한국소음진동공학회 2013년 춘계학술대회논문집, pp. 666~667

일반 디지털카메라의 알리아싱 동영상을 이용한 10~300 Hz 대역 진동 해석

Vibration Analysis using Aliasing Video from Digital Camera at 10-300Hz Range

김종민* · 이수일†

Jong Min Kim and Soo Il Lee

1. 서 론

본 연구에서는 일반 디지털 카메라로 진동구조물을 촬영하여 주파수 및 모드 분석이 가능한 방법을 제시하고자 한다. 카메라에서 촬영된 동영상을 영상처리기법을 이용하여 원하는 특정 위치 정보를 데이터화 하여 픽셀 별 변위 데이터를 이용하였다. 하지만 대상이 15 Hz(30 fps 기준)가 넘으면 언더샘플링(undersampling) 현상이 나타난다. 언더샘플링된 주파수의 경우 실제 주파수로 추정하기는 물리적으로 불가능하다. 이를 해결하고자 언더샘플링된 알리아싱(aliasing) 데이터를 비균질(non-uniform) 샘플링기법[(1)]으로 24, 25, 30, 50, 60 fps 로 촬영하여 각각을 팬폴드(fan-fold) 방법[(2)]을 적용하면 공통의 주파수를 추정할 수 있다. 각각 촬영한 데이터를 합하여 적합직교분해(POD)방법[(3)]을 적용하면 운전 중 변형형상(ODS: operational deflection shape)까지 구할 수 있다. 여기서 영상처리를 통해 추출된 변위로부터 POD 방법으로 주요한 모드 형상으로 뽑을 수 있다.

2. 실험 및 영상처리

실험장치는 Fig. 1 과 같이 구성하고, 길이 160 mm, 폭 15 mm, 두께 0.5 mm 의 스프링강판 재질의 외팔보에 공진주파수에 해당 하는 가진에 의해 나타나는 정상상태(steady-state)의 변위를 측정하였다. 또한 외팔보의 진동주파수의 레퍼런스 값 확인을 위해 동시에 레이저 진동계로 측정하였다. 효율적으로 영상처리를 하기 위해 MATLAB Image Processing Toolbox 를 이용하였다. 디지털카메라는 Canon EOS 650D 를 사용하였고 주요 특징은 동영상의 빠른 셔터스피드로 블러(blur)되는 현상을 최소화 하고 프레임 조절이 가능하다. 빠른 셔터스피드로 인한 부족한 광량은 500W 할로겐 광원으로 대체하였다.

측정된 동영상을 Fig.2 와 같은 영상처리방법을 적용하면 각 픽셀에 해당하는 위치정보를 얻을 수 있다. 동영상은 각각의 프레임 별로 영상처리를 진행하였다. 각각의 프레임 별 과정은 이미지를 자르는 crop 과정, Sobel 필터를 이용하여 윤곽선을 추출, 노이즈 제거 및 필요 위치만 뽑는 문턱치(threshold)처리 과정을 거쳤다. 원하는 위치에 해당하는 픽셀 별로 위치정보를 앙상블 데이터로 누적 저장, 처리 하였다.

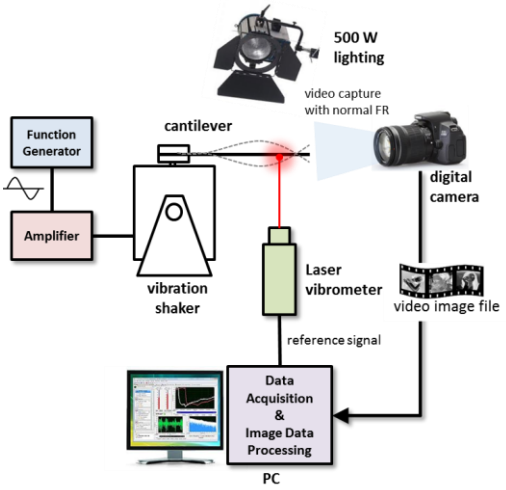


Fig. 1 Experiment Setup

† 교신저자; 이수일, 서울시립대학교 기계정보공학과
E-mail : leesooil@uos.ac.kr
Tel :02-2210-5251 , Fax :02-2210-5575
* 서울시립대학교 대학원 에너지환경시스템공학과

3. 실험 결과

위의 방법으로 주파수를 측정하고 모드형상을 추출하였다. 실제 주파수 추정에서 샘플링 주파수와 알리아싱 주파수를 통한 관계는 다음 (1)과 같다.

$$f_i = N \cdot \frac{f_{s,j}}{2} \pm f_{i,alias}(N) \qquad (1)$$

여기서 N 은 접힘수(folding number)이다. 아래의 Fig.3 에 나오는 최고피크점의 알리아싱 주파수를 통해 각각의 샘플링 주파수에 최소 공배수 개념으로 실제 주파수를 추정하는 것이다.

