

論文2000-37SD-9-6

GA 학습기법을 적용한 실시간 복합 광 연결의 실현

(Realization of the Real-time Hybrid Optical Interconnection Using a Genetic Algorithm)

尹鎭善*, 金 男*
(Jin Seon Yoon and Nam Kim)

요 약

본 논문에서는 신뢰성이 높고, 효율적으로 최적해에 도달하는 GA 학습기법을 광 연결에 응용하기 위한 소자 설계에 적용하였다. 실시간에 가까운 광 신호 처리를 위해 프로그래머블 SLM에 CGH 공간 필터를 입력하여 복합 광 신호 처리 시스템을 구성하여 실험하였다. 광학 실험에 의해 실제로 CCD 배열 검출기에서 얻어진 스폿 빔을 정량적인 데이터로 측정하기 위해 기하학적인 변형을 수행한 결과, 3×3 스폿 빔에 대하여 그레이 레벨로서 스폿 빔들의 평균이 202, 최대값이 225, 최소값이 186으로 얻어졌고, 균일도가 1.93×10^{-1} 로서 시뮬레이션 결과와 유사하게 안정된 분포로 출력되었다.

Abstract

In this paper, a grating to apply for the optical interconnection is designed using a Genetic Algorithm(GA) as a robust and an efficient schema. A hybrid optical interconnection system architecture is implemented by the liquid crystal panel as a programmable spatial light modulator. As the result of geometrical transformation to obtain the quantitative data for 3×3 spot beams at CCD array detector by optical experiment truthfully, the mean of beam intensity as a gray level is 202, the maximum value is 225, the minimum value is 186, and a uniformity is quantitatively 1.93×10^{-1} similar to simulation result.

I. 서 론

공간 광 변조기(spatial light modulator: SLM)는 진폭, 세기, 위상, 편광 등의 광 파면의 특성을 변조할 수 있는 전자광학(electro-optic) 장치이다.^[1,2] 오늘날 SLM의 발전과 더불어 실시간에 가까운 복합 광 신호 처리(near-real-time hybrid optical signal processing)가 가능하게 되어, 전광 처리(purely optical processor)가 갖는 결점 즉, 첫째, 프로그램하

는데 어려움 둘째, 아날로그이므로 성취되기 어려운 모드의 정확성 셋째, 스스로 결정을 내리는데(decision-making) 사용될 수 없음 등을 보완할 수 있게 되었다. 즉, 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 시스템을 광학적 요소와 전자적 요소를 복합해서 구성함으로써 실시간에 가까운 복합 광 신호 처리가 실현될 수 있다.

위상형 회절 격자(phase diffraction grating)는 높은 회절 효율과 설계의 융통성과 같은 잇점으로 인하여 광 정보처리, 광 상호연결, 공간 필터링 등에서 다양하게 응용되고 있다.^[1,2] 이차원 위상형 회절 격자의 설계는 한 주기가 $K \times L$ 개의 셀로 이산화되고 각 셀의 위상 값을 목표하는 공간 패턴(space pattern)과 회절격자를 푸리에 변환하여 얻어진 재생된 패턴 사이

* 正會員, 忠北大學校 工科大學 電氣電子工學部
(School of Electrical & Electronics Eng.,
Chungbuk Nat'l Univ.)

接受日字:1999年8月19日, 수정완료일:2000年7月29日

의 에러를 최소화 하도록 할당하는 최적화 문제에 해당한다.

최적화 기법으로써 경사 감소법이나 최급상승 등반법과 같은 결정론적 계산 기반(calculus-based)의 탐색은 특정 설계영역에 한정하여 매우 큰 효율성을 보이는 단점이 있으며, 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 효율성 자체가 매우 낮다는 단점을 지니고 있다.^[3,4] 그러나, 유전 알고리즘(genetic algorithm: GA)^[3,4,5]이나 SA(simulated annealing) 기법^[5,6,7]과 같은 랜덤 탐색은 설계영역 전반에 걸쳐 매우 높은 신뢰성과 효율성을 보여주는 것으로 많은 연구에 의해 경험적으로 증명되고 있다.

공학분야에서는 1983년 D. E. Goldberg에 의해 가스 송수관에 대한 최적설계가 최초로 GA에 의해 시도된 이래 많은 발전이 있었다. 또한, 1985년부터는 2년마다 GA에 관련된 논문의 정기 국제 발표회(ICGA: The International Conference on Genetic Algorithms)가 열리고 있고, ICGA와 GP(The Genetic Programming Conference)가 결합된 GECCO(The Genetic and Evolutionary Computation Conference)가 1999년 7월에 열릴 만큼 여러 분야에서 활발한 연구가 진행 중에 있다.

컴퓨터 생성 홀로그램(computer generated hologram: CGH)^[8,9]는 실세계에 사실상 존재하지 않는 물체의 영상을 생성할 수 있다는 장점을 지닌다. CGH를 최적화하거나 양자화 또는 재생 잡음을 감소시키는 방법으로 DBS(direct binary search)^[10], SA, ANN(artificial neural network)과 같은 몇가지 기법들이 제안되고 이용되어 왔다.

