

論文99-36D-7-8

## 유전 알고리즘을 적용한 광 상호연결

(Optical Interconnection Applied by Genetic Algorithm)

尹 鎮 善 \* , 金 男 \*

(Jin Seon Yoon and Nam Kim)

## 요 약

본 논문에서는 광 상호연결에 응용되기 위한 소자로서,  $5 \times 5$  스폿을 제어하기 위한 이진위상의 화소형 회절격자의 설계에 유전 연산자로서 복제, 교배, 돌연변이 연산자만을 이용한 sGA를 적용하여 그 특성을 분석하였다. 신뢰성 있고, 효율적인 기법으로 증명되고 있는 GA를 적용하기 위하여, 염색체의 크기는  $32 \times 32$ 로 하고, 이진 스트링으로 부호화하였다. 또한, 확률적 샘플링 에러를 감소시키기 위하여 순위 기법을 적용하여 복제하였고, 블록의 크기를  $16 \times 16$ 으로 하여, 단일점 교배법으로 격자를 설계하여 재생된 스폿을 얻은 결과, 돌연변이 확률을 0.001, 교배 확률을 0.75, 개체군의 크기를 300으로 할 때, 정량적으로 74.7[%]의 높은 회절효율과  $1.73 \times 10^{-1}$ 의 안정된 균일 분포를 갖는 최적 값을 얻을 수 있었다.

## Abstract

In this paper, a pixelated binary phase grating to generate  $5 \times 5$  spots is designed using simple Genetic Algorithm(sGA) composed of selection, crossover, and mutation operators, and it can be applied for the optical interconnection. So as to adapt that GA is a robust and efficient schema, a chromosome is coded as a binary integer of length  $32 \times 32$ , the ranking method for decreasing the stochastic sampling error is performed, and a single-point crossover having  $16 \times 16$  block size is used. A designed grating when the probability of mutation is 0.001, the probability of crossover is 0.75, and the population size is 300 has a 74.7[%] high diffraction efficiency and a  $1.73 \times 10^{-1}$  uniformity quantitatively.

## I. 서 론

최적화 기법으로써, 경사 감소법(steepest-descent)이나 최급상승 등반법(hill-climbing)과 같은 계산 기반(calculus-based)의 탐색은 국부 최적해에 도달하여 신뢰성이 결여된다는 단점을 지니고, 선형 계획법(linear programming: LP)과 같은 계수(enumerative) 탐색은 광범위한 탐색에 의해 전역 최적해에

도달하기는 하나, 계산 시간과 메모리 및 제한된 문제에 적용 가능하여 효율성이 결여된다는 단점을 지니고 있다.<sup>[1,2]</sup> 그러나, 유전 알고리즘(genetic algorithm: GA)은 SA(simulated annealing) 기법<sup>[3,4,5]</sup>과 함께, 확률을 삽입해서 어느 순간 다른 점으로 이동(transition)을 하는 랜덤 탐색인 동시에, 맹목적(blind) 탐색으로써, 신뢰성 있고, 효율적으로 전역 최적해에 도달하는 것으로 많은 연구에 의해 경험적으로 증명되고 있다.<sup>[1,2]</sup>

\* 正會員, 忠北大學校 情報通信工學科  
(Department of Computer & Comm. Eng., Chungbuk National University)

接受日字: 1999年1月22日, 수정완료일: 1999年6月9日

GA는 함수 최적화(De Jong, 1975), TSP (Goldberg and Lingle, 1985), VLSI 회로 설계 (Davis, 1985), 이미지 특징 추출(Gillies, 1985), 통신 네트워크 최적화(Davis and Coombs, 1987), 패

턴 인식(Stadnyk, 1987) 등 여러 분야에 걸쳐 응용되고 있다.<sup>[11]</sup> GA는 FL(fuzzy logic), NNs(neural networks), 전문가 시스템(expert system) 기술과 함께, 소프트웨어 컴퓨팅의 구성요소로서 MI(machine intelligence)를 실현하는 틀로도 이용되고 있다.<sup>[6]</sup> 특히, 적응적 탐색과 학습 및 최적화를 통한 공학적인 문제의 해결에 많이 이용되고 있으며, 그 응용 범위는 늘어나고 있는 추세이다.

위상형 격자(phase grating)는 입사되는 하나의 광원을 빛의 회절이론에 의해 다중 빔으로 분리시켜 푸리에 평면에 규칙적인 배열을 발생시키기 위한 광학소자로서 특히, 굴절 매질을 통과하는 광원의 위상지연을 이용한 형태이다. 이러한 위상형 회절 격자의 특성을 이용하여 광 상호연결이나 광컴퓨팅, 다중영상, 광패턴인식 시스템 등 여러 분야에 다양하게 응용되고 있다.<sup>[7]</sup> 이차원 위상 격자의 설계는 조합적인 최적화 문제에 해당한다. 즉, 이차원 회절격자의 한 주기가  $K \times L$  셀로 이산화되고 각 셀의 위상이 할당될 때 목표하는 공간 패턴(space pattern)과, 설계된 회절격자를 푸리에 변환하여 얻어진 재생된 패턴 사이의 에러를 최소화하는 것이다.

