

전산모사를 이용한 적응광학 시스템의 성능평가

Performance Verification of AO system using Numerical Simulation

유재은, 윤성기

한국과학기술원 기계공학과

jewun@kaist.ac.kr

천문학, 안광학, 레이저 통신과 같은 다양한 분야에 널리 사용되고 있는 적응광학 시스템은 파면 측정 센서, 파면 보정기, 제어기의 3가지 부분으로 구성된다. 따라서 적응광학 시스템을 개발하기 위해서는 각각의 부분에 대한 개별적인 연구와 시스템 차원에서 통합된 연구가 모두 필요하다. 파면측정 센서의 경우 파면측정 센서의 성능을 평가하기 위해서는 입사하는 왜곡된 파면의 정보를 알고 있어야 한다. 실험으로 입사하는 파면을 정확하게 조정하는 것은 매우 어렵기 때문에 전산모사를 이용한 방법이 필요하다. 전산모사를 이용하면 단순한 파면뿐만 아니라 실제 적응광학 시스템에서 사용하는 대기난류에 의해 왜곡된 파면에 대한 파면측정 센서의 성능도 평가할 수 있다. 대기난류에 의해 왜곡된 파면은 시간에 따라 빠르게 변하기 때문에 단순히 하나의 입사 파면에 대한 파면 측정 성능만으로 파면 측정의 성능을 나타낼 수 없다. 따라서 파면 보정기와 제어기의 전산모사를 포함하는 전체 적응광학 시스템의 전산모사가 필요하다.

적응광학 시스템의 전산모사는 대기난류에 의한 파면왜곡의 전산모사, 파면측정 센서의 전산모사, 파면 보정기의 전산모사로 구성된다. 대기난류에 의한 파면왜곡의 전산모사 과정은 다음과 같다. 대기 난류에 의한 왜곡된 입사파면은 대기난류의 통계적인 특성을 따르도록 제르니케 다항식을 이용하여 구성할 수 있다.⁽¹⁾ 구성된 위상분포는 Taylor 가설에 의해 대기 난류층 자체의 공간적인 분포 특성은 유지한 채(frozen layer) 난류층 자체가 특정 속도로 이동하는 것으로 시간의 흐름에 따른 대기 난류 파면 왜곡으로 표현 될 수 있다. 대기난류에 의한 파면왜곡의 전산모사의 결과는 그림 1,2 과 같다. 망원경의 개구(aperture)는 0.4m 이고, 대기 난류층의 이동속도는 각각 0.585m/s와 1.17m/s 이다.

본 연구에서는 약-하트만 센서를 이용하여 파면측정을 하였다. 파면 측정의 전산모사는 푸리에변환을 통해 약-하트만 센서의 각각의 배열렌즈에 의해 생성되는 점영상을 구하여 점영상의 중심점 탐색, 파면 복원을 포함하는 파면측정 과정을 전산모사하였다. 이 때, 잡음(noise)효과를 고려하여 실제 시스템과 유사하도록 하였다. 파면 보정기로는 PZT 변형거울을 이용하였다. 형상함수를 가우시안 함수로 모형화하여 파면 보정기의 동작을 전산모사 하였다. 구현된 각 부분들의 전산모사를 통합하여 적응광학 시스템의 전체 전산모사를 수행하였다. 전체 시스템의 전산모사에서는 동적인 입력신호에 대한 성능을 보장하기 위해 적절한 계인을 갖는 PID 제어가 필요하다. 본 연구에서 사용한 PID 계인은 각각 $k_p=1.0$, $k_i=0.7$, $k_d=0.2$ 이다.

구현된 적응광학 시스템의 전산모사를 이용하여 파면 측정에서의 중심점 탐색 알고리즘에 따른 성능비교를 수행하였다. 문턱치방법(thresholding)을 적용한 무게중심법과 다중해상도 상관관계법(multi-resolution correlation method)⁽²⁾에 대한 결과를 그림 3,4에 나타내었다.