본 논문에서는 화소형 이진위상 회절격자의 설계시 이산화한 각 셀에 요구되는 위상 값을 결정하도록 하는데 GA 학습기법을 적용하여, 높은 회절효율과 안정된 균일 분포를 갖는 소자를 CGH로 설계하여 프로그래머블 SLM에 디스플레이 시켜 복합 광 신호처리 시스템을 실험하고자 한다. 본 논문의 2장에서는 SLM과 회절 격자에 대하여 논하고, 3장에서는 GA 학습기법을 이용한 격자의 설계에 대해 설명한다. 4장에서는 GA 학습기법을 적용하여 광 연결을 실험한 결과에 대하여 고찰하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 공간 광 변조기(SLM)과 회절 격자

1. SLM

전자광학(electro-optic) 시스템의 중요 요소로 사용되는 SLM은 특히, 광 신호처리와 광 컴퓨팅에서 실시간으로 변형 가능한 입력변환기, 신호변환기, 공간 필터 등으로 사용된다. SLM에서의 입력정보는 전기 신호 또는 광신호가 될 수 있으므로, 전기적으로 기록되는 SLM과 광학적으로 기록되는 SLM으로 분류된다.^[1,2] 광 파면이 전기적 조작에 의해 각각 독립된 화소로 변조되는 화소형 구조인 전기적 SLM은 전자광학 시스템에서 전자 장치와 인터페이스할 수 있다는 장점이 있고, 화소형 구조로 인한 다중 회절 패턴들로 인해 효율이 낮다는 단점을 가진다. 반면, 연속(continuous) 구조인 광 SLM은 어떤 한 빔을 다른 빔으로 변조할 수 있다는 장점이 있으나 제조 가격이 비싸다는 단점을 가진다.

특히, 전기적 SLM에 속하는 LCTV(liquid crystal television)는 광학적 특성이 뛰어나지는 않지만, 다른 SLM 기술에 비해 가격이 현저하게 저렴하므로 기본적인 실험에 주로 이용되고 있다. LCTV는 초기에 포켓 텔레비전으로 만들어졌으나, 적절한 변형으로 상업적으로 유용한 전기적으로 주소를 부여할 수 있는 SLM으로 이용될 수 있게 되었다.

SLM으로 변형된 LCTV의 기본 구조는 그림 1의 (a)와 같고, 동작은 그림 1의 (b)와 같이 이루어진다. LCTV 스크린의 각각의 액정 셀은 90° 비틀어진 네 마트릭 액정으로 제작되며, 전기 신호에 의해 독립적으로 제어된다. 그림 1 (b)의 왼쪽과 같이 전계가 가해지지 않을 때는 선형적으로 편광된 빛에 대해 편광 평면은 비틀어진 액정 분자들에 의해 90° 회전하므로, 검광기를 통해 빛은 전달되지 않는다. 그러나, 전계가 가해질 때는 액정 분자들의 꼬임과 기울기가 바뀌게 되고, 액정 분자들은 전계와 평행하게 정렬되어 검광기를 통해 빛이 부분적으로 전달된다. 전계가 더욱더 증가함에 따라 그림 1 (b)의 오른쪽과 같이 모든 액정 분자들이 가해진 전계의 방향으로 정렬되고 기울어진 분자들은 편광 평면에 영향을 받지 않으므로, 검광기를 통해 모든 빛이 통과하게 된다. 즉, 액정의 각 셀에 가해지는 전압을 변화시키는 것은 빛의 투과율을 변화시킴을 의미하게 되므로, 입력 신호에 따라 각 셀의 전압을 변화시킴으로써 공간적인 광 변조가 이루어

질 수 있게 된다.

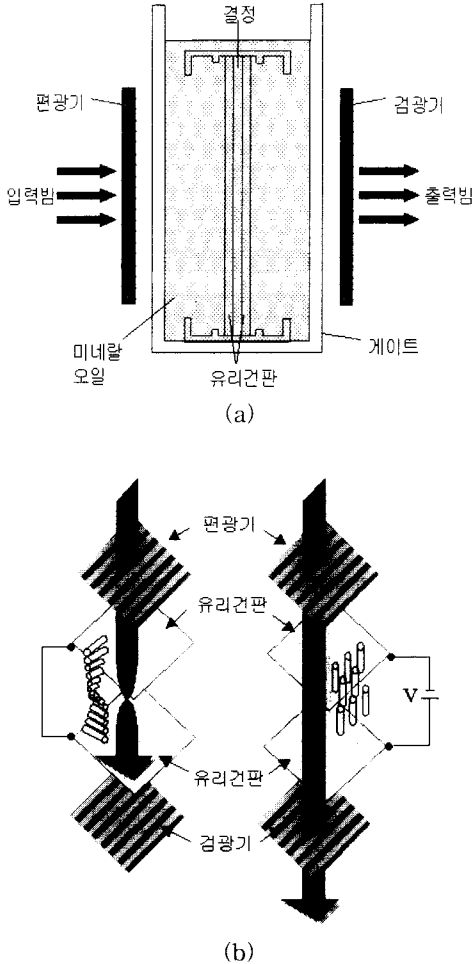


그림 1. SLM으로서의 LCTV (a) 구조 (b) 기본적인 동작 원리

Fig. 1. A LCTV as a SLM. (a) Structure (b) Basic operation.

