에 응용이 되고 있으나, 제작과정에서 큰 빔을 나타낼 수 있는 고출력 레이저 및 광학소자가 필요하고, 화학적 처리 과정 및 진동문제 등을 해결할 수 있는 실험환경이 필요하다. 최근에는 비선형 매질의 개발로 인해 실시간 제작이 가능하게 되어 그 활용분야가 확대되리라 예상된다. CGH는 1966년 Brown 등

* 경북대학교 전자공학과 광신호처리 연구실(meverick7@orgio.net), ** 경주대학교 컴퓨터전자공학부(kimcs@kyongju.ac.kr),
*** 경북대학교 전자전기공학부(sjkim@palgong.knu.ac.kr)
논문번호 : 030143-0331, 접수일자 : 2003년
※ 본 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R05-2002-000-01188-0(2002))지원으로 수행되었습니다.

에 의해 제안된 방법으로써⁽²⁾, 컴퓨터를 이용하여 계산된 물체의 파두면이 가지는 진폭 및 위상 정보를 부호화한 후 필름 또는 공간 광 변조기(spatial light modulator: SLM)를 통해 구현하므로 광학 홀로그램이 가지는 문제점을 해결할 수 있으며, 존재하지 않는 물체에 대한 홀로그램의 제작이 가능하다. CGH의 제작초기에는 진폭 정보와 위상 정보 모두를 이용하였으나, 광 효율이 떨어지고, 정보의 정확한 표현이 어려운 단점이 있어 위상 정보만을 이용하는 위상형 홀로그램에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 연속 위상 정보를 갖는 위상 홀로그램의 제작은 기록 소자의 제한과 컴퓨터를 이용한 수학적 계산의 용이함, 위상 정보의 기록 및 제어의 용이함을 위해 이진화를 하게 되는데, 이진 위상 컴퓨터형성홀로그램(binary phase computer generated hologram: BPCGH)는 양자화 과정에서 발생하며, 이와 같은 오차로 인해 위상 정보의 손실로 인해 회절 효율(diffraction efficiency: DE)이 감소되어 재생 영상에서 잡음으로 나타난다. 양자화 오차를 최소화하기 위한 방법들로 오차 확산(error diffusion)⁽³⁾을 비롯한 비반복적인 알고리즘과 직접이진탐색(direct binary search)⁽⁴⁾, 반복 푸리에 변환 알고리즘(iterative fourier transform algorithm : IFTA)⁽⁵⁾, SA 알고리즘(simulated annealing algorithm)⁽⁶⁻⁷⁾, 유전 알고리즘(genetic algorithm: GA)⁽⁸⁻¹¹⁾ 과 같은 반복적인 알고리즘이 있다.

반복적인 탐색 과정을 통해 최적해를 찾는 알고리즘들 중에서 SA 알고리즘과 유전 알고리즘이 효율 면에서 우수하여 많이 연구되고 있다. 하지만 SA 알고리즘은 초기 패턴으로 무작위로 구성된 하나의 패턴을 이용함으로써 인해 CGH를 설계할 때마다 서로 상이한 결과 값을 가지는 문제가 있으며, 유전 알고리즘은 개체군을 이용해 최적해를 찾으므로, 초기 패턴으로 인한 문제점은 해결할 수 있지만, 탐색 과정에서 교차 연산을 통한 블록 단위 탐색을 이용하므로, 신호창 전체에 대한 면밀한 탐색이 어렵다. 본 연구에서는 이 두 알고리즘을 BPCGH 설계를 위한 탐색과정에 함께 이용하는 방법을 제안하였다. BPCGH 설계를 위한 탐색 초기에서는 간단한 유전 알고리즘(simple genetic algorithm: sGA)를 통해 대략적 탐색을 수행하여 초기 패턴으로 인한 성능 차이에 대한 문제를 해결하고, 결과 BPCGH 패턴을 그대로 SA 알고리즘의 초기 랜덤 입력 패턴

으로 사용하여 신호창 전체에 대해 화소를 이용한 면밀한 탐색과정을 다시 한번 더 수행함으로써 최적의 BPCGH를 설계하였다.

II. 이진 위상 컴퓨터형성 홀로그램

연속 위상 홀로그램은 위상 정보를 기록 매질에 기록할 때 입력 영상의 푸리에 변환된 위상 정보만을 이용하므로, 크기 정보를 이용할 때에는 달리 기록 매질 내에서 에너지 흡수에 따른 세기 손실은 없으나, 위상 정보의 표현이 어려워 양자화를 통한 이진화가 필요하다.