본 논문에서는 화소형 이진위상 회절격자의 설계시 각 셀에 요구되는 위상을 결정하도록 하는데 sGA를 적용하여, 높은 회절효율과 안정된 균일 분포를 갖는 소자를 컴퓨터 생성 홀로그램(computer generated hologram: CGH)<sup>[8,9]</sup>으로 설계하고자 한다. 본 논문의 2장에서는 컴퓨터 생성 홀로그램과 회절 격자에 대해 설명하고, 3장에서는 sGA를 이용한 화소형 회절격자의 설계에 대해 설명한다. 4장에서는 sGA를 적용한 시뮬레이션 결과에 대하여 특성을 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 컴퓨터 생성 홀로그램과 회절 격자

### 1. 컴퓨터 생성 홀로그램의 개요

대부분의 홀로그램은 코히어런트한 광의 간섭을 이용하여 만들어지나, 1960년대 중반 A. W. Lohmann이 제안한 CGH는 실제계에 사실상 존재하지 않는 물체의 영상을 생성할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서, 디지털 컴퓨터의 계산에 의해 홀로그램을 만들어 플로터나 레이저 프린터로 그려진 후 코히어런트한 광을 조명하여 슬라이드로 정보를 전달하는 많은

연구가 행해지고 있다.<sup>[7,8,9]</sup>

CGH의 제작 과정은 세 개의 부분으로 나눌 수 있다. 첫 번째 과정은 물체 평면과 홀로그램 평면 사이에 푸리에 변환 관계가 성립되므로 이를 수행하는 계산 과정으로, 수행후 결과는 크기와 위상을 갖는 복소 필드의 이산적 집합이 된다. 두 번째 과정은 홀로그램 평면에서 복소 필드의 적절한 표현의 선택 과정이다. 즉, 진폭과 위상을 직접 제어할 수 있는 구조를 만들 수 없으므로, 슬라이드에서 표현하기 적합한 형태로 부호화하는 방법을 선택하여야 한다. 세 번째 과정은 부호화된 표현을 슬라이드에 전달하는 과정이다.<sup>[7]</sup> 즉, 수학적으로 표시된 입력에 해당하는 공간 패턴에 대하여 푸리에 변환을 취하고 설계하고자 하는 형태대로 번조한 후 표본화 점에서 적절한 방법으로 부호화하여, 계산된 정보를 플로터 레이저 프린터로 그려내고 이를 축소 촬영하여 제작하게 되는 것이다.

### 2. 화소형 회절격자의 설계

연속적인 위상 분포형태를 보이도록 많은 위상 레벨을 갖는 위상형 회절격자를 사용하여 빔 배열을 발생시키면 높은 효율과 원하는 회절패턴을 자유로이 얻을 수 있다. 위상형 회절격자는 두 가지 방법으로 제작될 수 있다. 첫째는 격자 표면의 두께 변화없이 굴절률의 변화만을 이용하여 위상지연을 일으키는 경우이고, 둘째는 굴절률이 공기와 다른 격자표면의 두께를 변화시키는 양각 형태이다.

자유공간 광 상호연결이나 광 정보처리분야에 유용하게 사용될 수 있는 이진위상격자는 그림 1과 같이 화소형 회절격자의 한 주기를 각각  $K$ 와  $L$ 개의 셀로 나눈 다음, 각 셀에 0 또는  $\pi$ 의 위상값을 할당하여 구성된다. 따라서, 각 셀의 가능한 위상 값이 두 종류이므로  $K \times L$ 개의 셀들로 구성된 이진위상의 화소형 회절격자는 총  $2^{K \times L}$ 개의 경우의 수를 갖는다.<sup>[10,11,12]</sup>

컴퓨터를 이용하여 설계되는 화소형 회절격자는 위상지연 정도에 따라 간단히 수식적으로 전개될 수 있다. 회절격자의 출력은 푸리에 평면에 나타나므로, 0부터  $2\pi$  사이의 값을 갖는 각 위치의 위상지연  $\phi$ 에 따라  $\exp(i\phi)$ 로 표시하고, 이를 푸리에 변환함으로써 회절되는 빛의 분포를 구할 수 있다. 주어진 회절격자는 주기 함수이므로, 주어진 셀  $(k, l)$ 의 위상값  $\phi_{k,l}$ 에 대한 투과함수를 푸리에 변환한 회절 빔의 세기  $I(m, n)$ 를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$I(m, n) = \left| \frac{1}{KL} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \exp(i \phi_{kl}) \cdot \exp(-2\pi i [mk/K + nl/L]) \right|^2 \quad (1)$$

여기서,  $K$ 와  $L$ 은 회절격자의 한 주기에서 구분되는 화소의 수이고,  $m$ 과  $n$ 은 회절되는 빔들의 상대적인 위치를 말하며,  $k$ 와  $l$ 은 회절격자 주기에서 각 화소의 위치를 나타낸다.

그림 1에 각각의 셀이 두 가지 위상으로 표현되어 구성되는 이진위상의 화소형 회절격자를 나타내었다.

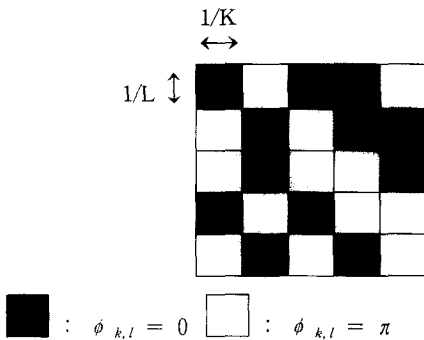


그림 1. 이진위상의 화소형 회절격자  
Fig. 1. A pixelated binary phase grating.