본 논문에서는 실시간에 가까운 복합 광 신호 처리를 위해 CGH 공간 필터가 푸리에 변환 렌즈의 후방 초점면에 LCTV에 의해 생성되는 광학 시스템을 구성하여 실험하였다. 이 구성에서, 충분한 공간 대역폭 곱(space bandwidth product: SBWP)과 해상도로 SLM이 CGH 공간 필터의 디스플레이를 위해 사용된다면, 프로그래머블 복합 광 신호 처리가 실현될 수 있게 되는 것이다.

2. 화소형 회절격자의 설계

회절격자는 회절개구나 장애물이 주기적으로 배열되어 출력 빔의 위상이나 진폭, 또는 위상과 진폭 모두

에서 주기적인 변화를 일으키는 소자로서, 광학적인 두께 또는 굴절률이 규칙적으로 변화되는 위상형 회절격자와 진폭 투과율이 변화되는 진폭형 회절격자로 분류되는데 특히, 연속적인 위상 분포형태를 보이도록 많은 위상 레벨을 갖는 위상형 회절격자를 사용하여 빔 배열을 발생시키면 높은 효율과 원하는 회절 스폿빔을 자유로이 얻을 수 있다.^[1,2]

본 논문에서는 자유공간 광 연결이나 광 정보처리분야에 유용하게 사용될 수 있는 이진위상격자를 모델링하기 위한 방법으로, 화소형(cell-based) 제작 방법을 사용하였다. 회절격자의 한 주기를 각각 K 와 L 개의 셀로 나눈 다음, 각 셀에 0 또는 π 의 위상값을 할당하여 구성된다. 따라서, $K \times L$ 개의 셀들로 구성된 이진위상의 화소형 회절격자는 총 $2^{K \times L}$ 개의 경우의 수를 갖는다. '0' 또는 '255'의 두 그레이 값으로 표현된 격자의 상태에 따라 전기 신호는 프로그래머블 SLM의 각 셀들을 'on' 또는 'off'시키게 된다.^[12,13,14]

컴퓨터를 이용하여 설계되는 화소형 회절격자는 위상지연 정도에 따라 간단히 수식적으로 전개될 수 있다. 회절격자의 출력은 푸리에 평면에 나타나므로, 0부터 2π 사이의 값을 갖는 각 위치의 위상지연 ϕ 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.

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

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.^[12,13,14]

III. GA 학습기법을 이용한 격자의 설계

1. GA 학습기법

GA^[3,4,5]는 자연세계의 진화현상에 기초한 계산 모델로서 J. Holland와 그의 연구진들에 의해 1975년 체계화된 탐색 알고리즘이며, 크게 세가지 분야에서 발전이 되어 왔다. GA 자체의 순수 개선에 관한 연

구, GA를 이용한 최적화에 관한 연구, 그리고 분류기 시스템을 이용한 기계 학습에 대한 연구가 근간이다. 본 논문은 GA를 이용한 최적화에 관한 연구로서, 학습기법을 구현하기 위해 풀고자하는 문제에 대한 가능해들을 정해진 형태의 자료구조로 표현한 다음, 이들을 점차적으로 변형함으로써 점점 더 좋은 해들을 만들어 내게 된다.

GA는 확률적인 알고리즘의 부류에 속해 있지만 방향성 있는 탐색과 확률 탐색의 요소를 결합하였으므로 기존의 최적화 기법과는 상당히 다르다. 첫째, 매개변수 그 자체를 사용하는 것이 아니라 매개변수 집합을 부호화(coding)해서 사용하며, 둘째, 탐색공간에서 점(point)이 아닌 점들의 집합에 기반한 탐색방법으로써, 단지 적합 함수 정보만을 사용한다. 셋째, 결정론적 천이규칙(deterministic transition rule)이 아닌 확률론적 규칙을 사용한다. 따라서, 미분가능성이나 연속성과 같은 최적화 함수 정보를 필요로 하지 않을 뿐만 아니라 병렬 탐색으로 인해 다수의 봉우리(multimodal)로 이루어진 탐색공간에서 전역 최적해를 찾을 가능성이 매우 높은 것으로 알려져 있다.^[3,4,5] 또한, 이와 같은 특징이 여러 형태의 공학 최적설계 문제들에 대해 매우 큰 범용성을 지니게 하는 주 요인으로 작용하는 것이다.

2. GA의 전체 학습 과정

GA를 이용한 학습 과정은 다음과 같이 이루어졌다. 개체군(population)의 크기만큼 회절격자를 랜덤하게 초기화하고 각각에 대하여 적합도를 평가하여,

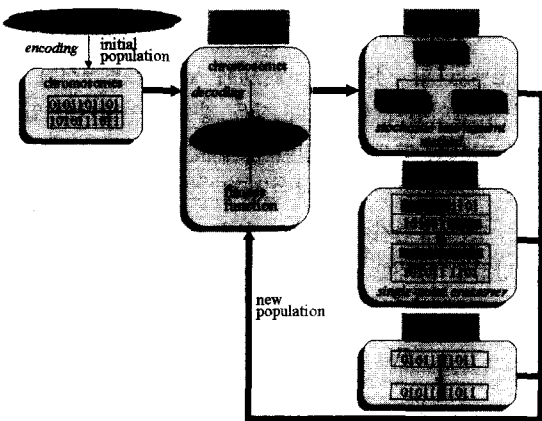


그림 2. GA 학습기법의 블록도
Fig. 2. Block diagram of genetic algorithm.