이진 위상 홀로그램은 연속 위상 홀로그램이 가지는 고유 특성은 유지되고, 정보의 제어가 용이하며, 회절 효율이 우수하다. 연속 정보를 가지는 영상이 가지는 공간 영역의 회절 무늬를 $h(x,y)$ 라 두고 주파수 영역의 홀로그램을 $H(u,v)$ 라 하면 공간 영역과 홀로그램과는 Fraunhofer 회절 영역의 관계로, 식 (1)과 같은 2차원 푸리에 변환으로 볼 수 있다.

$$h(x, y) = \int \int_{-\infty}^{\infty} H(u, v) \times \exp\{-j2\pi(ux + vy)\} dx dy \quad (1)$$

이진 위상 홀로그램은 화소의 크기가 R, C 인 이진값을 가지는 $N \times N$ 배열로 나타낼 수 있으며, 아래와 같이 표현된다.

$$H(u, v) = \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} H_{kl} \times \text{rect}\left(\frac{u-kR}{R}, \frac{v-lC}{C}\right) \quad (2)$$

여기서, u 와 v 는 공간 주파수이다. 식 (2)에 대한 재생 영상은 역 푸리에 변환으로 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$h(x, y) = \int \int_{-\infty}^{\infty} H(u, v) \times \exp\{j2\pi(ux + vy)\} du dv \\ = RC \text{sinc}(Rx, Cy) \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} H_{kl} \exp\{j2\pi(kRx + lCy)\} \quad (3)$$

식 (3)에서 $Rx=1/N, Cy=1/N$ 의 간격으로 샘플링하고, R 과 C 의 값을 1로 두면 식 (4)를 얻을 수 있다.

$$h(mX, nY) = \frac{1}{N^2} \text{sinc} \left(\frac{m}{N}, \frac{n}{N} \right) \times \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} H_{kl} \times \exp \left\{ j2\pi \left(\frac{km}{N} + \frac{ln}{N} \right) \right\} \quad (4)$$

식 (4)에서 X, Y 에 비해 N 값이 상대적으로 크므로 sinc함수는 무시할 수 있다. 결국 최종적인 재생 영상은 아래와 같이 표현 된다.

$$h(mX, nY) = \frac{1}{N^2} \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} \sum_{l=-N/2}^{N/2-1} H_{kl} \times \exp \left\{ j2\pi \left(\frac{km}{N} + \frac{ln}{N} \right) \right\} = h_{mn} \quad (5)$$

식 (5)는 표본화를 이용한 재생 영상으로 연속 신호의 투과 함수와 오차를 가지며, 원 정보를 손실한다. 그러므로 CGH의 제작에서는 이진 투과 함수 H_{kl} 의 최적화가 필요하다.

III. 유-전 알고리즘

유전 알고리즘은 1975년 미국의 John Holland 에 의해 제안되었으며, 유전학과 적자생존의 원리를 이용하여 자연환경을 그대로 적용한 알고리즘이다.

유전 알고리즘을 이용하여 주어진 문제에 대한 최적화를 수행하기 위해서는 다음과 같은 요소를 가져야 한다.

- 부호화
- 초기 개체군의 생성
- 적합도 평가함수
- 유전 연산자(선택, 교차, 돌연변이)
- 매개변수(개체군의 크기, 돌연변이 확률 등)

유전 알고리즘을 이용하여 최적의 BPCGH를 제작하기 위해서 홀로그래피가 가지는 정보와 같도록 초기 개체군을 생성하고, 개체군을 구성하는 개체들에 대해 적합도를 구한 후 선택(재생산)을 하게 되는데, 선택 연산의 방법으로는 개체들이 가지는 적합도에 따라 선택될 확률을 가지는 룰렛 휠 방식, 무작위로 두 개체를 선택하여 적합도를 비교한 후, 높은 적합도를 가지는 개체를 선택하는 토너먼트 선택 방법 등이 있다. 선택 연산을 수행한 개체들을 중간 저장소(mating pool)에 저장한 후 교차 및 돌연변이 연산을 수행하게 되는데, 교차 연산은 일정한 크

기의 블록을 정하고, 개체를 선택하여 개체들의 정보를 상호 교환하는 것이다. 돌연변이는 낮은 확률로 발생하여 개체가 가지는 정보의 일부를 반전시켜 새로운 값을 가지는 개체를 만들게 된다. 이러한 돌연변이는 초기 개체군이 가지는 조합이외의 새로운 탐색이 가능하도록 하며, 국소 최적해에서 벗어날 수 있도록 도와준다. 일반적으로 돌연변이 확률 (mutation population : m.p.)는 0.1 이하의 값을 가지게 하는데 만일 발생 확률이 높아 빈번하게 돌연변이가 발생한다면 개체가 가지는 스키마타가 파괴되어 임의 탐색이 빠질 수 있다.