### III. sGA를 이용한 화소형 회절격자의 설계

#### 1. sGA

C. Darwin의 진화론을 최적화 기법에 적용한 알고리즘이 1975년 J. Holland가 체계화한 유전 알고리즘(GA)<sup>[1, 2, 3]</sup>이다. GA는 모의 진화형의 최적해 탐색 알고리즘으로써, 확률적인 알고리즘의 부류에 속해 있지만 방향성 있는 탐색과 확률 탐색의 요소를 결합하였으므로 임의의 알고리즘과는 상당히 다르다. GA는 다음의 탐색점을 설정하기 위해 현재의 탐색점에 있어서의 평가값만을 이용하기 때문에 불연속의 평가함수에도 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있는 반면 생물, 환경, 도태, 증식, 평가 등과 관련하여 많은 파라미터를 설정해야 하며 이를 설정하는 일정한 방법이 없기 때문에 경험에 기초하여 시행 착오적으로 결정해야 한다는 단점을 가지고 있다. 표 1은 GA와 기존의 최적화 방법을 비교하여 나타낸 것이다.<sup>[1, 2]</sup>

GA는 자연의 유전학으로부터 빌어 온 어휘를 그대로 사용한다. 즉, 개체군(population), 염색체(chromosome), 복제(reproduction or selection), 교배

(crossover), 돌연변이(mutation) 등이 그 일레이며, 다음과 같은 주요 요소로 구성되어 실현된다.

- ▶ 유전자적 표현방법 및 개체군의 초기화
- ▶ 적합도 평가함수
- ▶ 유전 연산자들 - 복제, 교배, 돌연변이 등
- ▶ 여러가지 매개변수 값(개체군의 크기, 유전 연산자를 적용시키는 확률 등)

sGA는 복제, 교배, 돌연변이 연산자만을 유전 연산자로서 적용한 알고리즘을 말한다. 그림 2는 sGA의 개괄도를 나타낸 것으로서, P는 개체군, t는 세대를 나타내며, 개체군을 랜덤한 값으로 초기화하여 적합함수를 이용해 평가한 후, 다음 과정을 반복한다. 즉, 선택, 교배, 돌연 변이를 순차 적용하여 연산을 한 후, 다시 평가하여 우수 개체를 선택하여 결정하는 과정을 주어진 횟수(세대 수)만큼 실행하게 된다.

표 1. GA와 기존의 최적화 방법의 비교

Table 1. Comparison of genetic algorithm and traditional methods.

특징 \ 알고리즘	GA	기존의 최적화 방법
문제의 표현 방식	스트링 (또는 코드)	수
탐색 단위	개체군	점(point)
탐색 방향	맹목적 (blind)	방향성 (directional)
천이 룰 (transition rule)	확률적 (probabilistic)	결정적 (deterministic)
결정요소	목적 함수	파생적(derivatives) 또는 보조정보

```

simple Genetic Algorithm()
begin
  t ← 0
  initialize P(t)
  evaluate P(t)
  while (not termination criterion) do
    select P(t+1) from P(t) // selection
    alter P(t+1) // crossover and mutation
    evaluate P(t+1)
    t ← t+1
  end while
end
    
```

그림 2. sGA의 개괄도  
Fig. 2. Pseudo code of a simple genetic algorithm.

2. 유전자적 표현방법 및 개체군의 초기화

주어진 문제를 유전자의 염색체 구조와 같이 해당하는 파라미터로 부호화하여야 한다. 즉, 부호화는 탐색공간의 점을 유전자적으로 표현하는 것을 말하며, 문제에서 요구하는 해의 특성에 따라 이진 스트링 또는 실수 값을 가질 수 있다. 본 논문에서는 염색체를 이진 스트링으로 부호화하였고, 염색체의 크기는 32×32로 하였으며, 초기 개체군은 랜덤하게 구성하였다. 따라서, 개체군의 크기를  $n$ 개 라고 하면, 탐색할 총 개수는  $2^{32 \times 32} \sim n \cdot 2^{32 \times 32}$ 가 되고, 개체군에 포함된 스키마의 총 개수는  $3^{32 \times 32} \sim n \cdot 3^{32 \times 32}$ 에 해당한다.

개체군의 크기는 GA의 결정에 있어 중요한 요소 중 하나로 개체군의 크기가 너무 작으면 조기 수렴 (premature convergence) [1,13] 하게 되고, 반대로 크기가 너무 큰 경우는 GA의 시간이 너무 많이 소모되는 특성을 가지고 있다. 본 논문에서는 0과  $\pi$ 로 구성되는 이진위상의 화소형 회절격자를 32×32셀의 크기를 갖도록 하고, 초기 개체군으로는 100, 200, 300, 400, 500, 600개를 랜덤하게 선택하여 각각의 경우에 대하여 결과를 분석하였다. 입력에 해당하는 공간 패턴으로는 5×5 빔 배열의 크기를 갖는 패턴을 사용하였다.

3. 적합도 평가함수

탐색공간에서의 한 점이 주어진 문제에 대해 적합한 정도를 나타내는 것이 적합도이다. 구성된 개체군이 주어진 문제에 얼마나 적합한지를 평가하고, 다음 세대에 살아남을 확률을 정하기 위해 초기 개체군을 평가 함수의 인자로 하여 문제에 대한 적합도를 구한다. 높은 적합도를 가진 개체를 선택하는 정도를 높일수록 수렴속도는 빠르지만, 찾는 해가 국부 최적해 (local minimum)일 가능성이 많고, 선택 정도를 낮추면 랜덤하게 해를 찾는 경우와 다를바 없다. 따라서, 전역 최적해를 찾는 데 있어 적절한 적합 함수의 설정은 매우 중요하다.

본 논문에서 격자의 설계 목표는 계산된 회절 빔 세기와 목표패턴의 회절 빔 세기가 일치되도록 하는 데 있다. 그러나 두 회절 빔 세기를 정확하게 일치되게 해주기 위해서는 무한한 화소수가 요구되므로 실제로는 불가능하다. 따라서, 출력 평면에서의 회절 빔 세기의 효율과 회절빔간의 균일성을 동시에 고려하기 위하여 다음과 같은 목적 함수를 사용하였다.