확률적 토너먼트 선택 기법(stochastic tournament selection method)에 의해 적합도에 비례하는 개수만큼의 회절격자를 복제(reproduction or selection)하였다. 선택된 회절격자에 대하여 교배(crossover) 확률을 적용하고 블록 크기는 16×16셀을 사용하여 단일점 교배법에 의해 교배 연산을 실행한 후, 그 회절격자에 대하여 다시 돌연변이(mutation) 확률을 적용해 점프 돌연변이 연산을 실행하는 과정을 주어진 세대 수 만큼 반복하였다. 이 과정을 그림 2에 블록 다이어그램으로 나타내었다.

3. GA의 주요 구성요소

(1) 부호화 및 개체군의 초기화

설계변수의 값을 표현하기 위한 염색체(chromosome)로서 0과 1의 이진 벡터를 사용하여 문자열 형태로 구성함으로써 마치 염색체에 유전인자가 나열되어 있는 것과 같은 형태를 갖추기 때문에 교배와 돌연변이에 대한 처리가 가능하게 되며, 결국 이와 같은 문자열은 개체군을 이루는 하나의 개체이자 설계공간 내의 설계 점들로 작용한다. 여기서, 문자열의 길이는 요구되는 정밀도에 따라 달라질 수 있다. 먼저 설계변수의 하한값과 상한값 내의 가능 해집합을 이진 벡터로의 부호화 작업을 통해 요구되는 수 만큼의 문자열 즉, 염색체들로 이루어진 개체군을 랜덤하게 생성하여 초기 개체군을 구성하게 된다.

모든 설계변수의 가능해 영역을 이산적으로 처리하기 때문에, 그 영역이 너무 작으면 조기 수렴^[3,4,11]하게 되고, 반대로 그 영역을 자르면 자를수록 이에 상응하는 정밀해를 얻게 되지만, 그 만큼의 소요 시간은 증가하게 된다. 본 논문에서는 0과 π 로 구성되는 이진 위상의 축소형 회절격자를 32×32 개의 셀 크기를 갖도록 하였다.

(2) 적합 함수 정식화

GA 탐색은 단순히 목적 함수(objective function)의 적합도 정보만을 요하기 때문에 적합 함수(fitness function)의 형식으로서의 전환이 반드시 필요하다. 전역 최적해를 찾는 데 있어 적절한 적합 함수의 설정은 매우 중요하다. 즉, 높은 적합도를 가진 개체를 선택하는 정도를 높일수록 수렴속도는 빠르지만, 찾는 해가 국부 최적해일 가능성이 많고, 선택 정도를 낮추면 랜덤하게 해를 찾는 경우와 다를 바 없다.

본 논문에서 목적 함수 $g(x)$ 는 목표 효율에 의한

평균과 계산된 회절 빔의 세기의 차를 제공한 값과, 계산된 평균과 계산된 회절 빔의 세기의 차를 제공한 값의 합으로 구성된다. 요구되는 적합 함수 $f(x)$ 를 얻기 위해 목적 함수를 최대화 문제로 재정식화하게 되며 다음과 같이 표현된다.

Maximize

$$f(x) = C_{\max} - g(x) \\ = C_{\max} - \left\{ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (T_{mn}/spots - I_{mn})^2 + W \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (eff/spots - I_{mn})^2 \right\} \quad (2)$$

여기서, C_{\max} 는 적합도 값이 음이 아닌 값으로 출력되도록 하는 $g(x)$ 의 최대값이다. m 과 n 은 격자의 셀 수, T_{mn} 는 목표값, I_{mn} 은 각각의 계산된 회절 빔의 세기, W 는 가중인자, $spots$ 는 회절 빔의 개수, eff 는 계산된 효율값 즉, I_{mn} 의 합을 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 항목을 균등히 고려하여 최적 값을 찾아야 하므로, W 는 10으로 설정하였으며, T_{mn} 는 1.0, m 과 n 은 각각 32, 32로 하여 설계하였다.

(3) 유전 알고리즘 연산자

① 복제

탐색과정으로 접어들면, 유전 연산자들(복제, 교배, 돌연변이)과 GA의 핵심인 스키마 정리(schema theorem)에 의거하여 세대 수의 증가에 따라 적합도가 높은 개체들이 더 많이 복제되면서 좋은 방향으로 갱신되어진다.

복제는 어느 세대의 개체군으로부터 다음 세대의 개체군을 생성하는 과정을 말하며, 적합도가 높은 개체일수록 다음 세대에 더 많은 자손을 가질 확률이 높게 되는 자연원리를 구현하게 된다. 이를 위한 개체 선택 도구로써는 룰렛 휠 선택(roulette wheel selection)과 토너먼트 선택, 비례선택(proportional selection), 확률적 토너먼트 선택 등이 있다. 본 논문에서는 룰렛 휠 방식에 의한 선택 과정에서의 확률적 샘플링 에러(stochastic sampling error)를 감소시키기 위해서 확률적 토너먼트 선택 기법을 적용하였다. 즉, 룰렛 게임에 의해 두 개의 염색체를 선택하고, 둘 중 더 높은 적합도를 갖는 염색체를 선택함으로써 하나의 염색체

가 복제된다. 이 과정을 다음 세대의 개체군이 완성될 때까지 스트링 선택을 반복하게 된다.

