

적응광학시스템의 파면왜곡측정을 위한 기울기정보 추출에 관한 연구

A Study on the Slope Information Extraction for Wavefront Distortion Measurement of Adaptive Optics System

박승규, 백성훈, 서영석, 김철중, 김학수*, 최동혁*
한국원자력연구소, *건양대학교 정보전자공학과
skpark4@kaeri.re.kr

본 논문에서는 적응광학시스템⁽¹⁾의 성능 향상에 필수적인 파면왜곡의 기울기 정보를 고속으로 측정하기 위한 중심점 추출 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서는 컴퓨터 내부의 영상처리전용보드와 CCD 카메라를 이용하여 하트만 센싱 점 영상을 획득하였고, 획득한 하트만 센싱 점 영상에 대해 제안한 중심점 추출 알고리즘을 적용하여 서브픽셀 분해능으로 X축과 Y축의 기울기 정보를 고속으로 추출하였다. CCD센서에 촬상되는 하트만 센싱 점영상에서 각각의 점 영상은 중심점으로부터 대칭형으로 강도가 분포되어 있다고 가정할 수 있으나 전체 점영상의 각 점을 분석한 결과 비대칭적으로 예외적인 강도 분포를 갖는 점영상도 일부 발견되었다. 파면 왜곡이 없는 하트만 센싱 점영상으로부터 X, Y축 파면 왜곡 기울기 값을 추출한 결과 CCD 센서 픽셀의 기저 노이즈가 큰 불안정한 영역에서 기울기 값이 반복적으로 크게 추출되어 파면왜곡보정 시스템의 보정 성능을 떨어뜨리는 효과가 나타났다.

에너지의 중심 픽셀을 찾는 방법으로는 중심 픽셀에 위치정보에 대한 가중치를 증가시키는 방법⁽²⁾과 측정 대상체에 대한 정보를 미리 데이터베이스화⁽³⁾시켜 참고하는 등 여러 가지 방법의 연구가 개발되어오고 있으며 각각의 방법은 측정 환경에 따라 장단점이 있다.

파면왜곡 정보 추출을 시작하기 전에 사용자는 CCD 카메라에 획득된 파면왜곡이 없는 하트만 센싱 원 영상에서 각각의 하트만 센싱 점의 최대 가능한 중심점 이동범위를 행 방향과 열 방향에 대해 시작점과 끝점 위치를 할당하여 중심점 이동 탐색 범위를 설정할 수 있다. 각 점의 탐색 범위를 인식한 신호처리 소프트웨어는 카메라에 획득된 파면왜곡이 있는 하트만 센싱 점 영상에 대해 설정된 탐색 범위 내에서 행 방향과 열 방향으로 데이터를 더한 각각의 1차원 프로젝션(projection) 데이터를 획득한 후 이 데이터에 대해 노이즈 제거를 위하여 전처리(preprocessing)를 수행한다. 신호처리 소프트웨어는 획득된 각 점의 행 방향과 열 방향의 1차원 프로젝션 데이터의 최대 값의 위치를 추출하여 픽셀 단위로 각 점의 중심점 위치를 추출한다. 픽셀 분해능으로 추출된 중심점 위치를 중심으로 X축(혹은 Y축) 방향의 픽셀 강도 값의 분포는 다음 식 (1)을 만족하는 대칭 구조로 가정할 수 있다.

$$\sum_{i=-\frac{w_x}{2}}^{\frac{w_x}{2}} (P_i - P_0) I_i = 0 \quad (1)$$

여기서 I_i 는 i 번째 행(열)에서의 픽셀 강도값이고 P_i 는 i 번째 행(열)에서의 위치값이며 P_0 는

픽셀 분해능으로 추출된 중심점의 X축(Y축) 방향의 위치값이다. 또한 W_x 는 X축(Y축) 방향으로 사용자에 의하여 설정되는 탐색 창의 크기 값이다.

