하트만 센서를 이용한 정밀 고속 파면측정 알고리즘에 관한 연구

A Study on a Fast and High Precision Measuring Algorithm of Wavefront Using the Shack-Hartman Sensor

박승규, 백성훈, 서영석, 김철중(한국원자력연구소, 양자광학기술개발팀),
박준식, 나성웅(충남대학교 전자공학과)
skpark4@kaeri.re.kr

하트만 센서를 이용한 파면 왜곡 측정에서 측정 정밀도와 측정 속도는 왜곡을 실시간으로 보정하고자 하는 적응광학 기술에서 중요한 요소이다. 파면왜곡을 측정하고 보정하는 실제 환경에서 적응광학 장치는 전기적으로 안정된 시스템의 구성이 요구된다. 본 논문에서는 하트만 센서를 이용한 파면 측정 과정에서 넓은 측정 범위를 가지면서도 고속 정밀한 파면 정보를 추출할 수 있는 알고리즘을 연구하였고 적응광학 부품들을 제어함에 있어 전기적으로 안정된 하드웨어 장치들을 구성하였다.

본 논문에서는 안정된 제어를 위한 시스템을 구성하기 위하여 외부 제어 신호를 그라운드 절연된 데이터 신호 생성하여 장치들을 제어하였으며, 시스템의 안정된 동작을 유지하기 위하여 제어 신호의 업무 우선 순위 할당과 외부제어 장치들을 구성하였다. 하트만 센서를 이용하여 획득한 파면영상에서 각각의 점영상들의 중심점 추출은 파면의 형상정보를 추출하는데 가장 중요한 신호처리 과정이다. 본 논문에서는 넓은 측정 범위내에서 고속의 정밀 파면 정보를 추출하기 위하여 다음과 같은 알고리즘을 개발하였다. 먼저 파면 정보를 추출하기 위하여 컴퓨터는 영상신호처리 전용보드에 디지털화된 파면 영상에서 각 점영상의 중심값을 식 (1)에 따라 사용자가 설정한 각 점영상의 전체 탐색 영역(NxN) 내에서 X, Y축의 중심위치를 추출한다.

$$P^0{}_x = \frac{\sum_{x=0}^{N}\sum_{x=0}^{N} I_{x,y}\times x}{\sum_{x=0}^{N}\sum_{y=0}^{N} I_{x,y}}, \quad P^0{}_y = \frac{\sum_{x=0}^{N}\sum_{y=0}^{N} I_{x,y}\times y}{\sum_{x=0}^{N}\sum_{y=0}^{N} I_{x,y}} \tag{1}$$

여기서 N은 사용자에 의해 설정되는 점영상의 X, Y축 방향의 중심점 추출 탐색영역 길이(픽셀단위)를 나타낸다. 세부 중심점 위치를 추출하기 위하여 첫 번째로 추출된 X, Y축 방향의 중심점($P^0{}_x$, $P^0{}_y$)을 중심으로 NxN보다 작은 5x5창을 씌운 후 세부 X축 방향의 중심값과 Y축 방향의 중심값을 식 (2)를 사용하여 추출한다.

$$P^1{}_x = \frac{\sum_{y=-2}^{2}\sum_{x=-2}^{2} I_{x,y}\times x}{\sum_{x=-2}^{2}\sum_{y=-2}^{2} I_{x,y}}, \quad P^1{}_y = \frac{\sum_{x=-2}^{2}\sum_{y=-2}^{2} I_{x,y}\times y}{\sum_{x=-2}^{2}\sum_{y=-2}^{2} I_{x,y}} \tag{2}$$

더욱 세밀한 중심점 추출 정보를 획득하기 위하여 두 번째로 추출된 X, Y 축 방향의 중심위치 ($P^1{}_x$, $P^1{}_y$)를 중심으로 다시 5x5창을 씌워 픽셀간격으로 픽셀 강도값의 보간된 값을 사용하여 세부 중심점 즉 X, Y축 방향의 중심점 위치를 식 (3)을 사용하여 서브픽셀 분해능으로 정밀하게 추출한다. 컴퓨터는 이와 같은 과정을 반복하여 더욱 정밀한 X, Y축의 세부 정밀 중심 위치를 추출한다.

$$P^k{}_x = \frac{\sum_{y=-2}^{2}\sum_{x=-2}^{2} I^{k-1}{}_{x,y} \times x}{\sum_{x=-2}^{2}\sum_{y=-2}^{2} I^{k-1}{}_{x,y}} \times \alpha, \quad P^k{}_y = \frac{\sum_{x=-2}^{2}\sum_{y=-2}^{2} I^{k-1}{}_{x,y} \times y}{\sum_{x=-2}^{2}\sum_{y=-2}^{2} I^{k-1}{}_{x,y}} \times \alpha \qquad (3)$$

여기서 $P^k{}_x$는 X축 방향으로 k번째 추가로 찾아진 중심점 위치이고 $P^k{}_y$는 Y축 방향으로 k번째 추가로 찾아진 중심점 위치이며 k값은 2~∞ 사이의 정수값이다. $I^{k-1}{}_{x,y}$는 X축으로 x, Y축으로 y 번째 위치에서 k-1번째로 보간된 픽셀 강도값이다. α는 실제 중심위치를 예측하는 예측가중치로 $\alpha = 1.0 + w$이다. w는 추출단계별로 단조감소(monotone-increasing)하는 값이다. 최종적으로 추출된 X축과 Y축 방향의 중심점 위치는 식 (4)와 같다.

$$P_x = P^0{}_x + P^1{}_x + \sum_{k=2}^{\infty} P^k{}_x, \quad P_y = P^0{}_y + P^1{}_y + \sum_{k=2}^{\infty} P^k{}_y \qquad (4)$$

제안된 알고리즘은 Fig. 1에 보이는 바와 같이 실험을 통하여 전통적으로 널리 사용되는 무게중심법 알고리즘과 비교하여 더욱 고속의 파면 정보를 제공함을 확인하였다.

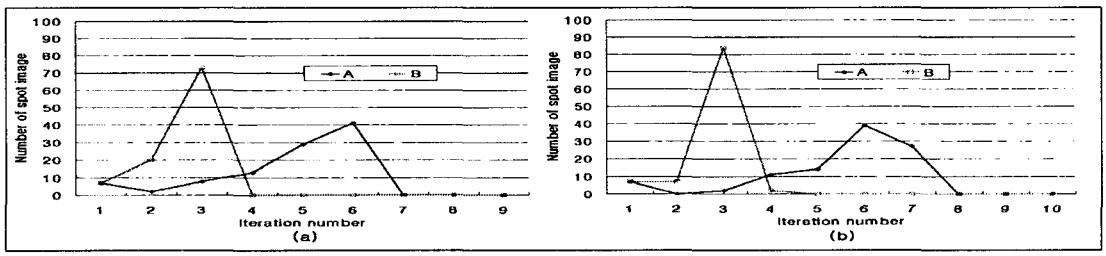

Fig. 1 Experimental results from convntional algorithm(A) and proposed algorithm(B).

후기

본 연구은 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

[1] R. K. Tyson, Adaptive Optics Engineering Handbook, Marcel Dekker Inc, 2000

[2] Deliang Zhang, Wenhan Jiang, SPIE, Vol. 2778, pp.990-1009, 1996

[3] Genrui Cao, Xin Yu, Optical Engineering, Vol. 33, pp.2331-2335, 1994