

자유곡면 탈축 이미징 시스템 설계

Design of off-axis freeform imaging system

권재범, 김 휘*

고려대학교 전자및정보공학과

hwikim@korea.ac.kr

광학시스템 설계에 있어서 시스템의 물리적 사이즈와 설계에 필요한 광학기기의 개수는 아주 중요하게 고려해야할 사항이다. 가령 직진하고 있는 광선다발을 on-axis가 아닌 off-axis의 상의 한 점에 이미징을 하기 위한 시스템을 고안한다고 했을 때, 일반적인 형태의 광학기기들을 이용하면 다수의 element와 넓은 공간이 필요하다. 하지만 광학기기를 일반적인 형태의 ‘구면’이 아닌 ‘비구면’으로 제작한다면 비교적 적은 element와 물리적 공간으로 우리가 원하는 목적을 달성할 수 있다. Freeform optics는 비구면(자유곡면) optical surface를 다루는 이론으로써 Diamond turning 기술의 등장으로 가공이 가능해짐에 따라 최근 더욱 활발한 연구가 이루어지고 있다.^(1,2)

본 논문에서는 Freeform optics를 이용하여 off-axis상의 한 점에 이미징 하기 위한 자유곡면 렌즈를 설계하는 방법을 소개하고자 한다. Zernike polynomial로 표현되는 자유곡면방정식을 Genetic algorithm(유전알고리즘)과 GPU computing을 활용하여 효율적으로 최적화하는 방법을 논하고자 한다.

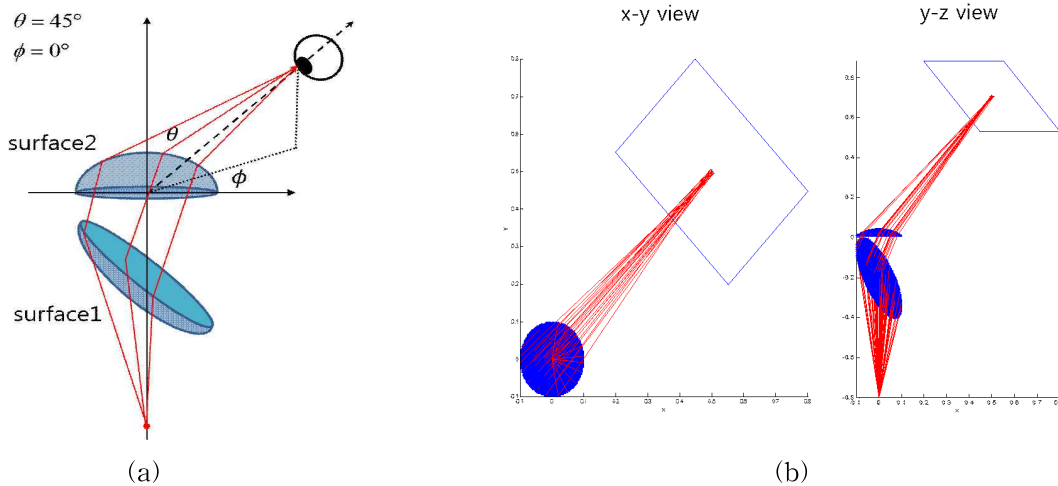


그림1. (a) 개념도 (b) Genetic algorithm을 통해 최적화된 렌즈에 의한 Ray-tracing 결과

자유곡면 렌즈를 표현 방법은 여러 가지가 있지만 본 논문에서는 구면 렌즈에 Zernike polynomial을 더해주는 형태의 표현식을 사용하였으며 식은 아래와 같다.

$$f(\rho, \theta) = \frac{c\rho^2}{1 + \sqrt{1 - c^2\rho^2}} + \sum_n^k \sum_{m=-n}^n W_n^m Z_n^m(\rho, \theta) \quad (1)$$

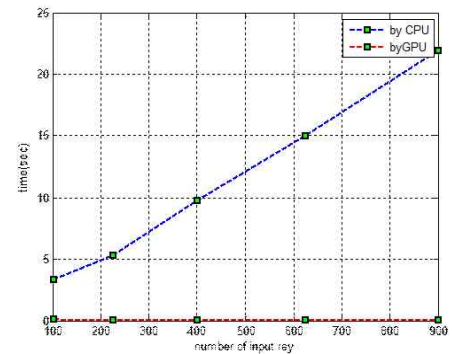
위의 식을 통해 렌즈 표면의 형태가 구면 렌즈의 반경과 Zernike polynomial의 차수 및 각 차수에

곱해지는 계수 W_n^m 에 의해 결정되는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 값들을 유전 알고리즘에서 각 염색체의 유전자(변수)로 지정한다면, 세대를 거듭함에 따라 우등화가 진행되어 원하는 목표에 부합하는 최적의 유전자, 최적 곡면을 얻을 수 있다. 그림1(a)는 off-axis 이미징 시스템의 개념도를 나타내고 있으며, (b)는 off-axis 이미징 렌즈에 의한 광선추적결과를 나타내고 있다. 하지만 신뢰할만한 결과를 도출하기 위해서는 유전알고리즘의 반복횟수 및 입력 광선의 수가 충분히 많아야 한다. 이는 시뮬레이션 running time을 매우 오래 걸리게 만드는 요소라고 할 수 있다. 이를 해결하기 위해 Graphic Processing Units(GPUs)를 이용한 병렬화 작업을 진행하였다.⁽³⁾



Workstation with NVIDIA GeForce GTX TITAN(8EA) @IPDS

(a)



(b)

그림2. (a) NVIDIA GeForce GTX TITAN이 8개가 장착된 workstation (b) CPU와 GPU가 장착된 computer 각각에 대하여 입력광선 개수에 따른 광선추적에 걸리는 시간을 비교한 그래프

CPU와는 달리 GPU는 다수의 병렬 코어를 가지고 있으므로 한 번에 많은 양의 연산을 병렬적으로 수행할 수 있다. 다수의 광선에 대하여 CPU는 순차적으로 광선추적을 한다면, GPU는 모든 코어에 각 광선을 입력하여 동시에 광선추적을 할 수 있으므로 시뮬레이션 속도 향상에 지대한 기여를 할 수 있다. 그림2의 (b)에서 볼 수 있듯이 CPU에 의해서는 입력광선 수 증가에 따라 광선추적에 걸리는 시간 또한 선형적으로 변하는 것에 반해 GPU를 통해서서는 시간변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이는 하나의 GPU device안에 내장되어있는 멀티코어의 개수 보다 적은 광선에 대하여는 동시에 광선추적을 할 수 있음을 나타낸다.

본 논문은 지식경제부 산업융합원천기술개발사업으로 지원된 연구결과입니다 (No.10042797, 100nm~100 μ m 나노복합구조물 응용제품 생산을 위한 금형가공 및 에너지 10% 절감 성형시스템 개발)

참고문헌

1. I. Kaya, K. P.Thompson and J. P. Rolland, "Comparative assessment of freeform polynomials as optical surface descriptions", Opt. Express **20**, pp.22683-22691 (2012).
2. H. Kim, J. Hahn and H. Choi, "Numerical investigation on the viewing angle of a lenticular three-dimensional display with a triplet lens array", Appl. Opt. **50**, pp.1534-1540 (2011).
3. J. W. Suh and Y. Kim, *Accelerating MATLAB with GPU Computing* (Morgan Kaufmann, Waltham, MA, USA, 2014).