한국소음진동공학회 2008년 추계학술대회논문집, pp.675~680

영상 신호에서 패턴인식을 이용한 다중 포인트 변위측정

Displacement Measurement of Multi-Point Using a Pattern Recognition from Video Signal

전형섭† · 최영철* · 박종원**
Hyeong-Seop Jeon, Young-Chul Choi, Jong Won Park

Key Words : Displacement Measurement(변위측정), Pattern Recognition(패턴인식), Mode Analysis(모드분석)

ABSTRACT

This paper proposes a way to measure the displacement of a multi-point by using a pattern recognition from video signal. Generally in measuring displacement, gab sensor, which is a displacement sensor, is used. However, it is difficult to measure displacement by using a common sensor in places where it is unsuitable to attach a sensor, such as high-temperature areas or radioactive places. In this kind of places, non-contact methods should be used to measure displacement and in this study, images of CCD camera were used. When displacement is measure by using camera images, it is possible to measure displacement with a non-contact method. It is simple to install and multi-point displacement measuring device so that it is advantageous to solve problems of spatial constraints.

기 호 설 명

P_1	: 1st point
P_2	: 2nd point
P_3	: 3rd point
$P_1M(x,y)$	: Central coordinates of P_1
$P_2M(x,y)$	: Central coordinates of P_2
A⊕B	: Dilation
A⊖B	: Erosion
A	: The image being operated on
B	: structuring element
c	: The set of all pixels
M	: Number of Cluster

† 전형섭; 충남 대학교 정보통신공학과
E-mail : jhs200@kaeri.re.kr
Tel : (042) 868-2074, Fax : (042) 868-8313
* 한국원자력연구원
** 충남 대학교 정보통신공학과

1. 서 론

건물, 교량, 및 파이프 등 큰 구조물의 진동을 측정하여 구조물의 이상 유무를 판단하기 위하여 가속도계, 레이저 측정기, 변위센서 등을 사용한다. 하지만, 화력발전소나 원자력발전소 등과 같이 고온 및 방사능 구역에서는 센서 부착 및 피폭 등에 의해 기존의 센서를 이용하여 진동을 측정하기 어렵다. 따라서 센서를 부착하지 않고 원거리에서 진동을 측정하는 방법이 필요하다. 기존의 센서를 대신하여 카메라의 영상신호를 이용하면 직접 센서를 부착하지 않고도 구조물의 진동을 측정할 수 있다.

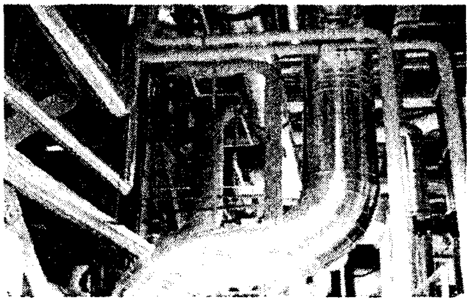


Fig 1. Piping structure

Fig 1 과 같은 배관 구조물에서 카메라를 이용할 경우 한번의 촬영으로 다중 포인트의 진동을 측정할 수 있다. 그러나 다중 포인트의 진동 변위를 측정하기 위해서는 각각의 프레임에서 측정한 포인트 좌표들의 분류가 필요하다. 영상의 프레임 넘버가 시간을 나타내고 있으나 각각의 프레임에서 검출된 다중 포인트 좌표는 어떤 포인트의 좌표인지를 분류 할 필요가 있다.

본 연구에서는 원거리에서 CCD 카메라를 이용하여 구조물의 다중 포인트를 촬영하여 패턴인식의 K-means 알고리즘을 적용함으로써 포인트 좌표를 분류하고 각각의 포인트의 진동 변위를 측정하는 방법을 제안한다. CCD 카메라의 경우 프레임 수는 샘플링 주파수에 해당하며, 해상도는 Dynamic range 와 직접적으로 관련이 되어있다. 초음파와 같이 고주파 진동 측정은 어렵지만, 큰 구조물, 예를 들어 교량이나 큰 파이프의 경우는 낮은 주파수로 진동하기 때문에 CCD 카메라로 충분히 진동을 측정할 수 있다. 또한 영상을 이용하기 때문에 화면상에서 원하는 여러 점들을 동시에 측정할 수 있는 장점이 있다. 이로부터 진동 주파수 뿐만 아니라, 모드형상까지 쉽게 구할 수 있다.