목적 함수(objective function)  $g(x)$ 는 목표 효율에 의한 평균과 계산된 회절빔의 세기의 차를 제공한 값과, 계산된 평균과 계산된 회절빔의 세기의 차를 제공한 값의 합으로 구성되며 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\text{Minimize } g(x) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (T_{mn}/spots - I_{mn})^2 + W \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (eff/spots - I_{mn})^2 \quad (2)$$

여기서,  $m$ 과  $n$ 은 격자의 셀 수,  $T_{mn}$ 는 출력으로 얻고 싶은 목표값,  $I_{mn}$ 은 각각의 계산된 회절빔의 세기,  $W$ 는 가중인자(weight factor),  $spots$ 는 출력으로 얻고 싶은 회절 빔의 개수,  $eff$ 는 계산된 효율값으로써, 각 스폿의 계산된 회절빔의 세기의 합 즉,  $\sum I_{mn}$ 을 나타낸다. 회절효율과 균일성을 동시에 고려한 식 (2)의 첫 번째 항이 회절효율을 나타내고, 두 번째 항이 균일성을 나타낸다. 균일성을 고려한 항목에 의한 계산값은 효율성을 고려한 항목에 의한 계산 값에 비해 상대적으로 아주 작은 값을 가지게 되므로,  $W$ 를 적절한 값으로 삽입해서 균일성을 보다 강조함으로써, 두 가지(효율성과 균일성) 항목을 균등히 고려하여 최적 값을 찾도록 설계되어야 한다. 따라서, 본 논문에서는  $W$ 는 10으로 설정하였으며,  $T_{mn}$ 는 1.0,  $m$ 과  $n$ 은 각각 32, 32로 하여 설계하였다.

본 논문에서 사용된 목적 함수  $g(x)$ 는 최소화 형태이기 때문에 최대화(maximize) 형태로 바꿔주기 위해, 선형적으로 매핑하는 작업을 거쳐 적합 함수 (fitness function)  $f(x)$ 를 나타내었다. 즉, 적합도 값이 음이 아닌 값으로 만들어진다.

$$f(x) = \begin{cases} C_{\max} - g(x) & \text{if } g(x) < C_{\max} \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3)$$

여기서,  $C_{\max}$ 는  $g(x)$ 의 최대값을 나타내며, 적합도가 음수가 될 수 있는 부분을 양수로 올려주는 기능으로 하게 된다.

4. 유전 연산자

(1) 복제 - 순위 기법 적용

복제는 어느 세대의 개체군으로부터 다음 세대의 개체군을 생성하는 단계를 말하며, 적응도가 우수한 염색체가 복제되는 적자생존의 원리를 적용한 것이다. 본 논문에서는 룰렛(roulette wheel) 방식에 의한 선

택 과정에서의 확률적 샘플링 에러(stochastic sampling error)를 감소시키기 위한 교체 복제 스키마(alternate selection schema)로써, 확률적 토너먼트 기법(stochastic tournament method) 즉, 순위 기법을 적용하였다.

순위 기법은 다음과 같이 구현된다. 첫 번째로, 각 염색체  $v_i (i=1, 2, \dots, pop\_size)$ 에 대해 평가된 적합도 값  $eval(v_i)$ 과 개체군의 적합도 값의 합  $F$ 을 이용해 각 염색체가 선택될 확률  $p_i$ 를 구한다.

$$p_i = eval(v_i)/F \quad (4)$$

두 번째로, 식 (4)를 이용해 누적 확률  $q_i$ 을 구한다.

$$q_i = \sum_{j=1}^i p_j \quad (5)$$

세 번째로, 난수  $r \in [0, 1]$ 을 발생시켜, 누적 확률  $q_i$ 를 이용해 그 난수에 해당하는 영역의 스트링을 선택한다. 즉,  $q_{i-1} < r \leq q_i (i=2, \dots, pop\_size)$ 이면,  $i$ 번째 염색체  $v_i$ 가 선택된다. 단,  $r < q_1$ 이면,  $v_1$ 이 선택된다. 이 과정을 2번 실행하여 2개의 염색체를 선택하여, 식(3)에 의해 둘 중 더 높은 적합도를 갖는 염색체를 선택함으로써 하나의 염색체가 복제된다.

네 번째로, 첫 번째에서 세 번째의 과정을 다음 세대의 개체군이 완성될 때까지 스트링 선택을 반복하여 교배저장 장소(mating pool)에 저장하게 된다.

#### (2) 교배 - 단일점 교배법

교배는 2개의 염색체를 랜덤하게 선정하여 유전자 정보를 서로 교환하여 혼합함으로써 새로운 염색체를 생성하는 단계를 말하는 것으로, 본 논문에서는 일반적인 방법으로 하나의 위치를 랜덤하게 선택하여 교배하는 단일점 교배법을 사용하였으며, 교배 연산을 실행하기 위한 블록의 크기는 각 배열의 반이 최적 크기를 바탕으로  $16 \times 16$  셀 크기를 적용하였다.

#### (3) 돌연변이

돌연변이는 모든 염색체의 각 비트 즉, 유전자(gene)를 돌연변이 확률( $p_m$ )만큼 변형시키는 단계를 말하는 것으로, 교배가 탐색영역에서 넓은 영역의 탐색이라면, 돌연변이는 좁은 영역에서의 탐색이라고 할 수 있다. 구성된 개체군의 크기만큼 난수  $r_i \in [0, 1]$  ( $i=1, 2, \dots, pop\_size$ )를 발생시켜  $r_i < p_m$ 이면, 해당 비트를 선택하여 0은 1로, 1은 0으로 반전한다. 돌연

변이의 목적은 교배 연산자만으로는 제외될 수 있는 제한된 탐색공간을 탐색하려는데 있다.