IV. SA 알고리즘

SA 알고리즘은 통계열역학에서 사용된 최적화 방법으로, 반복 과정을 이용하여 온도 감소에 따른 에너지가 최소가 되는 것을 구하는 알고리즘으로 방문 판매원 문제(traveling salesmen problem) 등의 조합 최적화(combinational optimization) 문제를 해결할 수 있다.

SA 알고리즘을 이용한 BPCGH의 제작은 초기 온도, 냉각 속도, 목표 효율등의 매개 변수를 통해 온도 감소에 따른 에너지의 비용함수가 전체 에너지의 최소점을 찾게하는 반복 과정을 통해 가능하며, 사용되는 매개변수, 비용함수 그리고 초기 투과 함수의 선정에 따라 성능에 많은 영향을 받기 때문에 이들의 적절한 선택이 요망된다.

SA 알고리즘이 가지는 특징은 초기 반복 과정 중에서 냉각 속도에 따른 비용함수(cost function)의 일시적 증가로 인해 발생할 수 있는 국소 최적해(local minimum)문제를 식 (6)과 같은 볼츠만 확률 분포식(Boltzman probability distribution)을 이용한 조건부 수용을 통해 해결 할 수 있다.

$$T_n = (D_i)^n T_{ini}, \quad P(\Delta e) = \exp \left(-\frac{\Delta e}{T_n} \right) \quad (6)$$

식 (6)에서 T_{ini} 는 초기 온도, T_n 은 n 번째 반복과정에서의 온도, D_i 는 냉각 속도, Δe 는 비용함수의 평균 변화량을 나타낸다. SA 알고리즘에서는 0~1 사이의 무작위 확률보다 $p(\Delta e)$ 가 클 경우에 수렴하는데, 탐색 초기에는 T_n 이 Δe 보다 상대적으로 큰 값을 가지므로, 1에 가까운 확률 값을 가지도록 하여 국소 최적해를 벗어나도록 설계하였다.

V. 제안된 알고리즘

본 연구에서는 BPCGH를 설계하기 위해서 선택, 교차, 돌연변이 등의 연산 과정만을 이용한 sGA와 SA 알고리즘의 특징을 이용하여 하나의 탐색 과정에 적용하여 최적해를 탐색하였다. 각 알고리즘이 가지는 특징은 다음과 같다.

표 1. sGA 와 SA 알고리즘의 특징비교
Table 1. The comparison of the characteristics of the sGA and SA algorithms

	sGA	SA
초기 패턴	랜덤구조의 개체군	랜덤 구조의 단일 패턴
탐색 방법	블록 단위	화소 단위

SA 알고리즘은 초기 패턴으로 하나의 패턴을 이용하여 최적해를 탐색하므로, 홀로그램을 제작할 때마다 서로 상이한 결과값을 가지는 문제점이 있으며, 유전 알고리즘은 개체군을 이용하여 최적해를 탐색하므로 SA 알고리즘이 가지는 초기 패턴으로 인한 문제점은 해결할 수 있으나, 최적해를 찾기 위한 탐색 방법이 교차 연산에서의 블록을 이용한 방법을 주로 이용하므로, 탐색 창 전체에 대한 면밀한 탐색이 어렵다는 단점을 가진다. 제안된 알고리즘은 이러한 특징들을 이용하여 탐색 초기에는 sGA를 이용하고 결과 홀로그램 패턴을 SA알고리즘의 입력으로 이용하여 다시 한번 신호창 전체에 대해 화소 단위의 탐색을 하여 최적의 홀로그램 패턴을 설계하였다.

sGA를 이용하여 BPCGH를 제작하기 위해서 초기 패턴을 '1'과 '-1'의 무작위로 구성된 패턴을 이용하여 위상값에 매칭시키고, 개체군의 크기만큼 생성하였다. 최적해를 찾기 위한 유전 연산을 하기 위해 초기 개체군이 가지는 개체들에 대해 적합도 평가 함수를 선택하여 적합도를 계산하였다. 본 연구에 적용된 적합도 평가함수는 재생 영상과 목표 영상의 회절 효율을 최소화시키기 위해 다음과 같은 세기 기준의 평균 자승 오차(mean square error : MSE)를 이용하였다.

$$E = \frac{1}{AB} \sum_{m=m_0}^{m_0+A-1} \sum_{n=n_0}^{n_0+B-1} | |f'_{mn}|^2 - |h_{mn}|^2 |^2 \quad (7)$$