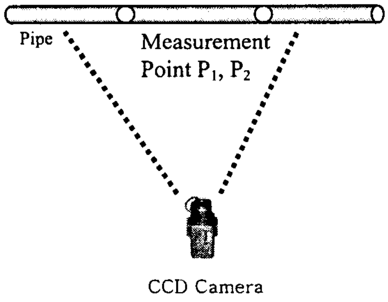
CCD 카메라를 이용한 구조물의 다중 포인트의 진동을 측정하는 방법에 대해 살펴 본 후, 빔과 스프링 실험을 통하여 진동 변위 및 주파수, 그리고 모드형상을 찾는 방법에 대해 살펴 본다.

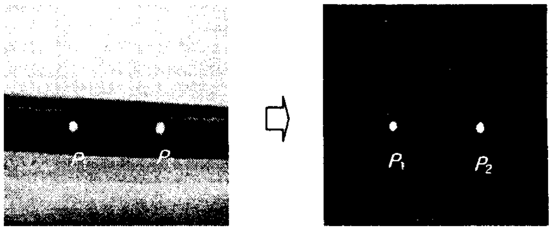
2. CCD 카메라를 이용한 진동 측정방법

CCD 카메라에서 획득한 영상은 영상처리를 통하여 선택영역의 변환 좌표를 획득함으로써 배관의 진동 변위를 측정할 수 있다. 이 장에서는 영상처리를 통하여 진동 변위를 측정하는 방법에 대해 알아본다[1][2].

2.1 CCD 카메라를 이용한 진동 측정방법

CCD 카메라를 이용하여 배관 진동 영상을 촬영하기 위하여 우선적으로 Fig 2 에서와 같이 배관 진동 변위를 측정할 영역에 마킹을 한다. 측정하기를 원하는 위치에 여러 개의 마킹을 할 수 있다.





(A) Gray image (b) Filtered image

Fig 2. Outline for measuring vibration of structure by using CCD camera, (a) Gray image, (b) Filtered image

2.2 이미지 프로세싱을 이용한 선택영역의 변환좌표

Fig 2 와 같이 배관구조물을 촬영한 영상을 사용하여 원하는 영역의 변위를 측정 한다. Fig 2 (a)는 CCD 카메라 1 번째 프레임의 그레이 영상이다. Fig 2 (b)는 Fig 2 (a)의 영상에서 마킹된 영역을 분리한 영상이다.

Fig 1 (a)에서 Fig 2 (b)와 같이 P_1, P_2를 분리하여 배관구조물의 변환좌표를 구하는 과정은 다음과 같다.

1. Fig 2 (a)의 그레이 영상을 히스토그램 해석을 통해 이진화한다[3][4].

2. Morphological Filtering 의 식 (1)Dilation 과 식 (2)Erosion 을 사용하여 Fig 2 (b)과 같이 P_1, P_2를 분리 시킨 영상을 구한다.

$$A \oplus B = \{c \mid c = a + b, a \in A, b \in B\} \quad (1)$$

$$A \ominus B = \{c \mid (B)_c \subseteq A\} \quad (2)$$

3. Fig 2 (b)영상에서 Labeling 기법의 Glassfire 알고리즘을 사용하여 P_1, P_2 영역의 위치를 찾아낸다.
4. P_1, P_2 영역의 중심 좌표 $P_1M(x, y), P_2M(x, y)$는 식 (3)을 이용하여 구한다.

$$x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N-1} x_i \ , \ y = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N-1} y_i \quad (3)$$

5. 다음 프레임 영상에서 1~4 과정을 계속 반복하여 각각의 프레임 영상에서 P_1, P_2 영역의 중심 좌표를 구한다.

2.3 패턴인식을 이용한 중심좌표 분할

2.2 의 선택영역의 변환 좌표 구하는 방법을 이용하여 여러 점을 동시에 측정 하여 각각의 변환좌표를 구할 수 있다. 포인트 좌표의 수와 프레임이 증가할수록 각각의 중심 좌표가 어떤 위치의 포인트 좌표인지 분리하는 문제점이 발생한다. 이 문제를 해결하기 위하여 패턴인식의 K-means algorithm[5] 을 이용하면 각각의 중심 좌표를 자동으로 분할할 수 있다.