② 교배

상기의 복제 연산은 탐색 방향을 적합도가 높은 개체 쪽으로 향하게 하지만 새로운 개체를 생성하지는 못한다. 자연계에서 자손은 부모 세대로부터 유전자(gene)를 이어받으면서도 부모와는 전혀 다른 형질을 가지듯이 GA에서 이 과정을 묘사한 것이 교배연산이다. 현 세대에서 랜덤하게 두 개의 염색체를 선택한 후, 난수 $r \in [0, 1]$ 이 매개변수로 작용하는 교배 확률보다 작으면 교배위치 s 를 문자열 내에서 랜덤하게 선택하고 s 이후의 문자열을 교환하는 것으로 교배가 이루어진다. 본 논문에서는 단일점 교배법을 사용하였으며, 교배 연산을 실행하기 위한 블록의 크기는 각 배열의 반이 최적 크기임을 바탕으로 16×16 셀 크기를 적용하였다.

③ 돌연변이

복제와 교배 연산은 개체들이 현재 가지고 있는 정보들을 이용해서 결합하고 탐색하는 것에 대해 돌연변이 연산은 현재 개체군에 존재하지 않는 새로운 정보를 제공해 줄 수도 있고, 과거에 잃어버렸던 중요한 정보를 되찾을 수도 있으며, 탐색의 방향이 국부 최적해로 향할 경우 여기서 벗어날 수 있는 가능성을 부여할 수도 있다.

본 논문에서는 점프 돌연변이를 적용하였다. 점프 돌연변이는 모든 염색체의 각 비트 즉, 유전자에 대해 난수 $r_i \in [0, 1]$ 을 발생시키면서 돌연변이 확률보다 작은 난수가 발생된 비트들 모두에 대해 0은 1로, 1은 0으로 간단히 바꿈으로써 돌연변이를 일으키는 기법이다. 기존의 고전적인 돌연변이는 개체 내에서 랜덤하게 선택된 한 개의 비트에 대해 난수를 발생시켜 그 난수가 돌연변이 확률보다 작을 경우 돌연변이를 일으키게 되므로 염색체의 길이가 매우 긴 경우에는 그 효과 매우 미약할 수밖에 없었다. 그러나, 점프 돌연변이는 모든 유전자에 대해 난수를 생성시킴으로써 그러한 단점을 극복할 수 있었다.

IV. 실험 및 결과 고찰

1. 실험 데이터 및 실험 방법

설계된 격자의 패턴에 따라 출력으로의 빔 연결이 임의로 자유롭게 이루어질 수 있음을 알아보기 위해,

5×5, 3×3, '+', '×' 모양의 스폿 빔을 발생하도록 하는 이진위상의 화소형 회절격자를 설계하였으며, GA의 유전연산 매개변수 값을 변화시켜 그 특성을 분석하였다. 각각의 패턴에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 최적으로 얻어진 회절효율과 균일도를 표 1에 나타내었다. 또한, 회절효율과 균일도가 최적으로 출력될 때의 매개변수 값도 나타내었다. 교배 확률은 0.25~1.0 사이의 값을, 돌연변이 확률은 0.0005~0.002 사이의 값을, 개체군의 크기는 300~400 정도의 값을 적용하면 표 1에 나타난 바와 같이 원하는 최적값을 얻을 수 있었다. 그림 3은 설계된 이진위상의 화소형 회절격자를 나타낸 것으로서, 밝은 부분과 어두운 부분의 위상차는 π 에 해당한다.

표 1. 유전연산 매개변수에 따라 최적으로 출력된 회절효율과 균일도

Table 1. Optimal diffraction efficiency and uniformity on the parameter.

빔패턴	회절효율	균일도	교배 확률	돌연변이 확률	개체군의 크기
5×5	74.7[%]	1.73×10^{-1}	0.75	0.001	300
3×3	76.4[%]	0.73×10^{-1}	0.35	0.001	400
'+'	73.3[%]	1.11×10^{-1}	0.75	0.001	400
'×'	77.2[%]	0.98×10^{-1}	0.65	0.001	300

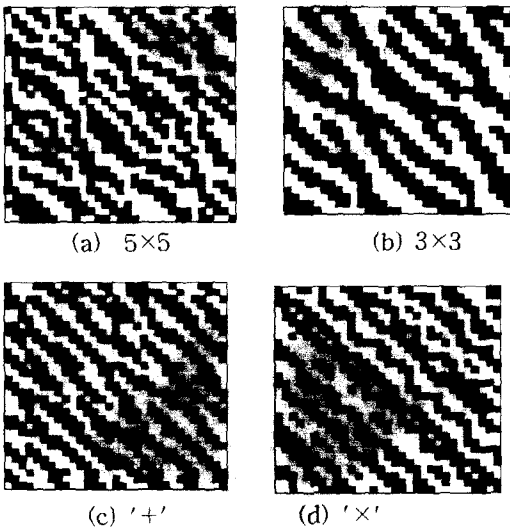


그림 3. 여러가지 모양의 빔을 발생하도록 설계된 격자들
Fig. 3. Gating patterns for generating various spot beams.