식 (7)에서 A와 B는 목표 영상의 가로 및 세로

크기이며, f'_{mn} 은 목표 영상, h_{mn} 은 재생 영상을 나타낸다. 식 (7)의 MSE는 sGA뿐만 아니라 SA 알고리즘에서의 비용함수로도 사용되었다

1) 선택

선택 연산은 개체가 가지는 적합도에 따른 확률을 이용하여 무작위로 개체를 선택하여 우성 인자를 가지는 개체를 교차 및 돌연변이 연산을 수행하기 위해 중간 저장소에 저장하는 연산 과정으로 본 연구에서는 개체군에서 두 개의 개체를 무작위로 선택하여 적합도가 높은 개체를 선택하는 토너먼트 선택 방법을 이용하였다.

2) 교차

교차 연산은 유전 알고리즘에서 최적해를 탐색하는 주된 방법으로, 중간 저장소에서 임의로 개체를 선택하여 선택된 개체들간의 정보를 블록을 이용하여 상호 교환하는 방법이다. 본 연구에서는 전체 영상의 절반 크기의 블록을 이용하여 무작위로 선택된 위치를 기준으로 교차 연산을 수행하였다.

3) 돌연변이

돌연변이는 교차 연산 과정 중에서 발생하는 것으로, 각 화소값을 돌연변이 확률만큼 변형시키는 것을 말한다. 즉, 낮은 확률을 이용하여 각 화소값 중에서 해당하는 화소를 선택하여 -1은 1로, 1은 -1으로 반전시키는 것이다. 교차 연산이 넓은 범위의 탐색이라면 돌연변이는 좁은 범위의 탐색을 하는 것이며, 돌연변이를 통해서 교차 연산 만으로는 제한될 수 있는 공간을 탐색할 수 있다.

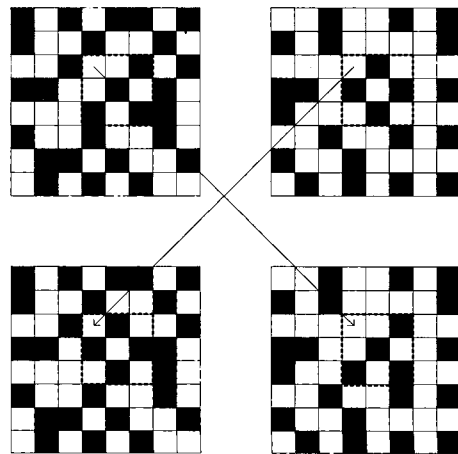


그림 1. 교차 연산의 예
Fig. 1. Example of crossover operation.

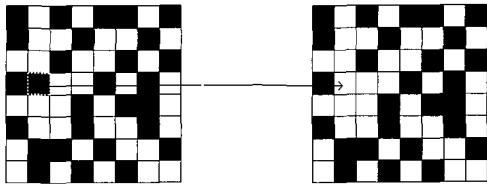


그림 2. 돌연변이 연산의 예
Fig. 2. Example of mutation operation.

이러한 유전 연산을 반복 횟수만큼 반복하여 생성된 BPCGH 패턴은 '1'과 '-1'의 값을 가지므로 이 패턴을 그대로 SA 알고리즘의 초기 입력 패턴으로 이용할 수 있다.

SA 알고리즘은 초기 변수들의 설정에 따라 수렴과정에 영향을 많이 받게 되는데 냉각 속도, 목표 효율 및 반복 횟수 등이 영향을 미치게 된다. SA 알고리즘에서 냉각 속도가 너무 빠를 경우에는 초기 반복 과정에서 국소 최적해에 수렴하게 되어 이진 탐색(binary search) 알고리즘과 동일한 결과를 가질 수 있으며, 반대로 너무 느리게 냉각될 경우에는 계산시간이 늘어 나게 된다. 일반적으로 냉각속도가 0.9이상에서는 국소 최적해에 빠지지 않는다고 알려져 있다. 본 연구에서 적용된 알고리즘의 전체 흐름도는 그림 3과 같다. 그림 3에서 초기에는 sGA를 이용하여 초기 개체군을 생성하고, 목표패턴을 정한 후 목표 패턴에 대한 적합도를 계산하여 재생산 교차 및 돌연변이 등의 유전 연산을 통해 대략적 연산을 수행한다.

