

샷-하트만 파면 측정 센서의 중심점 탐색 알고리즘에 대한 연구

A Study on the Centroiding Algorithms for Shack-Hartmann Wavefront Sensors

노경완, 엄태경, 김지연, 박상훈, 이준호*, 윤성기
 한국과학기술원 기계공학과, *국립공주대학교 영상광정보공학부
 rohkw@kaist.ac.kr

샷-하트만 센서는 입사 파면의 국부적인 기울기를 계산해 전체 입사파면을 복원하는 파면 측정 센서의 한 종류로 비교적 간단한 구조와 원리를 갖고 있다. 샷-하트만 센서의 파면 측정 정확도는 점영상의 중심점 측정 오차에 의해 가장 큰 영향을 받는다. 본 연구에서는 샷-하트만 파면 측정 센서를 구성하고 파면 측정 정확도를 향상시키기 위해 중심점 측정과정의 오차 요인을 분석하였으며 이의 영향을 최소화하기 위한 방안을 연구 하였다. 중심점 측정 방법으로는 무게 중심법과 상관관계법(Correlation method)⁽¹⁾을 이용하였다.

중심점 측정에 영향을 미치는 오차 요인으로는 바탕 광강도(Constant background intensity), 판독 노이즈(Readout noise), 사이드로브(Side-lobes)등이 있다. 이들 인자가 무게 중심법의 정확도에 미치는 영향을 알아보기 위해 샷-하트만 센서의 파면측정 과정에 대한 전산모사를 수행하였다. 그림 1과 2는 전산모사를 통해 얻은 점영상에 대해 문턱치의 변화에 따른 파면 측정의 제곱평균근오차를 나타내고 있다.

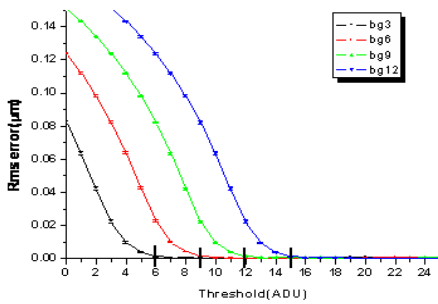


그림 1 바탕노이즈의 변화에 따른 문턱치 적용시의 파면 복원 오차

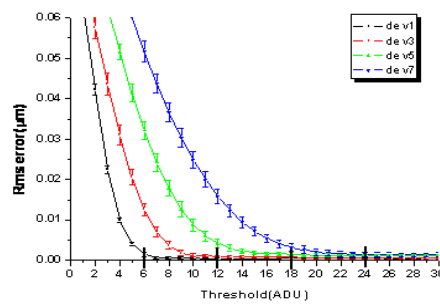


그림 2 판독노이즈의 변화에 따른 문턱치 적용시의 파면 복원 오차

각각의 그래프는 바탕 노이즈 및 판독 노이즈의 변화에 따른 값을 나타내고 있다. 적절한 문턱치의 하한은 바탕 노이즈와 세배의 판독 노이즈 값을 더한 결과로 나타났으며 그래프의 가로축에 세로막대 형태로 나타내었다. 식으로 표현 하면 다음과 같다.

$$T_{min} = bg + 3n_r$$

여기서 T_{min} 는 문턱치, bg 는 바탕 광강도, n_r 은 판독노이즈의 크기를 나타낸다.

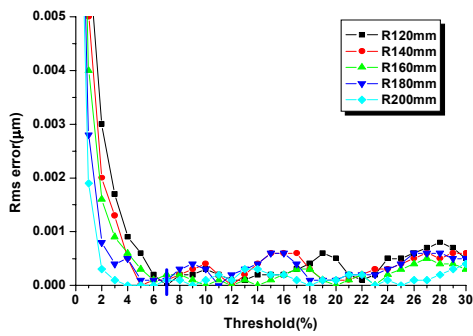


그림 3 무게 중심법에서 회절에 의한 문턱치 적용의 필요성

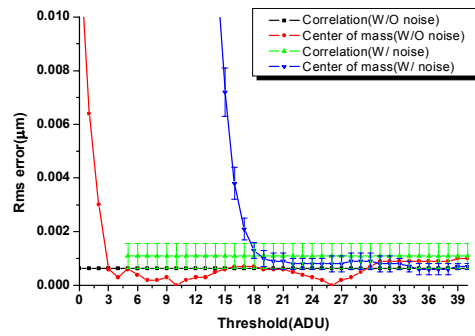


그림 4 무게 중심법과 상관 방법의 비교

그림 3은 무게 중심법에서 사이드로브의 효과를 알아보기 위해서 파면측정의 제곱평균근호 오차 값을 문턱치에 대해서 나타내었다. 이때 노이즈는 존재하지 않는 것으로 가정하였다. 그림으로부터 점영상의 최대 강도 값의 7%에 해당하는 문턱치 설정을 통해서 사이드로브에 의한 오차를 최소화 할 수 있다는 것을 알 수 있다. 사이드로브를 고려한 문턱치는 다음과 같이 제안 할 수 있다.

$$T_{min} = bg + 3n_r + 0.07I_{max}$$

여기서 I_{max} 는 점영상의 최대 광강도 값을 나타낸다.

그림 4는 상관관계법을 무게 중심법과 비교하기 위하여 동일한 입사파면에 대한 파면 측정 결과를 나타내고 있다. 노이즈가 없는 경우와 노이즈를 가정한 경우에 대해서 각각 나타내었다. 그래프에서 상관관계법의 경우 문턱치 설정에 영향을 받지 않으며 적절한 문턱치 값을 적용한 무게 중심법과 유사한 정확도를 갖는 것을 확인하였다. 또한 관측노이즈 및 사이드로브의 영향에 매우 둔감한 사실을 전산모사를 통해 확인하였다. 그러나 상관관계법의 경우 계산 소요시간이 $O(N^3)$ 정도로 $O(N^2)$ 의 크기를 갖는 무게 중심법에 비해 속도가 느린 단점이 있다. 전산모사를 통해 얻은 결과를 이용해 바탕 광강도, 관측 노이즈, 사이드로브 효과를 고려한 최적의 문턱치 설정 값을 제안 하였으며 파면 측정 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

본 연구는 한국과학기술원 영상정보센터를 통한 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. L.A. Poyneer, K. LaFrotune, and A.A.S. Awwal,, “Correlation wavefront sensing for Shack-Hartmann-based Adaptive Optics with a point source”, Lawrence Livermore National Lab Document September (2003)
2. Sandrine Thomas, “Optimized centroid computing in a Shack-Hartmann sensor”, Proc. SPIE, Volume 5490, pp. 1238-1246 (2004)