

고속 보정을 위한 적응광학시스템의 제어장치 개발

Development of a Fast Control Device for an Adaptive Optics System

박승규, 백성훈, 김민석, 서영석, 유병덕, 김철중(한국원자력연구소, 양자광학기술개발부),
나성웅(충남대학교 전자공학과)
skpark4@kaeri.re.kr

본 연구에서는 고속 보정이 가능한 적응광학 시스템의 제어장치를 개발하였다. 개발된 장치는 윈도우즈 환경의 개인용 컴퓨터 상에서 구성하였으며, 원거리에서도 유선을 이용하여 안정적으로 제어하기 위하여 통신방식에 기초하여 제어알고리즘을 구성하였다. 개발된 적응광학 시스템의 전체 구성도는 그림 1과 같으며, 윈도우즈 환경의 개인용 컴퓨터와 변형거울, 기울기거울, 하트만 센서 및 간섭계로 구성되어 있다. 하트만 센서의 내부에는 어레이 렌즈(12x12)와 고속 디지털 카메라가 장착되어 있다. 본 연구에서는 Visual C++ 컴파일러를 사용하여 제어프로그램을 개발하였으며, 사용자의 선택에 따라 제어 정밀도 및 제어 속도를 제어할 수 있게 구성하였다. 본 제어 프로그램은 컴퓨터 내부에 장착된 디지털 영상처리보드를 사용하여 하트만 센서에 의해 획득되는 파면 점 영상을 고속으로 획득한 후 기준 파면으로부터 변형된 기울기 정보와 파면왜곡형상 정보를 추출한다. 제어프로그램은 컴퓨터 내부에 장착된 2 채널 D/A 변환기 제어보드를 사용하여 기울기 거울을 제어함으로써 기울기 에러를 보정하며 32채널 디지털 입출력 제어보드를 사용하여 변형거울을 제어함으로써 파면 형상 에러를 보정한다. 본 시스템에서는 차분 드라이브 IC를 사용하여 기울기거울을 제어함으로써 안정된 제어가 가능하며 또한 RS422 IC 칩을 이용한 통신제어로 변형거울을 제어함으로써 원거리에서도 변형거울을 안정적으로 제어할 수 있게 구성하였다 시스템의 안정된 동작을 유지하기 위하여 제어 신호의 우선 순위 할당을 통하여 제어 등급에 따라 외부 장치들을 제어함으로써 안정된 제어를 유도하였다.

적응광학시스템에서 파면의 왜곡을 고속으로 측정된 후 실시간으로 보정하기 위해서는 파면왜곡의 고속 측정 기술이 필수적이다[1,2]. 하트만 센서를 이용한 파면 왜곡 측정에서 고속 측정을 위해서는 측정 정밀도가 떨어지는 단점이 있으므로 측정 속도와 측정 정밀도 사이에는 적절한 타협이 요구된다[3]. 본 연구에서 개발한 적응광학시스템의 주운영 소프트웨어는 사용자의 선택에 의하여 적절한 측정 속도와 정밀도를 설정할 수 있게 운영환경을 구성하였다. 본 논문에서는 하트만 센서를 이용한 파면 측정 과정에서 넓은 측정 범위를 가지면서도 고속 정밀한 파면 정보를 추출할 수 있는 알고리즘을 구성하였으며, 측정정밀도를 높이면서도 고속으로 측정이 가능한 방법에 대하여 연구를 수행하였다. 구해진 X축과 Y축의 기울기 정보에서 평균 기울기 값이 기울기 에러값이고, 이를 제외한 나머지 값이 파면왜곡 형상 에러 보정값이다. 컴퓨터는 기울기 에러 값을 보정하는 디지털 값을 계산한 후 컴퓨터의 D/A 변환보드 출력단자로 아날로그 전압을 출력시켜 에러를 보정한다. 파면형상 왜곡에 대하여 컴퓨터는 X, Y축 기울기값에 대하여 행렬 S를 구성한 후 식 (1)과 같이 특성함수의 역변환 매트릭스 M과 곱하여 파면형상 왜곡을 보정할 각 채널 전압값 V을 구한다.