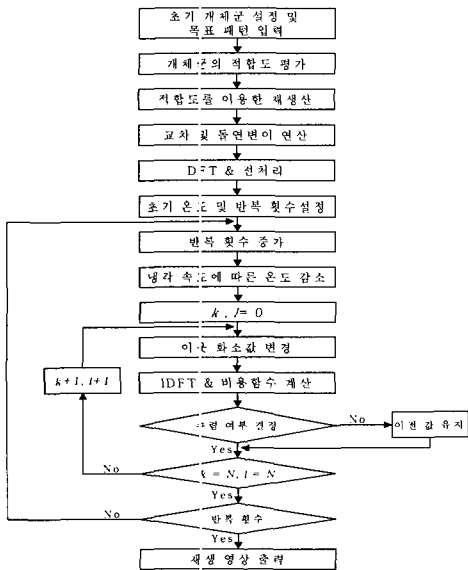


그림 3. 제안된 알고리즘의 흐름도
Fig. 3. The flowchart of the proposed algorithm

주어진 반복 횟수만큼 반복을 통해 생성된 홀로그램 패턴의 값이 -1과 1로 구성되어 있어 이 패턴을 그대로 SA알고리즘의 초기 투과 함수로 이용하여 냉각 속도와 반복 횟수에 따른 화소 단위의 면밀한 탐색을 다시 수행하여 SA알고리즘과 GA알고리즘이 가지는 문제점을 해결하도록 하였다.

VI. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

각 알고리즘을 이용하여 설계된 BPCGH의 성능 분석을 하기 위해 회절 효율을 비교하였으며, 설계된 홀로그램에 역 푸리에 변환을 하여 재생 영상을 획득하였다. 회절 효율값을 정량적으로 나타내기 위해서 식 (8)을 이용하였다.

$$DE = \frac{\sum_{m=0}^{A+m_0} \sum_{n=0}^{B+n_0} |h_{mn}|^2}{\sum_{m=0}^{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} |h_{mn}|^2} \times 100\% \quad (8)$$

식 (8)은 신호 창 내부의 에너지와 전체 에너지의 비를 나타내는 식으로, 결과 영상이 신호 내부에 수렴하는 정도를 나타내는 수식이다.

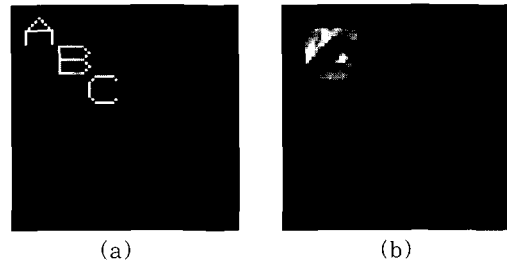


그림 4. 목표 영상 (a) 이진 문자 영상 (b) 명암도 영상
Fig. 4. Target image: (a) binary character image, (b) gray level image

컴퓨터 시뮬레이션에서 사용된 목표 영상 그림 4와 같다. 그림 4에서 (a)는 이진 영상을 나타내며, (b)는 명암도 영상을 나타내며, 전체 영상의 크기는 64x64이다. 신호창의 크기는 이진 영상의 경우 32x32 크기이며, 명암도 영상은 Lena 영상의 눈 부분만을 16x16 크기로 발췌하여 적용하였다.

1) sGA를 이용한 BPCGH의 회절 효율 및 재생 영상

sGA를 이용하여 BPCGH를 설계하기 위해 사용된 변수로 반복 횟수는 400, 600, 800회, 개체군의 크기는 300, 600, 900개, 그리고 돌연변이 확

률은 국소 최적해를 피하기 위해 0.1, 0.01, 0.001를 갖도록 하였다.

sGA를 이용해 BPCGH를 설계한 경우의 효율은 개체군의 크기가 증가할수록 효율이 향상되었으며, 또한 반복횟수의 증가에 대해서도 회절 효율이 증가되는 것을 볼 수 있다. 표 2에서 가장 높은 회절 효율을 가지는 경우의 BPCGH 및 재생 영상은 그림 5와 같다. 그림 5에 나타난 재생 영상을 살펴보면 사용된 이진 및 명암도 영상 모두에 대해 좋지 못한 결과를 나타내며, 신호창 전체에 걸쳐 잡음이 존재하는 것을 볼 수 있다.

2) SA 알고리즘을 통해 설계된 BPCGH 및 재생 영상

SA 알고리즘을 이용하여 패턴 생성을 위한 BPCGH를 설계하기 위해서 냉각 속도는 0.91, 0.92, 0.93, 0.94, 0.95로 변화 시켰으며, 반복 횟수는 80, 100, 120회로 하였으며, 목표 효율값은 1로 두었다.

표 2. 유전 알고리즘을 이용하여 설계된 BPCGH의 회절 효율
Table 2. The diffraction efficiency of BPCGH which is designed by using GA.

