

2 단계 iterative Fourier transform 알고리즘을 이용한

회절 무늬 소자의 설계에 관한 연구

Design of diffractive pattern elements using two-stage
iterative Fourier transform algorithm

정필호, 조두진

아주대학교 물리학과

djcho@madang.ajou.ac.kr

프라운호퍼 회절에 의하여 주어진 세기 무늬를 발생시키는 회절광학소자(Diffractive Optical Element, DOE)는 회절무늬소자, 키노폼(kinoform), 컴퓨터 푸리에 홀로그램(computer-generated Fourier hologram) 등으로 불리우며, 광정보처리, 광연결, 레이저가공 등에서 중요한 역할을 한다. 이 소자를 설계하는 매우 다양한 방법들이 제안되었는데, iterative Fourier transform 알고리즘(IFTA)과 이를 변형한 알고리즘들이 가장 널리 사용된다. IFTA는 fast Fourier transform(FFT)를 활용하므로 계산시간이 절감되지만 국소 최소점에 고착되는 stagnation문제가 있어 이를 해결하기 위한 많은 변형된 알고리즘들이 제안되었다. 본 연구에서는 최근에 제안한 new Pnoise algorithm with hybrid input-output algorithm(NPA-HIOA)⁽¹⁾의 설계 성능을 IFTA, hybrid input-output 알고리즘(HIOA), new Pnoise 알고리즘(NPA)⁽²⁾, Nonlinear Least-Square (NLS)⁽³⁾ 등의 기존의 알고리즘들과 비교하고자 한다.

그림 1의 (a)-(d)에 보인 32×32 사각형과 문자열 AJOU의 두 가지 128×128 이진 무늬와, 꽃과 얼굴의 두 가지 grayscale 무늬에 대하여 IFTA, HIOA와 NPA 세 가지 기존 알고리즘들과 비교하였고, 매개변수들 $\max SNR_{min}$, β , 그리고 잡음영역의 크기에 따른 평가지표들의 변화를 살펴보았다. 위상이 연속적인 경우와 양자화된 경우를 모두 고려하였는데, 양자화된 경우 위상층수에 따른 변화도 살펴보았다. 그림 1의 (e)-(h)는 네 가지 무늬에 대한 NPA-HIOA를 이용하여 얻어낸 위상층수 16으로 양자화된 위상소자를 grayscale로 나타낸 것이다. 여기서 NPA-HIOA의 1단계는 200회, 2단계는 각 위상 양자화 단계마다 33회씩(마지막 단계는 1회) 총 반복회수는 498회로 하였다. 이 소자들은 NPA-HIOA의 $\max SNR_{min}$, β , 그리고 초기 random 위상을 변화시켜가며 평가지표를 최적화시켜서 얻어낸 것들이다. 한편 위상소자에서 얻어지는 회절무늬는 육안으로 원래 무늬와 거의 구별되지 않는다.

기존 알고리즘들과의 비교에 있어서 모든 세기무늬에 대하여 NPA-HIOA는 균일도가 매우 우수한 결과를 보여준다. 양자화된 위상소자의 경우는 잡음영역을 크게 하여야 좋은 균일도를 얻을 수 있으나, 연속적인 경우는 잡음영역이 크지 않더라도 매우 좋은 균일도를 보여준다. 최소 SNR의 경우 NPA와 큰 차이를 보이지는 않지만 대부분의 경우에 있어서 NPA-HIOA가 가장 우수하다. 연속적인 위상소자의 경우 회절효율은 NPA-HIOA와 NPA가

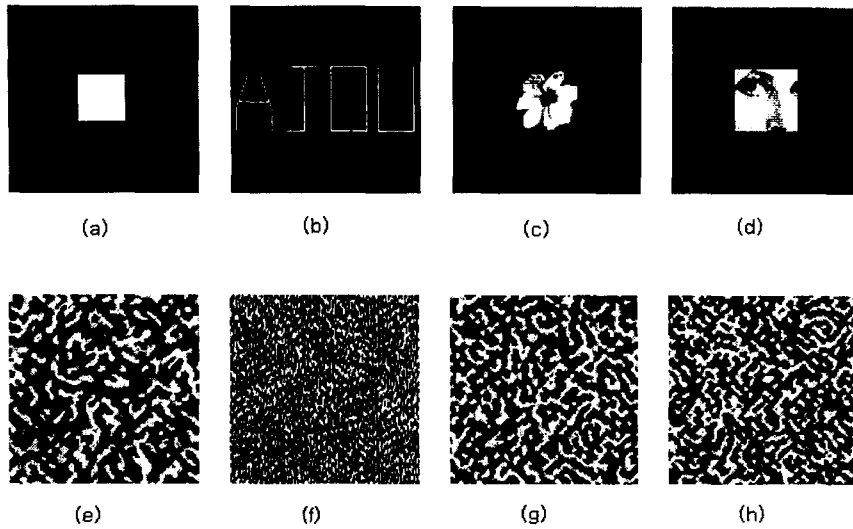


그림 1. 주어진 128×128 이진무늬 (a) 32×32 사각형, (b) 문자열 AJOU와 grayscale 무늬 (c) 꽃, (d) 얼굴;

NPA-HIOA에 의해 얻어진 위상층수 16으로 양자화 된 위상소자
(e) 32×32 사각형, (f) 문자열 AJOU, (g) 꽃, (h) 얼굴 무늬

비슷하게 다른 두 알고리즘보다 약간 낮은 값을 가지며, RMS 오차는 IFTA보다 약간 낮은 값을 가진다. 연속적인 경우 IFTA와 HIOA와 비교하면 NPA-HIOA는 매우 우수한 결과를 보여준다. NPA-HIOA의 성능은, 위상에 제약이 있는 양자화된 위상소자의 경우, 세기 무늬 자체보다는 잡음영역의 크기에 크게 관계되는 것으로 보인다.

비선형 최소 자승 방법(NLS)과 NPA-HIOA를 비교하는데 세 가지의 16×16 화소의 무늬를 사용하였다. 세 가지 무늬 모두에 대하여 NPA-HIOA가 NLS 방법에 비하여 대체적으로 회절효율은 약간 낮거나 비슷하지만, 신호 대 잡음비와 균일도가 우수하였다. 특히 연속적인 위상의 경우는 균일도가 매우 우수한 결과를 보였다. 또한 계산 시간을 비교해 보면, NPA-HIOA가 NLS 방법보다 월등히 빠르다.

1. 정필호, 조두진, "회절광학소자 설계를 위한 수정된 iterative Fourier transform 알고리즘" 제4회 광정보처리 학술발표회 논문집, 5 144-149 (1999).

2. J. Lin and A. A. Sawchuk, "Design of diffractive optical elements with optimization of the signal-to-noise ratio and without a dummy area" Appl. Opt. **36** 3155-3164 (1997).

3. C. Chen and A. A. Sawchuk, "Nonlinear least-squares and phase-shifting Quantization methods for diffractive optical element design" Appl. Opt. **36** 7297-7306 (1997).