## IV. 시뮬레이션 결과 및 특성분석

개체군의 크기만큼 회절격자를 랜덤하게 초기화하고 각각에 대하여 적합도를 평가하여, 순위 기법에 의해 적합도에 비례하는 갯수 만큼의 회절격자를 복제하였다. 선택된 회절격자에 대하여 교배 확률을 적용하고 블록 크기는  $16 \times 16$ 셀을 사용하여 교배 연산을 실행한 후, 그 회절격자에 대하여 다시 돌연변이 확률을 적용해 돌연변이 연산을 실행하는 과정을 반복하였다.

sGA를 계속 적용함으로써 적합 함수는 최대화되며 이는 회절효율과 균일성이 동시에 좋아진다는 것을 의미한다. 이러한 과정을 격자의 설계에 적용하여 적은 수의 셀을 가지고도 높은 회절효율과 안정된 균일 분포를 갖는 격자를 CGH로 설계할 수 있었다. 설계된 CGH를 광학적으로 실험하기 위한 장치는 그림 3과 같이 구성될 수 있다.

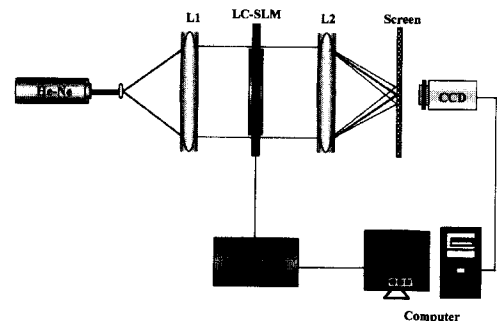


그림 3. LC-SLM을 이용한 광 상호연결 시스템 구축  
Fig. 3. System architecture for the optical interconnection using LC-SLM.

He-Ne 레이저를 사용해 빔을 입사시키고, 공간 필터와 양면블록 렌즈를 통해 평행광을 만들어 LC-SLM에 입력하고, CGH로 제작된 격자를 컴퓨터를 통해 LC-SLM에 입력하게 된다. LC-SLM에서 출력되는 빔을 양면블록 렌즈를 사용하여 푸리에 변환함으로써 출력 스폿을 CCD camera를 통해 얻을 수 있는 시스템이다.

그림 4는 설계된 격자의 패턴에 따라 출력으로의 빔 연결이 임의로 자유롭게 이루어질 수 있음을 알아보기 위해,  $5 \times 5$ ,  $3 \times 3$ , '+', '×' 모양의 스폿빔을 발생하도록 하는 이진위상의 화소형 회절격자를 설계하

여 나타낸 것이다.

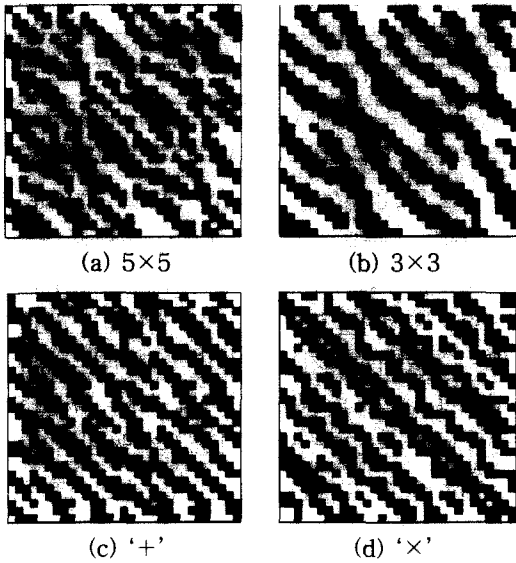


그림 4. 여러가지 모양의 빔을 발생하도록 설계된 격자들

Fig. 4. Gratings for generating various spot beams.

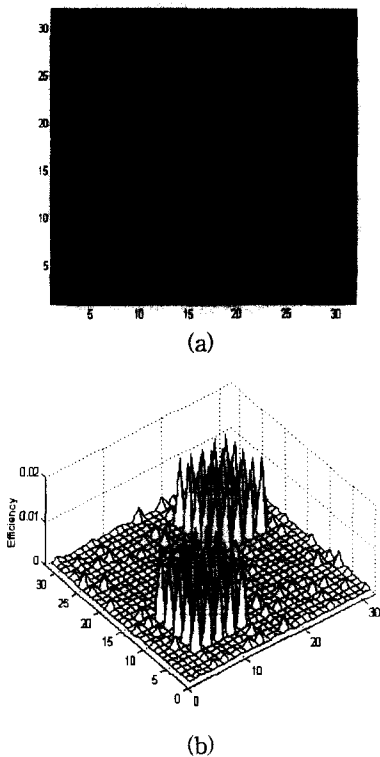


그림 5. 5x5 스포트빔 발생결과 (a) 의사 색상 그래프 (b) 그물 격자 그래프

Fig. 5. 5x5 spot beams (a) pseudocolor(b) mesh.

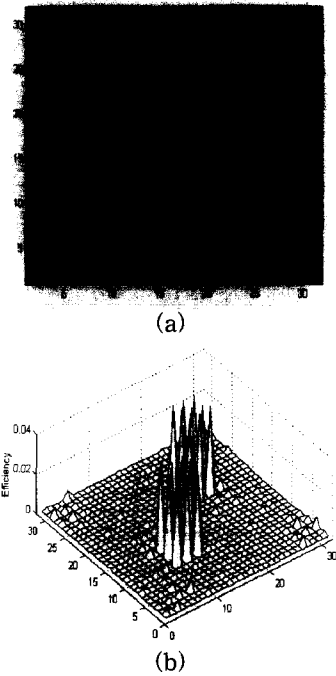


그림 6. 3x3 스포트빔 발생결과 (a) 의사 색상 그래프 (b) 그물 격자 그래프

Fig. 6. 3x3 spot beams (a) pseudocolor(b) mesh.

