

조명 장치의 방사 패턴 예측을 위한 plenoptic function

Plenoptic function for estimating radiation pattern of an illuminator

이윤석^{1,2}, 박대서^{1,2}, 정상철^{1,2}, 최태일¹, 오범환^{1,2}, 박세근², 이일항², 이승걸^{1,2}

¹삼성전기-인하대 초정밀 검사계측 연구센터, ²집적형 광자기술 연구센터

sglee@inha.ac.kr

제품검사를 위한 머신 비전(machine vision) 시스템은 생산성 향상과 비용 절감을 목적으로 산업 현장에서 많이 활용되고 있는데, 그 정확도는 조명 조건에 따라 큰 영향을 받는다. 그동안 조명 조건의 최적화는 광학 지식과 비전 검사에 관한 경험을 토대로 이루어졌지만, 다품종 소량 생산이 보편화됨에 따라 최적 조명 조건의 결정에 많은 비용과 시간이 소요되었다.

이를 해결하기 위해 가상적인 머신 비전 시스템을 설정하고, 전산 시뮬을 통해 조명 장치의 종류 및 조건에 따른 검사 성능을 예측하는 방안이 점차 의미를 가지게 되었다⁽¹⁾. 이를 구현하기 위해서는 조명 장치의 내부 구성을 정확히 이해하여 그 방출 특성을 예측하거나, 조명장치의 방출 특성에 관한 측정 결과로부터 다른 조건에서의 방출 특성을 예측하는 것이 필요하다. 그러나 현실적으로 실제 조명 장치의 내부 구성을 정확히 이해하기 어려우므로, 후자의 방법을 통해 임의의 위치, 임의의 조건에서 조명 장치의 방출 특성을 예측하는 것이 의미를 가질 것이다.

본 연구에서는 조명 장치의 방출 특성에 관한 몇 가지 측정 결과로부터 그 방출 특성을 예측하기 위해 컴퓨터 그래픽스 분야에서 사용하는 plenoptic function 개념을 도입하였다^(2,3). 방출 특성을 묘사하는 plenoptic function은 일반적으로 광선의 출발점(x,y,z), 광선의 방향 (θ, ϕ), 파장(λ), 시간(t)을 포함하는 7차원의 함수로 정의된다. 그러나 단파장, 시간 불변, 조명 장치로부터 빛의 방출 과정을 고려하면, plenoptic function은 간략화 될 수 있다. 즉, 조명 장치로부터 방출되는 광속을 가상적인 하나의 면에서 방출되는 광선들의 조합으로 간주한다면, plenoptic function은 광선의 출발점(x,y), 광선의 방향 (θ, ϕ) 만으로도 기술될 수 있다. 이러한 원리에 기초하여 3가지 서로 다른 위치에서 얻어진 조명 장치의 방출 패턴을 활용하여 plenoptic function을 추출하고, 임의의 방향, 임의의 위치에서의 방출 패턴을 예측하고자 한다. 즉, 3가지 방출 패턴을 형성하는 광선들의 집합을 추출하고자 한다.

Plenoptic function의 추출을 위하여 그림 1(a)와 같이 측정된 3가지 방출 패턴에서 중간(z_2)에 위치한 방출 패턴으로부터 무작위로 광선을 발생시킨다. 이때, 중간에 위치한 방출 패턴 이미지를 $n \times n$ 개의 셀로 나누고, 각 셀에서는 광량에 비례하여 광선이 방출됨을 가정하였다. 이렇게 발생된 광선들에 의하여 z_1 과 z_3 의 위치에 도달하는 광선들의 분포는 측정된 방출 패턴과는 큰 차이를 보일 수 있다. 본 연구에서는 z_1 과 z_3 위치의 측정된 방출 패턴(r_1, r_3)과 무작위로 방출된 광선에 의하여 형성된 패턴(rr_1 ,

rr3)과의 차이를 이용하여 식 (1)과 같이 cost function으로 정의하였다. 따라서 식 (1)이 0인 경우, 측정된 방출 패턴과 무작위로 방출된 광선의 분포는 일치한다고 볼 수 있다.

$$cost\ function = \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ((r1_{i,j} - rr1_{i,j})^2 + (r3_{i,j} - rr3_{i,j})^2)} \right) / n^2 \quad (1)$$