(단위 :%)

개체군	돌연 변이 확률	반복 횟수					
		400		600		800	
		이진 영상	명암도 영상	이진 영상	명암도 영상	이진 영상	명암도 영상
300	0.1	62.0	61.0	64.0	62.3	63.8	62.5
	0.01	64.0	64.4	63.5	64.9	64.0	65.2
	0.001	61.9	61.6	60.4	54.5	65.5	63.7
600	0.1	67.0	66.7	69.2	68.4	68.7	67.5
	0.01	69.1	66.3	69.0	69.0	69.3	68.8
	0.001	67.8	66.5	67.0	66.6	68.5	67.0
900	0.1	71.7	69.4	72.8	69.9	72.6	70.2
	0.01	71.2	70.1	72.9	70.5	73.0	70.4
	0.001	70.4	71.0	71.0	71.2	73.0	70.1

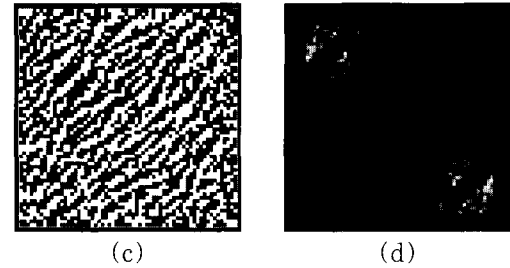
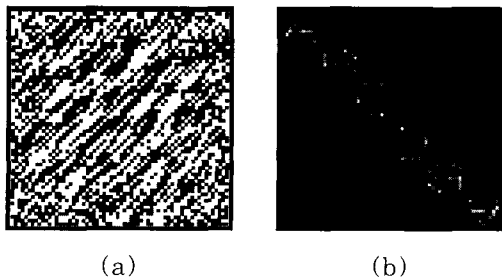


그림 5. 유전 알고리즘을 이용하여 설계된 BPCGH 및 재생 영상 (a) 이진 영상의 BPCGH, (b) 그림 5(a)의 역푸리에 변환에 의해 재생된 영상, (c) 명암도 영상의 BPCGH, (d) 그림 5(c)의 역푸리에 변환에 의해 재생된 영상

Fig. 5. BPCGHs which is designed by using GA and its reconstructed images: (a) BPCGH of binary image, (b) reconstructed image by inverse Fourier transforming of Fig. 5(a), (c) BPCGH of gray image, and (d) reconstructed image by inverse Fourier transforming of Fig. 5(c)

표 3에서 보면 SA 알고리즘을 이용한 경우에서도 sGA를 이용한 경우와 마찬가지로 반복 횟수에 따라서 회절 효율이 증가되는 것으로 나타났으며, 냉각 속도가 너무 느릴 경우 반복 횟수내에서 최적 해에 도달하지 못하는 경우가 발생하여 회절 효율이 현저히 떨어지는 것을 볼 수 있다.(반복 횟수 : 80 회, 냉각 속도 0.95 인 경우) 표 3에서 가장 높은 회절 효율을 가지는 BPCGH 및 재생 영상은 그림 6과 같다. SA 알고리즘을 이용하여 설계된 BPCGH의 재생 영상은 sGA를 적용하였을 때보다는 나은 영상이지만 명암도 영상에서 잡음이 어느 정도 존재하는 것을 볼 수 있다.

3) 제안된 알고리즘을 통해 설계된 BPCGH 및 재생 영상

제안된 알고리즘을 이용한 BPCGH는 sGA를 이용하여 설계된 회절 효율이 가장 좋은 개체의 BPCGH를 SA 알고리즘의 초기 랜덤 패턴으로 사용하였으며, SA 알고리즘에서 사용된 매개변수들 중에서 반복 횟수는 80, 100, 120회로 변화시키고, 냉각 속도를 0.91, 0.92, 0.93으로 그리고, 목표 효율은 1로 하여 회절 효율값을 계산하였다.

표 4의 회절 효율을 보면 적용된 영상 모두에 대해서 기존의 알고리즘에 비해서 제안된 방법의 회절 효율이 향상된 것을 볼 수 있으며, 특히 명암도 영

상의 경우에서 SA 알고리즘을 적용하였을 때의 회절 효율이 73.4% 인데 제안한 알고리즘에서는 14% 가량 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

그림 7은 제안한 알고리즘을 이용해 설계된 BPCGH 및 재생 영상을 나타내었다. 제안한 알고리즘을 적용한 경우의 재생은 기존의 SA 알고리즘이나 유전 알고리즘에서 비해서 정보량이 많은 명암도 영상에 대해서 재생된 영상의 회절 효율이 상당히 향상되는 것으로 보아 복잡한 회절광학소자의 설계나 CGH를 응용하는 분야에 상당한 기여가 예상된다.