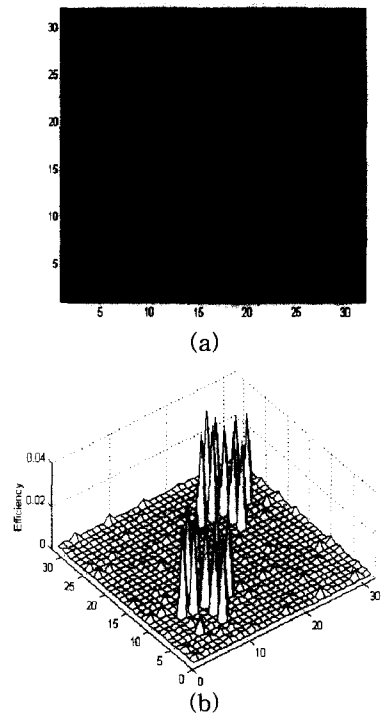


그림 7. '+' 모양의 스포트빔 발생결과 (a) 의사 색상 그래프 (b) 그물 격자 그래프

Fig. 7. '+' spot beams (a) pseudocolor(b) mesh.

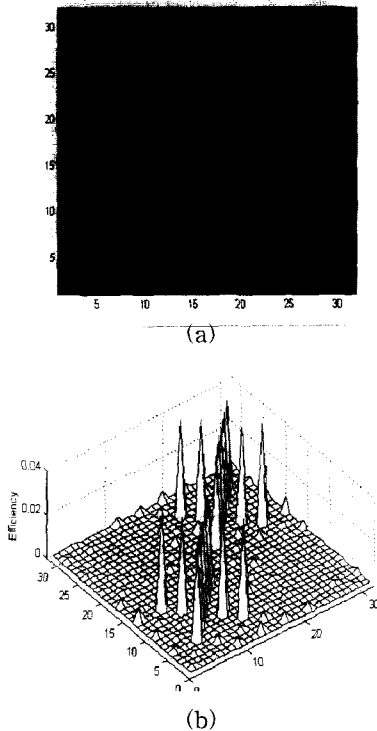


그림 8. 'x' 모양의 스폿빔 발생결과 (a) 의사 색상 그래프 (b) 그물 격자 그래프  
Fig. 8. 'x' spot beams (a) pseudocolor (b) mesh.

그림 5, 6, 7, 8은 그림 4에 나타난 설계된 회절격자를 이용하여 시뮬레이션을 통해 출력평면에 나타난 결과를 (a)는 의사 색상 그래프로, (b)는 그물 격자 그래프로 나타낸 것이다. 다음은  $5 \times 5$  스폿빔 발생 회절격자의 설계에 sGA의 여러 가지 매개변수 값을 변화시켜 그 특성을 분석한 것이다.

### 1. 교배 확률( $p_c$ )에 따른 특성분석

교배 연산자를 적용할 때 적절한 확률값이 요구되므로, 교배 확률을 0.05에서 0.95까지 0.05 또는 0.1씩

증가하여 시뮬레이션한 결과, 설계된 이진위상의 최소형 회절격자에서는 0.25 이상에서 67 [%] 이상의 회절효율과  $2.98 \times 10^{-1}$  이하의 균일 분포를 얻을 수 있었다. 교배 확률이 0.25, 개체군의 크기( $pop\_size$ )가 300일 때, 한 세대에서 교배가 일어날 기대 횟수는  $p_c \times pop\_size$ 이므로,  $0.25 \times 300 = 75$ 개가 된다.

표 2는  $p_m$ 을 0.001, 개체군의 크기를 300으로 하고, 세대(generation) 수를 800까지 실행하였을 때, 교배 확률을 변화시켜 회절효율과 균일도가 최적으로 되는 값을 측정하여 결과를 나타낸 것이다. 균일도는 출력된 패턴의 세기들 사이의 편차를 말하며,  $(I_{max} - I_{min}) / I_{avg}$ 로 계산된다.  $p_m = 0.001$ ,  $pop\_size = 300$ 일 때,  $p_c = 0.75$ 에서 74.7 [%]의 높은 회절효율과  $1.73 \times 10^{-1}$ 의 안정된 균일 분포를 갖는 최적 값을 얻을 수 있었다.

### 2. 돌연변이 확률( $p_m$ )에 따른 특성분석

돌연변이 연산자를 적용할 때 적절한 확률값이 요구되는데, 돌연변이 확률을 0.0005에서 0.004까지 0.0005씩 증가하여 시뮬레이션한 결과, 설계된 격자에서는 0.001에서 74.4 [%]의 가장 좋은 회절효율을 얻을 수 있었다. 염색체의 크기( $m$ )가  $32 \times 32$ , 돌연변이 확률이 0.001, 개체군의 크기가 300일 때, 한 세대에서 돌연변이가 일어날 기대치는  $m \times p_m \times pop\_size$ 이므로,  $32 \times 32 \times 0.001 \times 300 = 307.2$  [bits]가 된다. 그림 9는 개체군의 크기를 300으로 고정하고, 세대 수를 각각 250, 350, 450으로 할 때, 돌연변이 확률에 따른 회절효율을 측정한 결과이다. 돌연변이 확률이 너무 높을 경우에는 효율도 떨어질 뿐만 아니라 염색체의 본래 형질을 변형시키게 되는 경우가 많아 원하는 최적값을 찾기가 어렵게 됨을 알 수 있고, 250, 350, 450 세대를 측정하더라도 모두 돌연변이 확률이

$p_c$ [%]	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95
세대 수	800	800	800	800	800	800	800	700	600	700	800	600	700
회절효율[%]	32.8	53.3	60.8	65.2	67.0	70.9	75.6	68.5	72.4	74.2	74.7	72.2	73.0
균일도	0.932	0.443	0.304	0.492	0.298	0.220	0.250	0.283	0.274	0.212	0.173	0.207	0.238

표 2.  $p_m = 0.001$ ,  $pop\_size = 300$ 일 때, 교배 확률에 따라 최적으로 출력된 회절효율과 균일도

Table 2. Optimal diffraction efficiency and uniformity on the probability of crossover when  $p_m$  is 0.001 and  $pop\_size$  is 300.