식 (1)이 최소가 되도록 하기 위해서 무작위로 방출된 광선 분포에서 임의의 광선을 선택한 후, 그 광선의 방향을 임의로 변경하였을 때, cost function이 감소될 경우에만 광선의 방향 변경을 허용한다. 따라서 임의의 광선을 선택하는 횟수(# of iteration)가 증가함에 따라 cost function이 감소된다. 그림 1(b)는 무작위로 방출된 광선들의 분포로, 전술한 바와 같이 cost function의 값이 작아짐에 따라 무작위로 방출된 광선들의 분포가 측정된 방출 패턴과 유사해짐을 알 수 있다. 따라서 식 (1)이 최소(이상적으로는 0)가 될 때, 무작위로 방출된 광선들의 정보(출발점, 방향)로부터 plenoptic function을 추출할 수 있고, plenoptic function을 이용하여 임의의 방향, 임의의 위치에서의 방출 패턴을 예측할 수 있다.

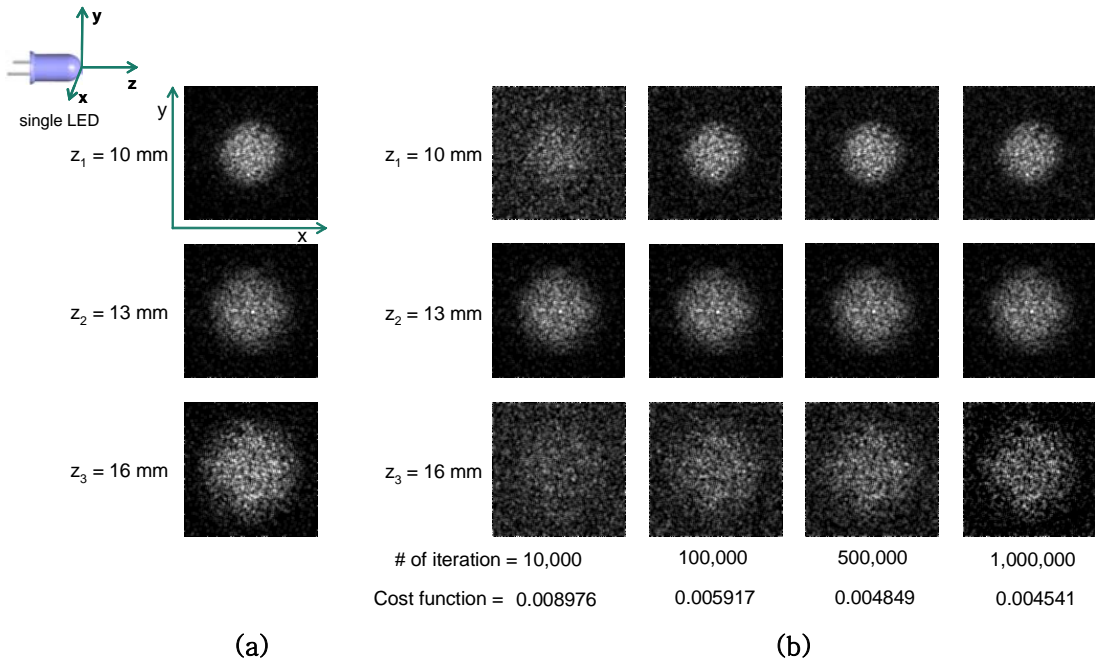


그림 1. (a) 측정된 조명의 방출 패턴과 (b) 반복횟수에 따른 무작위로 방출된 광선들의 분포

참고문헌

1. 정상철, 고낙훈, 김대찬, 서승원, 최태일, “Automated Optical Inspection 시스템의 이미지 획득과정을 전산모사하는 Vision Inspector 개발,” 한국광학회 2008 하계학술발표회, FP-III16 (2008).
2. M. Levoy and P. Hanrahan, “Light Field Rendering,” Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 31-42 (1996).
3. 이윤진, 이승용, “원통형 맵을 이용한 삼차원 plenoptic 함수,” 한국정보과학회 2000년도 봄 학술발표논문집, 제27권, 제1호(B), pp. 631-633 (2004).