표 2에 복합 광 실험에 사용한 조건을 나타내었고, 그림 4는 실제로 구축된 복합 광 실험 시스템 사진이다. 광원으로는 파장이 633nm인 He-Ne 레이저를 사용해 측정하였고, 레이저 뒷단에 감쇄기(attenuator)를 2개 사용하여 빔을 가능한한 낮은 세기로 입사시켰으며, 빔 확장기와 공간 필터를 통해 균일한 평행광을 만들어 LC-SLM에 입력하였다. 또한, 실험 데이터로서 그림 3에 나타난 마이크로 컴퓨터를 통해 CGH로 제작된 격자를 640×480 SVGA 해상도를 갖는 EPSON사의 TFT LCD(LC-SLM)에 입력하였다. LC-SLM에서 출력되는 빔을 양면볼록 렌즈를 사용하여 푸리에 변환하여 초점 평면에서 CCD 배열 검출기를 통해 얻었고, Kasan 영상보드로 화면 캡처를 통해 하드디스크에 저장함으로써 출력 스폿 빔을 얻을 수 있었다.

표 2. 실험 조건

Table 2. Experimental specification.

광 원	633nm인 He-Ne 레이저
LC-SLM	Epson TFT LCD 해상도 : 640×480 프레임 률 : 56 Hz 대조비 : 200:1
CCD 배열 검출기	Panasonic : 768×494
영상보드	Kasan : WinX perfect IV

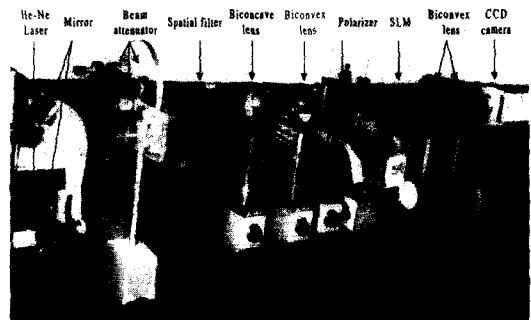


그림 4. LC-SLM을 이용한 광 연결 시스템 구축
Fig. 4. System architecture for the optical interconnection using LC-SLM.

2. 실험 결과 및 분석

그림 5, 6, 7, 8의 (a)는 그림 3에 나타난 설계된 회절격자를 푸리에 평면에 위치시키고 matlab을 이용하여 시뮬레이션의 출력평면에 나타난 결과를 의사 색 상 그래프로 나타낸 것이고, 그림 5, 6, 7, 8의 (b)는 그림 4의 광학 시스템에 의해 CCD 배열 검출기에서 화면 캡처한 스폿 빔 발생결과를 나타낸 것이다.

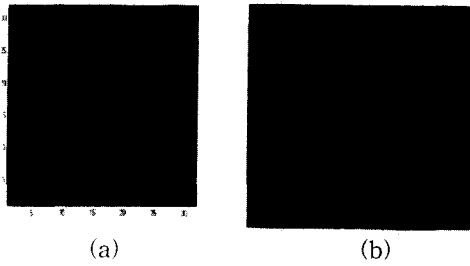


그림 5. 5×5 스폿 빔 발생결과 (a) 의사 색상 그래프 (b) 광학실험 결과
Fig. 5. 5×5 spot beams. (a) Pseudocolor (b) Result of experiment.

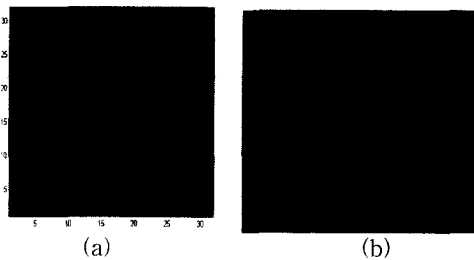


그림 6. 3×3 스폿 빔 발생결과 (a) 의사 색상 그래프 (b) 광학실험 결과
Fig. 6. 3×3 spot beams. (a) Pseudocolor (b) Result of experiment.

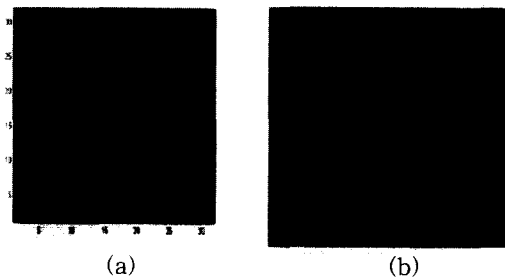


그림 7. '+' 모양의 스폿 빔 발생결과 (a) 의사 색상 그래프 (b) 광학실험 결과
Fig. 7. '+' spot beams. (a) Pseudocolor (b) Result of experiment.