0.001일 때가 가장 좋음을 알 수 있다.

표 3은  $p_c$  를 1.0, 개체군의 크기를 100, 200, 300, 400, 500, 600로 하고, 돌연변이 확률을 변화시켰을 때, 최적 값이 출력되는  $pop\_size$  에 대한 회절효율과 균일도를 나타낸 것이다.  $p_c=1.0$  일 때,  $p_m=0.001$ ,  $pop\_size=300$ 에서 74.4 [%] 의 높은 회절효율과  $1.61 \times 10^{-1}$ 의 안정된 균일 분포를 갖는 최적 값을 얻을 수 있었다.

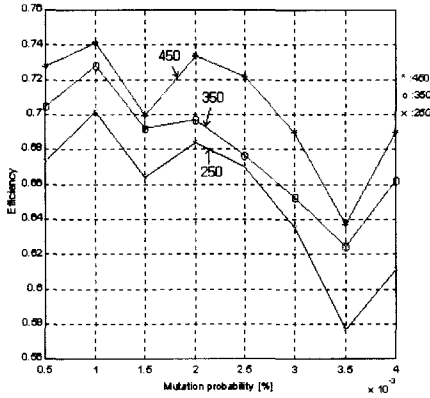


그림 9.  $pop\_size=300$ 이고, 세대 수=250, 350, 450일 때 돌연변이 확률에 따른 회절효율의 측정

Fig. 9. Diffraction efficiency on the probability of mutation when  $pop\_size$  is 300 and the generation is 250, 350, 450, respectively.

표 3.  $p_c=1.0$ ,  $pop\_size=100, 200, 300, 400, 500, 600$ 일 때, 돌연변이 확률에 따라 최적으로 출력된 회절효율과 균일도

Table 3. Optimal diffraction efficiency and uniformity on the probability of mutation when  $p_c$  is 1.0 and  $pop\_size$  is 100, 200, 300, 400, 500, 600, respectively.

$p_m$ [%]	0.0005	0.001	0.0015	0.002
$pop\_size$	500	300	600	600
회절효율 [%]	72.8	74.4	73.3	71.1
균일도	0.168	0.161	0.274	0.237

$p_m$ [%]	0.0025	0.003	0.0035	0.004
$pop\_size$	600	600	600	500
회절효율 [%]	73.9	72.1	65.5	64.4
균일도	0.340	0.339	0.624	0.487

### 3. 개체군의 크기( $pop\_size$ )에 따른 특성분석

그림 10은  $p_m$ 을 0.001,  $p_c$ 을 1.0로 고정하고, 개체군의 크기가 100, 200, 300, 400, 500, 600일 때 설계된 격자에 대한 회절효율을 측정된 결과이다. 개체군의 크기가 100 이하로 너무 적을 때는 원하는 최적 값을 찾을 수 없었고, 200 이상으로 설정하게 되면 최적값에 수렴할 수 있으나, 500 이상으로 너무 클 때에는 시간이 너무 많이 소모되었다. 그림에서 알 수 있듯이, 개체군의 크기는 300으로 하고, 400 세대를 연산하면, 74 [%] 이상의 최적 효율값을 얻을 수 있었다.

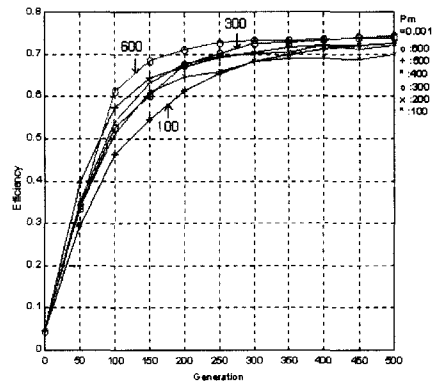


그림 10.  $p_m=0.001$ ,  $p_c=1.0$ ,  $pop\_size=100, 200, 300, 400, 500, 600$ 일 때, 세대에 따른 회절효율의 측정

Fig. 10. Diffraction efficiency on the generation when  $p_m$  is 0.001,  $p_c$  is 1.0, and  $pop\_size$  is 100, 200, 300, 400, 500, 600, respectively.

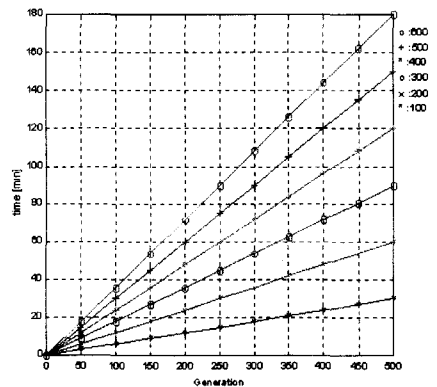


그림 11.  $pop\_size=100, 200, 300, 400, 500, 600$  일 때, 도달하는 시간을 측정

Fig. 11. Consuming time on the generation when  $pop\_size$  is 100, 200, 300, 400, 500, 600, respectively.