표 3. SA 알고리즘을 이용하여 설계된 BPCGH의 회절 효율

Table 3. The diffraction efficiency of BPCGH which is designed by using SA algorithm

냉각속도		적용 영상		반복 횟수		
				80	100	120
0.91	이진 영상	86.9	86.5	88.2		
	명암도 영상	69.9	72.9	72.2		
0.92	이진 영상	85.8	87.2	87.4		
	명암도 영상	68.9	73.3	73.4		
0.93	이진 영상	81.0	87.5	87.8		
	명암도 영상	64.0	71.9	73.2		
0.94	이진 영상	74.3	83.5	87.5		
	명암도 영상	52.7	67.0	71.2		
0.95	이진 영상	64.1	76.1	83.4		
	명암도 영상	42.3	54.2	65.5		

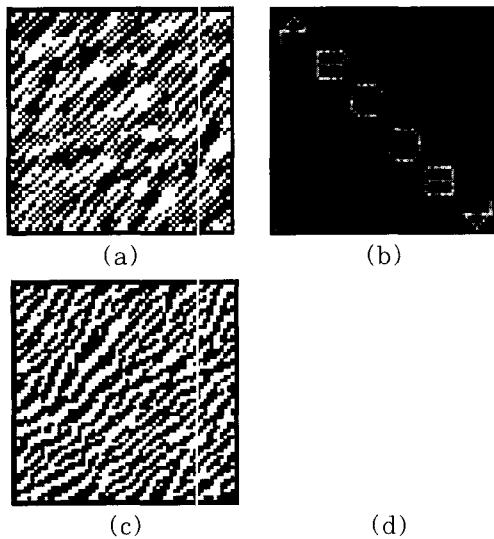


그림 6. SA 알고리즘을 이용하여 설계된 BPCGH 및 재생 영상 (a) 이진 영상의 BPCGH, (b) 그림 (a)의 역푸리에 변환에 의해 재생된 영상, (c) 명암도 영상의 BPCGH, (d) 그림 (c)의 역 푸리에 변환에 의해 재생된 영상

BPCGH, (d) 그림 (c)의 역푸리에 변환에 의해 재생된 영상

Fig. 6. BPCGHs which is designed by using SA algorithm and its reconstructed images:

(a) BPCGH of binary image, (b) reconstructed image by inverse Fourier transforming of Fig. (a), (c) BPCGH of gray image, and (d) reconstructed image by inverse Fourier transforming of Fig. (c)

표 4. 제안된 알고리즘을 이용한 이진 영상 및 명암도 영상의 회절 효율

Table 4. Diffraction efficiency of binary image and gray level image that using the proposed algorithm.

냉각속도		적용 영상		반복 횟수		
				80	100	120
0.91	이진 영상	89.1	89.3	89.3		
	명암도 영상	85.2	87.1	87.1		
0.92	이진 영상	88.1	89.4	89.6		
	명암도 영상	79.8	86.6	86.7		
0.93	이진 영상	84.9	89.4	89.4		
	명암도 영상	72.7	84.2	86.9		

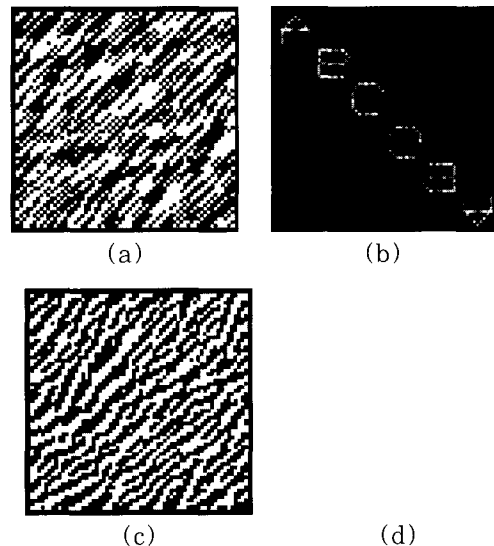


그림 7. 제안된 알고리즘을 이용하여 설계된 BPCGH 및 재생 영상 (a) 이진 영상의 BPCGH, (b) 그림 (a)의 역푸리에 변환에 의해 재생된 영상, (c) 명암도 영상의 BPCGH, (d) 그림 (c)의 역 푸리에 변환에 의해 재생된 영상