그림에서 x 축은 삭-하트만 배열렌즈의 각각의 하부개구(subaperture)에 입사하는 광자(photon)수를 의미하고 y 축은 적응광학 시스템에 의해 파면 보상이 이루어진 후 측정되는 RMS 파면오차이다. COM-TH는 무게중심법을 의미하고 MRCOR는 다중해상도 상관관계법을 의미한다. 다중해상도 상관관계법이 무게중심법에 비해 작은 광량에서 더 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

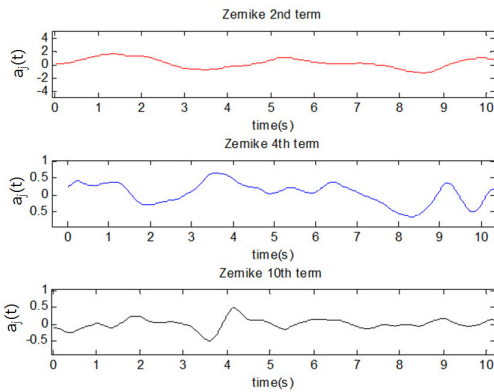


그림 1. 전산모사를 통한 대기 난류에 의한 파면의 제르니케 다항식의 계수 ($R=0.4m$, $V=0.585m/s$)

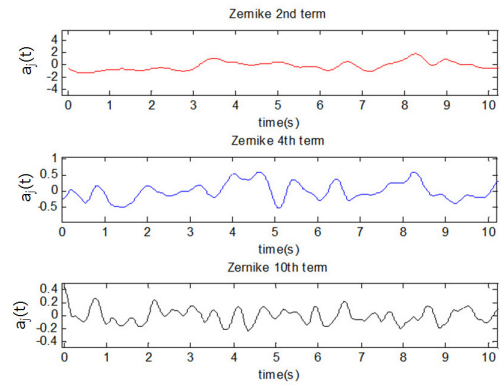


그림 2. 전산모사를 통한 대기 난류에 의한 파면의 제르니케 다항식의 계수 ($R=0.4m$, $V=1.17m/s$)

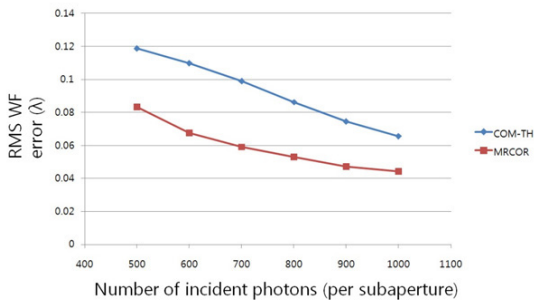


그림 3. 적응광학 시스템의 입사광량에 따른 파면보정성능 비교($V=0.585m/s$)

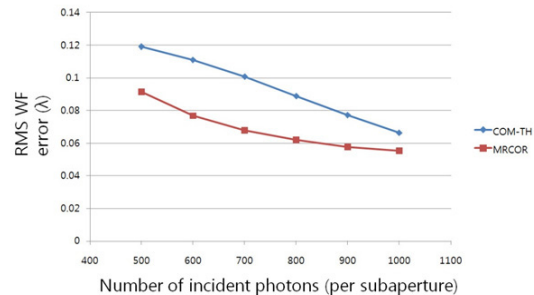


그림 4. 적응광학 시스템의 입사광량에 따른 파면보정성능 비교($V=1.17m/s$)

본 연구는 한국과학기술원 영상정보특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (계약번호 UD070007AD)

참고문헌

1. F. Roddier, M. J. Northcott, J. E. Graves, and D. L. McKenna, "One-dimensional spectra of turbulence-induced Zernike aberrations: time-delay and isoplanicity error in partial adaptive compensation," J. Opt. Soc. Am. A, Vol.10, No. 5, pp.957-965, 1993
2. 유재은, 윤성기, "다중 해상도 상관관계법을 이용한 삭-하트만 파면 측정 센서의 중심점 탐색 방법 연구", 한국광학회 2007년도 하계학술대회 논문집, pp. 29-30, 속초, 7월, 2007