그림 11은 그림 10의 격자를 설계함에 있어, 각각의 세대에 도달하는 시간을 측정한 결과로서, 시뮬레이션으로 목표하는 격자를 설계하는데 소요되는 시간을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 개체군의 크기가 정수 배로 증가함에 따라, 도달하는 시간이 선형적으로 증가한다.

## V. 결 론

본 논문에서는  $5 \times 5$ 의 스폿을 제어하기 위한 이진 위상의 화소형 회절격자의 설계에 sGA를 적용하여 파라미터의 변화에 따른 특성을 분석하였고,  $5 \times 5$ ,  $3 \times 3$ , '+', '×' 모양의 빔을 발생하는 격자를 설계함으로써, 설계된 패턴에 따라 출력으로의 빔 연결이 임의로 자유롭게 이루어질 수 있음을 알아보았다.

각각 일정한 돌연변이 확률을 적용하여, 목표하는 패턴을 얻는데 교배 확률이 미치는 영향을 알아본 결과, 교배 확률 0.25 이상에서 67 [%] 이상의 회절효율과  $2.98 \times 10^{-1}$  이하의 균일 분포를 얻었고, 특히 돌연변이 확률이 0.001, 개체군의 크기가 300일 때, 교배 확률 0.75에서 74.7 [%]의 높은 회절효율과  $1.73 \times 10^{-1}$ 의 안정된 균일 분포를 갖는 격자를 얻을 수 있었다.

돌연변이 연산자를 적용할 때 요구되는 확률이 목표하는 패턴을 얻는데 미치는 영향을 분석한 결과, 교배 확률이 1.0, 개체군의 크기가 300일 때, 돌연변이 확률 0.001에서 74.4 [%]의 높은 회절효율과  $1.61 \times 10^{-1}$ 의 안정된 균일 분포를 갖는 격자를 얻을 수 있었다.

또한, 이진위상의 화소형 회절격자의 설계에 있어서 개체군의 크기에 따른 특성을 분석한 결과, 돌연변이 확률이 0.001, 교배 확률이 1.0일 때, 개체군의 크기는 300으로 하고, 400 세대를 연산하면, 74 [%] 이상의 최적 효율값을 얻을 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] D. E. Goldberg, Genetic algorithms in search optimization and machine learning, Addison-Wesley, 1989.
- [2] Z. Michalewicz, Genetic algorithms + data structures = evolution programs, Springer-Verlag, 1992.
- [3] L. Davis, Genetic algorithms and simulated annealing, Morgan Kaufmann, pp. 8-11, 1987.
- [4] J. S. Yeun, Y. S. Lee, N. Kim, S. H. Kim, J. U. Um, and R. S. Kim, "Multi Phase Only Filter Design by Simulated Annealing Algorithm in Similar Pattern Recognition," Opt. for Science and New Tech., SPIE, vol. 2778, pp. 535-536, 1996.
- [5] 윤진선, 이연선, 김남, 엄주욱, 박한규, "SA-MPOF의 유사 및 회절불변 광패턴인식 특성," 한국통신학회 논문지, vol. 21, no. 4, pp. 855-868, 1996
- [6] L. H. Tsoukalas and R. E. Uhrig, Fuzzy and neural approaches in engineering, Wiley-Interscience, pp. 539-557, 1997.
- [7] J. W. Goodman, Introduction to Fourier optics, McGraw-Hill, pp. 351-363, 1996.
- [8] M. Li, A. Larsson, N. Eriksson, and M. Hagberg, "Continuous-level phase-only computer-generated hologram realized by dislocated binary gratings," Opt. Lett., vol. 21, no. 18, pp. 1516-1518, 1996.
- [9] H. H. Suh, C. H. Kwak, and E. H. Lee, "Combined binary-phase holograms for free-space optical interconnection," Opt. Lett., vol. 20, no. 20, pp. 2131-2133, 1995.
- [10] D. J. Lee, N. Kim, S. H. Song, and H. H. Suh, "Optical routing system consisted of spatial-light-modulator and kinoform phase gratings," Diffractive and Holographic Opt. Tech. III, SPIE, vol. 2689, pp. 300-304, 1996.
- [11] D. J. Lee, N. Kim, H. H. Suh, and E. H. Lee, "Dynamic Optical Interconnection in Free-Space Switching System," Opt. Review, vol. 3, no. 6B, pp. 475-477, 1996.
- [12] 이득주, 김남, 이권연, 은재정, "광영상 발생을 위한 화소형 위상격자의 설계 및 제작," 대한전자공학회 논문지, vol. 33(A), no. 5, pp. 860-869, 1996
- [13] L. J. Eshelman and J. D. Schaffer, "Preventing premature convergence in genetic algorithms by prevention," Proc. of the Fourth Int. Conf. on Genetic Algorithms, pp. 115-122, 1991.

- [ 14 ] N. Yoshikawa, M. Itoh, and T. Yatagai, "Quantized phase optimization of two-dimensional Fourier kinoform by a genetic algorithm," *Opt. Lett.*, vol. 20, no. 7, pp. 752-754, 1995.
- [ 15 ] 신철규, 이상민, 이은실, 권장우, 장영전, 홍승홍, "신경회로망과 유전알고리즘을 이용한 근전신호 인식기법," *전자공학회논문지*, vol. 35(S), no. 11, pp. 176-183, 1998.
- [ 16 ] 신성효, 김상운, "종족 유전 알고리즘을 이용한 MLP 분류기의 구조학습," *전자공학회논문지*, vol. 35(C), no. 2, pp. 48-55, 1998.

---

 저 자 소 개
 

---

尹 鎮 善(正會員) 第 34卷 D編 第 6號 參照

金 男(正會員) 第 33卷 A編 第 3號 參照