식 (1)을 X축 방향에 대해 적용하면 식 (2)를 만족하는 X축 방향으로의 중심점 위치 P_x 를 서브픽셀 단위로 추출할 수 있으며, Y축 방향에 대해 적용하면 식 (3)을 만족하는 Y축 방향으로의 중심점 위치 P_y 를 서브픽셀 단위로 추출할 수 있다.

$$P_x = \frac{\sum_{j=P_0-\frac{W_x}{2}}^{P_0+\frac{W_x}{2}} \sum_{i=P_0-\frac{W_x}{2}}^{P_0+\frac{W_x}{2}} (a_{ij} \times I_{ij} \times P_{ij})}{\sum_{j=P_0-\frac{W_x}{2}}^{P_0+\frac{W_x}{2}} \sum_{i=P_0-\frac{W_x}{2}}^{P_0+\frac{W_x}{2}} (a_{ij} \times I_{ij})} \quad (2)$$

$$P_y = \frac{\sum_{i=P_0-\frac{W_x}{2}}^{P_0+\frac{W_x}{2}} \sum_{j=P_0-\frac{W_x}{2}}^{P_0+\frac{W_x}{2}} (a_{ij} \times I_{ij} \times P_{ij})}{\sum_{i=P_0-\frac{W_x}{2}}^{P_0+\frac{W_x}{2}} \sum_{j=P_0-\frac{W_x}{2}}^{P_0+\frac{W_x}{2}} (a_{ij} \times I_{ij})} \quad (3)$$

여기서 $I_{i,j}$ 는 j 번째 열과 i 번째 행의 픽셀 강도 값이고 $P_{i,j}$ 는 i 번째 행과 j 번째 열 픽셀의 위치 값이며 a_{ij} 는 각 위치에서 갖는 가중치 값이다. 첫 번째 적용에서의 P_0 는 탐색 영역 내에서 픽셀 분해능으로 찾아진 중심점의 X축 및 Y축 위치 값이고 두 번째 및 세 번째 적용에서의 P_0 는 탐색 영역 내에서 서브픽셀 분해능으로 찾아진 중심점의 X축 및 Y축 위치 값이다. W_x 는 사용자에 의해서 설정되는 X축 방향으로 탐색 창의 크기 값이고, W_y 는 y축 방향으로 탐색 창의 크기 값이다. P_x 와 P_y 는 추출된 X축과 Y축의 중심점 위치이다. 여기서 가중치 a_{ij} 는 중심 값 위치에 근접할수록 높은 값을 갖고 멀어질수록 낮은 값을 갖는다. 서브픽셀 분해능으로 추출된 각 점의 중심점 위치를 중심으로 신호처리 소프트웨어는 픽셀 단위 간격으로 선형 보간 방법 혹은 Cubic-B Spline보간 방법으로 보간된 강도값을 사용하여 식 (2)와 (3)을 사용하여 X축과 Y축의 중심점을 세부적으로 반복하여 추출한다. Fig. 1은 변형거울의 중심축을 사용하여 $0.8\mu\text{m}$ 변형시킨 파면의 기울기 정보를 나타내며, Fig. 2는 Hudgin 알고리즘을 사용하여 왜곡 파면의 형상을 재구성한 결과이다.

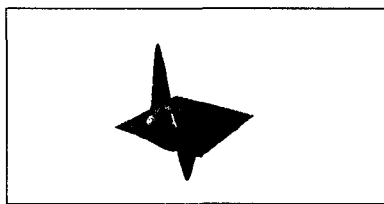


Fig. 1 Measured wavefront slope data

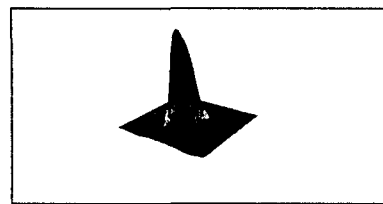


Fig. 2 Measured wavefront shape data

후기

본 연구는 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

1. Richard H. Hudgin, "Wave-front reconstruction for compensated imaging," J. Opt. Soc. Am., 67(3), 375(1977).
2. Daoshan Yang, Shawn Buckley, "New algorithm to calculate the center of laser reflections," SPIE, Vol. 3306, (1998).
3. Jihong Chen, Huicheng Zhouk, "Research on a geometric model based 3D inspection machine," SPIE, Vol. 2902, (1997).