2차 공진주파수 가진하여 각각의 프레임 별 최소 공배수의 주파수는 91.4Hz로 추정되었고 이는 가진 주파수와 일치하였다.

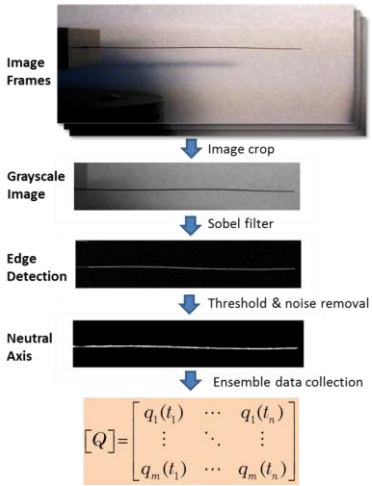
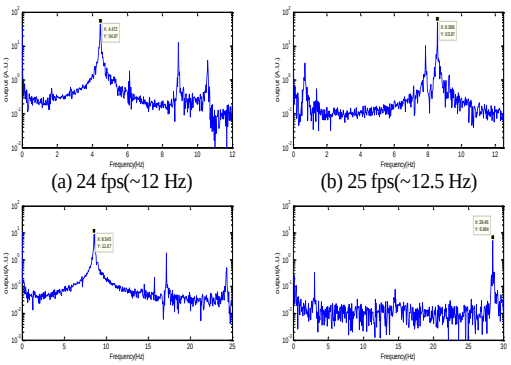


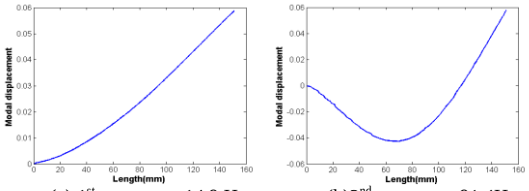
Fig. 2 Image processing and ensemble data



(a) 24 fps(~12 Hz) (b) 25 fps(~12.5 Hz)

(c) 50 fps(~25 Hz) (d) 60 fps(~30 Hz)

Fig. 3 Frequency spectra of the 2nd mode resonance signals due to video frame rates



(a) 1st resonance 14.9 Hz (POV_1 = 98.81 %) (b)2nd resonance 91.4Hz (POV_1= 85.22 %)

Fig. 4 1st POMs at each resonance frequency excitation

Fig.4는 구조물을 각각 1,2차 공진 주파수로 가진하여 측정 앙상블 데이터 $[Q]$로 적합직교분해한 1차 및 2차 직교모드(POM)다. 공진주파수 가진에 의한 진동모드는 자유진동의 고유모드와 동일하다. 해당하는 POM의 에너지 분포는 적합직교값(POV: proper orthogonal value)로 나타낸다. 실험결과 첫 번째 POM에서 에너지 분포비율이 가장 크게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 일반 디지털 카메라를 통해 얻어진 알리아싱 데이터를 통해 진동 해석이 가능함을 보였다. 측정 스케일은 픽셀 개수와 같이 나오기 때문에 정밀한 결과를 얻을 수 있으며, 가진 주파수를 변경하며 측정할 경우 고가 장비 없이도 10~300 Hz 까지 추정 가능함을 검증하였다. 또한 각 고유 진동수에서 모드 형상도 구할 수 있음을 보였다.

참고 문헌

(1) K. Kubo, "Under-sampling technique for sine wave frequency estimation," Proceedings of the 40th SICE Annual Conference, pp. 380-385, 2001.

(2) C. Yamahata, M. Stranczl, E. Sarajlic, G. J. M. Krijnen, and M. A. M. Gijs, "Temporally liased video microscopy: an undersampling method for in-plane modal analysis of microelectromechanical systems," Journal of Microelectromechanical systems, Vol. 21, pp. 934-944, 2012.

(3) G. Kerschen, J. Golinval, A. F. Vakakis, and L. A. Bergman, "The method of proper orthogonal decomposition for dynamical characterization and order reduction of mechanical systems: an overview," Nonlinear Dynamics, Vol. 41, pp. 147-169, 2005.