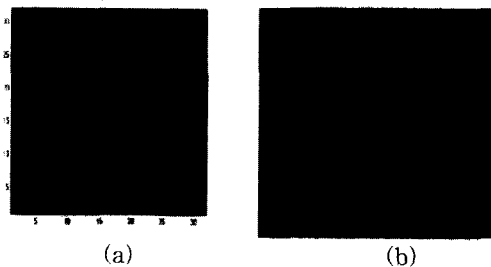
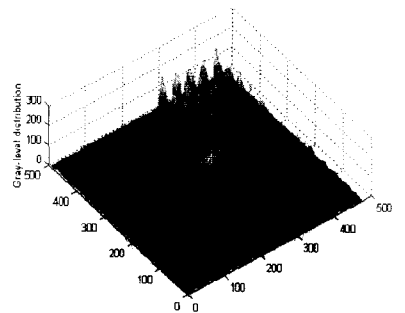
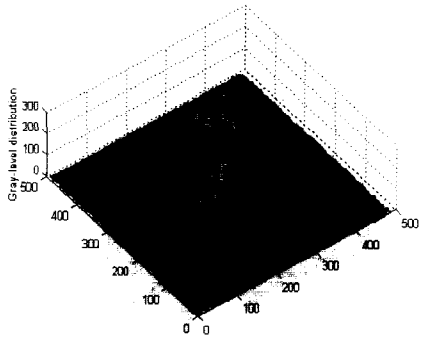


그림 8. '×' 모양의 스폿 빔 발생결과 (a) 의사 색상 그래프 (b) 광학실험 결과
Fig. 8. '×' spot beams. (a) Pseudocolor (b) Result of experiment.

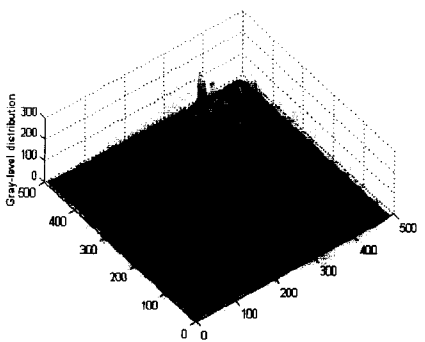
광학 실험에 의해 실제로 얻어진 데이터를 정량적인 결과로 측정하기 위해 CCD 배열 검출기를 통해 얻어진 파일을 읽어와 0~255의 그레이 레벨로 변환한 다음, 순수한 데이터만을 가지고 있는 raw 파일로 저장한 후 기하학적인 변형을 수행하였다. 즉, Adobe사의 포토샵을 이용하여 raw 파일을 만든 후 이진 데이터를 추출하여 저장하게 되면, 시뮬레이션 결과와 유사한 균일도를 갖는 스폿 빔을 얻을 수 있었고, 그 저장된 결과를 그물격자 그래프로 그림 9에 나타내었다.



(a)



(b)



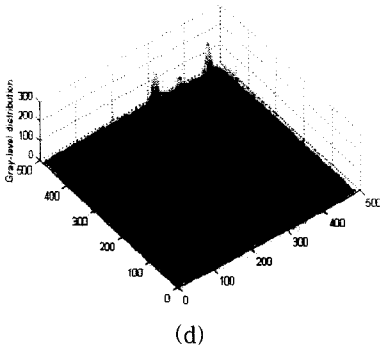
(c)

V. 결론

본 논문에서는 화소형 이진위상 회절격자의 설계시 각 셀에 요구되는 0 또는 π 의 위상 값을 결정하도록 하는데 GA 학습기법을 적용하여, 높은 회절효율과 안정된 균일 분포를 갖는 소자를 CGH로 설계하여 프로그래머블 SLM에 디스플레이 시켜 출력 스폿 빔을 CCD 배열 검출기를 사용해 검출하게 되는 실시간 복합 광 신호처리 시스템을 구성하였다. 5×5, 3×3, '+', '×' 모양의 스폿 빔을 발생하는 격자를 설계하여 출력평면에서의 결과를 검출한 결과, 목표하는 대로 설계된 패턴에 따라 출력으로의 빔 연결이 임의로 자유롭게 이루어짐을 광학적으로 실험하였다.

격자의 설계시 GA 학습기법을 적용함에 있어 파라미터의 변화에 따른 특성을 분석한 결과, 교배 확률은 0.25~1.0 사이의 값을, 돌연변이 확률은 0.0005~0.002 사이의 값을, 개체군의 크기는 300~400 정도의 값을 적용하면 원하는 최적값을 얻을 수 있었다. 특히, 5×5 스폿 빔은 정량적으로 74.7[%]의 회절효율과 1.73×10^{-1} 의 균일도를, 3×3 스폿 빔은 76.4[%]의 회절효율과 0.73×10^{-1} 의 균일도를, '+' 모양의 스폿 빔은 73.3[%]의 회절효율과 1.11×10^{-1} 의 균일도를, '×' 모양의 스폿 빔은 77.2[%]의 회절효율과 0.98×10^{-1} 의 균일도를 갖는 최적 값을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 얻을 수 있었다.

또한, 실제로 실시간 복합 광 신호처리 시스템의 CCD 배열 검출기를 통해 얻어진 데이터에 대해 정량적인 측정 결과, 3×3 스폿 빔의 경우 0~255의 그레이 레벨로서 출력된 스폿 빔들의 평균이 202로 얻어졌고, 시뮬레이션 결과와 유사하게 균일도가 1.93×10^{-1} 인 균일한 스폿 빔을 얻을 수 있었다.