Fig. 7. BPCGHs which is designed by using the proposed algorithm and its reconstructed images: (a) BPCGH of binary image, (b) reconstructed image by inverse Fourier

transforming of Fig. (a), (c) BPCGH of gray image, and (d) reconstructed image by inverse Fourier transforming of Fig. (c)

VII. 결 론

본 연구에서는 최적의 BPCGH를 설계하기 위해서 sGA와 SA 알고리즘을 하나의 알고리즘에 통합하여 적용하였다. SA알고리즘이 초기 패턴으로 무작위로 구성된 하나의 패턴을 이용하므로 CGH를 설계할 때마다 결과 값이 상이하게 나타나는 문제가 있으며, 유전 알고리즘은 개체군을 이용하므로 초기 패턴으로 인한 문제점은 해결할 수 있지만 블록을 이용해 탐색을 하므로, 신호창 전체에 대해 면밀한 탐색이 어렵다는 단점을 가진다. 이러한 특징을 이용하여 제작 초기에는 sGA를 이용하여 대략적 탐색을 통한 BPCGH를 생성하고, 생성된 홀로그램을 SA알고리즘의 초기 랜덤 패턴으로 이용하여 초기 랜덤 패턴으로 인한 성능 차이에 대한 문제를 해결하고, 화소 단위의 면밀한 탐색을 다시 한번 수행하여 양자화 잡음을 최소화하였다.

SA알고리즘이나 유전 알고리즘은 적용 영상이 가지는 정보량이 커질수록 생성된 홀로그램의 성능이 낮아졌지만, 제안한 알고리즘은 정보량이 많아지더라도 주어진 변수들에 의한 성능 차이가 작았으며, 기존의 두 알고리즘에 비해서 향상된 회절 효율을 얻을 수 있었다. 그러므로 제안된 알고리즘은 CGH를 이용하는 여러 분야에 많은 활용이 될 것으로 예상된다.

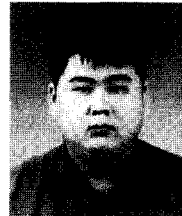
참 고 문 헌

[1] J. W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, Chapter 8, McGraw-Hill, New York, 2nd Ed., 1996.
 [2] B. R. Brown and A. W. Lohman, "Complex spatial filter with binary mask," *Appl. Opt.*, vol. 5, pp. 967-969, 1966.
 [3] S. Weissbach, F. Wyrowski and O. Bryngdahl, "Digital phase holograms; coding and quantization with an error diffusion concept," *Opt. Comm.*, vol. 72, no. 12, pp. 37-41, 1989
 [4] B. K. Jennison and A. P. Allebach, "Analysis of leakage from computer generated holograms synthesized by direct binary search," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 6, no. 2, pp. 234-243, 1989.
 [5] F. Wyrowski and O. Bryngdahl, "Iterative

Fourier transform algorithm applied to computer holography," *J. Opt. Soc. Am. A*, vol. 5, pp. 1058-1065, 1988
 [6] M. R. Feldman and C. C. Guest, "Iterative encoding of high-efficiency holograms for generation of spot arrays," *Opt. Lett.*, vol 14, no 10, pp. 479-481, 1989.
 [7] 김 동호, "변형된 SA 알고리즘을 이용한 이진위상 컴퓨터 형성 홀로그램의 합성," *경북대학교 석사학위논문*, 1993.
 [8] S. K. Pal, and P. P. Wang, *Genetic Algorithms for Pattern Recognition*, CRC press, Inc., 1996, pp. 45-60.
 [9] 기타노 히로야키편, 조성배 역, *GA의 기초이론, 공학응용 및 인공생명 유전자 알고리즘*, 대청정보시스템, 1996
 [10] 진강규 지음, *유전 알고리즘과 그 응용*, 교우사, 2000
 [11] J. S. Yoon, and N. Kim, "Optimization of Diffractive Optical Elements by Genetic Algorithm", *J. Opt. Soc. Korea*, vol. 4, no. 1, pp. 30-36, 2000

조 창 섭(Chang-Sop Cho)

준회원



2001년 2월 : 경주대학교 정보통신공학과 졸업
 2003년 2월 : 경주대학교 컴퓨터전자공학과 석사
 2003년 3월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야> 광신호처리, 광암호화

김 철 수(Cheol-Su Kim)

정회원

한국 통신학회 논문지 2002.06 v.27, n.6B, pp.638-644 참조
 현재 경주대학교 컴퓨터전자공학부 조교수

김 수 중(Soo-Jung Kim)

정회원

한국 통신학회 논문지 2002.06 v.27, n.6B, pp.638-644 참조
 현재 경북대학교 전자전기공학부 교수