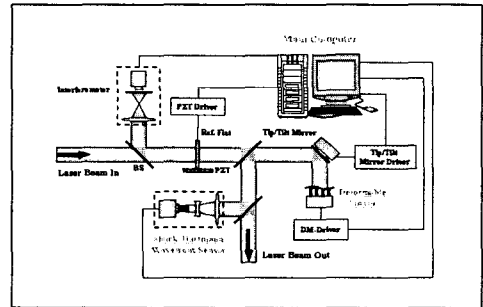
$$[V]=[M][S] \quad (1)$$

$$V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ \vdots \\ V_{Cm} \end{pmatrix} \quad M = \begin{pmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} & \dots & M_{1,(N \times M \times 2)} \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} & \dots & M_{2,(N \times M \times 2)} \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} & \dots & M_{3,(N \times M \times 2)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ M_{Cm,1} & M_{Cm,2} & M_{Cm,3} & \dots & M_{Cm,(N \times M \times 2)} \end{pmatrix} \quad S = \begin{pmatrix} S_{x,11} \\ S_{y,11} \\ S_{x,12} \\ S_{y,12} \\ \vdots \\ S_{x,NM} \\ S_{y,NM} \end{pmatrix}$$

여기서 V_{cm} 은 변형거울의 m 번째 채널 전압 값이고 M 은 역변환 행렬 매트릭스이고 S 는 하트만 센서 점영상에서 구한 X 축과 Y 축의 기울기 매트릭스이다. $S_{x,NM}$ 은 N 번째 행 M 번째 열의 하트만센서 점 영상에서 X 축 기울기 값이고, $S_{y,NM}$ 은 N 번째 행 M 번째 열의 하트만센서 점 영상에서 Y 축 기울기 값이다. M 은 하트만 점 영상에서 행의 최대 수이고 N 은 하트만 점 영상에서 열의 최대 수이다.

Fig. 1 System configuration of an adaptive optics system

본 논문에서는 하트만 센서의 내부에 장착된 고속카메라에 의해 획득되는 제한된 파면 정보로부터 측정속도와 측정분해능을 높이기 위한 방법에 대하여 연구를 수행하였다. 파면 기울기 정보에 대한 추출 분해능을 높이기 위하여 식 (2)와 같은 보간 방법에 의한 반복적인 추출 방법으로 추출 정밀도를 높였다.



$$P^k_x = \frac{\sum_{y=-N/2}^{N/2} \sum_{x=-N/2}^{N/2} I^{k-1}_{x,y} \times x}{\sum_{x=-N/2}^{N/2} \sum_{y=-N/2}^{N/2} I^{k-1}_{x,y}} \times \alpha_x, \quad P^k_y = \frac{\sum_{x=-N/2}^{N/2} \sum_{y=-N/2}^{N/2} I^{k-1}_{x,y} \times y}{\sum_{x=-N/2}^{N/2} \sum_{y=-N/2}^{N/2} I^{k-1}_{x,y}} \times \alpha_y \quad (2)$$

여기서 P^k_x 는 X 축 방향으로 k 번째 추가로 찾아진 중심점 위치이고 P^k_y 는 Y 축 방향으로 k 번째 추가로 찾아진 중심점 위치이며 k 는 양의 정수값이다. $I^{k-1}_{x,y}$ 는 X 축으로 x , Y 축으로 y 번째 위치에 $k-1$ 번째로 보간된 픽셀 강도값이다. α 는 가중치 값이다. 여기서 x 축과 y 축의 중심점 위치는 반복적으로 추출된 중심점 위치의 합이다. 본 논문에서는 다양한 종류의 α 를 적용하여 보간에 의한 반복 정보 추출에 의한 측정속도 저하와 측정정밀도 향상의 상호 관계에 대한 연구를 수행하였다.

후기

본 연구은 과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었음.

참고문헌

[1] K. T. Robert, Principles of Adaptive Optics System, Academy Press, 1991
 [2] Deliang Zhang, Wenhan Jiang, SPIE, Vol. 2778, pp.990-1009, 1996
 [3] S. K. Park, S. H. Baik, Optics & Laser Technology, Vol. 34, 2002