(d)

그림 9. 광학실험 결과의 정량적 데이터 (a) 5×5에 대한 그물격자 그래프 (b) 3×3에 대한 그물격자 그래프 (c) '+' 모양에 대한 그물격자 그래프 (d) '×' 모양에 대한 그물격자 그래프

Fig. 9. Quantitative data of optical experiment. (a) Mesh of 5×5 spot beams (b) Mesh of 3×3 spot beams (c) Mesh of '+' spot beams (d) Mesh of '×' spot beams.

3×3 스폿 빔의 경우, 그레이 레벨로서 평균이 202, 최대값이 225, 최소값이 186으로 얻어졌다. 균일도는 출력된 패턴의 세기들 사이의 편차를 말하며, $(I_{max} - I_{min}) / I_{avg}$ 로 계산된다. 3×3 스폿 빔의 균일도를 계산한 결과, 1.93×10^{-1} 로서 시뮬레이션 결과와 유사하게 안정된 분포로 출력되었다. 그림 10은 스폿 빔들간의 균일도를 확연히 알아보기 위하여 3×3 스폿 빔 중에서 1×3 스폿 빔만을 잘라내어 단면도를 나타낸 것으로서, 스폿들간의 편차가 거의 없이 일정함을 알 수 있다. 본 논문에서는 CCD 배열 검출기로 캡처한 데이터를 정량적인 결과로 측정하고, 얻어진 스폿 빔들의 균일도가 시뮬레이션 결과와 유사하게 균일한 지를 분석하고자 한다.

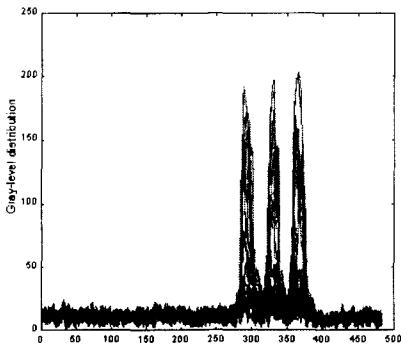


그림 10. 1×3 스폿 빔
Fig. 10. 1×3 spot beams.

참고 문헌

[1] F. T. S. Yu and X. Yang, Introduction to optical engineering, Cambridge University Press, pp. 111-130, 1997.
 [2] J. W. Goodman, Introduction to Fourier optics, McGraw-Hill, pp. 184-214, pp. 329-363, 1996.
 [3] D. E. Goldberg, Genetic algorithms in search optimization and machine learning, Addison Wesley, 1989.
 [4] Z. Michalewicz, Genetic algorithms +data

- structures=evolution programs, Springer-Verlag, 1992.
- [5] L. Davis, Genetic algorithms and simulated annealing, Morgan Kaufmann, pp. 8-11, 1987.
- [6] 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," Proc. SPIE on Optics for Science and New Tech., vol. 2778, pp. 535-536, Aug. 1996.
- [7] 윤진선, 김남, "음악기보 인식을 위한 다중필터의 설계 및 유사판별 성능분석," 대한전자공학회 논문지, 34권 D편 6호, pp. 65-74, 1997. 6
- [8] S. Yamauchi, Y. Chen, and Z. Nakao, "Optimization of computer-generated hologram by an artificial neural network," Proc. of the Second Int. Conf. on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems, pp. 220-223, Apr. 1998.
- [9] 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, Sept. 1996.
- [10] M. A. Seldowitz, J. P. Allebach, and D. W. Sweeney, "Synthesis of digital holograms by direct binary search," Appl. Opt., vol. 26, no. 14, pp. 2788-2798, 1987.
- [11] 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.
- [12] D. J. Lee, N. Kim, S. H. Song, and H. H. Suh, "Optical routing system consisted of spatial-light-modulator and kinoform phase gratings," Proc. SPIE on Diffractive and Holographic Opt. Tech. III, vol. 2689, pp. 300-304, 1996.
- [13] 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.
- [14] 이득주, 김남, 이권연, 은재정, "광영상 발생을 위한 화소형 위상격자의 설계 및 제작," 대한전자공학회 논문지, 33권 A편 5호, pp. 860-869, 1996. 5
- [15] 윤진선, 김남, 전석희, 서호형, "sGA를 적용한 광 연결," 제14회 파동 및 레이저 학술발표회, pp. 66-67, 1999. 2
- [16] 윤진선, 김남, 서호형, 전석희, "sGA를 적용한 이진위상 격자의 광학적 구현," 제 6회 광전자공학 학술발표회, pp. 319-320, 1999. 5
- [17] Y. Chen, T. Enokura, and Z. Nakao, "A hybrid GA/SA approach to blind deconvolution," Proc. of the Second Int. Conf. on Knowledge-Based Intelligent Electronic Systems, pp. 144-149, 1998.

 저 자 소 개

尹 鎮 善(正會員)

 1969년 2월 4일생. 1992. 2 :
 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 1997. 2 : 충북대학교
 일반대학원 정보통신공학과
 졸업(공학석사). 1993. 9~1995.

 9 : 옥천직업훈련원 정보통신공
 과 교사. 1997. 3~2000. 2 : 충북대학교 정보통신공학
 과 박사과정 수료. 주관심분야는 Optical Pattern
 Recognition, Optical Encryption and Security,
 Optical Interconnection, Machine Learning

金 男(正會員) 第33卷 A편 第3號 參照