(1) K-means 알고리즘

K-means 알고리즘은 비계층적 군집방법 중 가장 널리 사용되는 방법으로 간단한 자율학습 알고리즘 중 하나이다. 클러스터의 개수를 M 개로 미리 설정한 후, 각 객체가 어느 클러스터에 속하는 지를 분석하는 방법으로서 대량의 데이터의 클러스터링에 유용하게 이용되는 방법이다.

K-Means 알고리즘은 다음과 같다.

1. 임의로 M 개의 객체를 선정하여 각 객체의 속성 값을 각 클러스터의 평균점으로 한다.

2. 각 객체를 가장 가까운 평균점을 갖는 클러스터에 할당한다.

3. 클러스터의 평균점을 다시 계산하다.

4. 위의 3 단계 에서 평균점이 변경되었다면 2 단계로부터 반복하며, 평균점이 변경되지 않았으면, 클러스터링을 종료한다.

(2) K-means 알고리즘을 이용한 중심좌표 분할

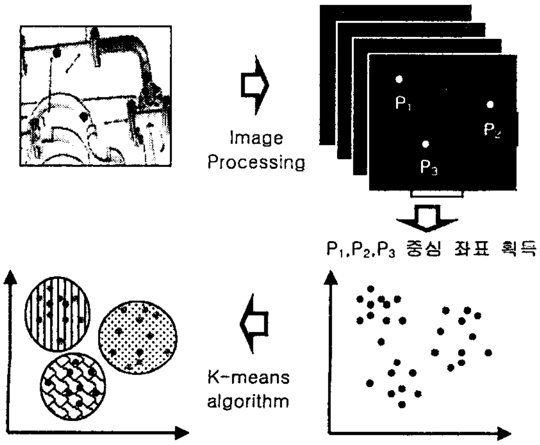


Fig 3. Coordinates separation using K-means algorithm

CCD 카메라에서 얻은 영상으로부터 선택영역 P_1, P_2, P_3 의 중심좌표를 프레임 별로 획득한다. 프레임별로 획득하여 시간 순서는 알 수 있으나, 각각의 중심좌표가 P_1, P_2, P_3 좌표 중 어떤 좌표인지 알기 위해서는 인위적인 판단이 필요함을 알 수 있다. 따라서 K-means 알고리즘을 이용하면 각각의 중심좌표를 P_1, P_2, P_3 그룹으로 자동 분리할 수 있다.

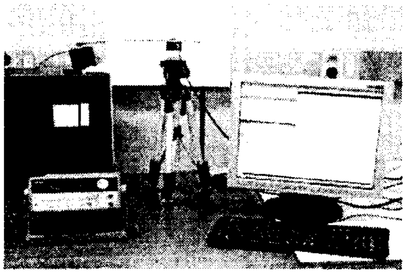
위 방법에 의해 분리된 중심좌표간의 변위가 곧 구조물의 진동 변위를 나타낸다. 따라서, 이러한 진동 변위를 이용하여 진동 주파수 및 모드형상을 찾을 수 있다.

3. 실 험

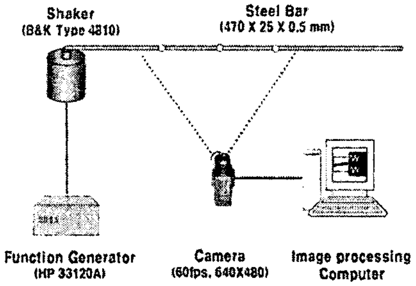
앞의 이론적인 내용을 검증하기 위해서 Steel beam 및 spring 을 가진하여 실험을 수행하였다.

3.1 Beam 을 이용한 실험

Fig 4 는 Steel beam 을 Shaker 로 가진하여 진동 변위를 측정하는 실험장치를 보여주고 있다. 이때 Function generator 를 이용하여 beam 의 첫번째 모드 주파수인 2.3Hz 로 가진하였다. CCD 카메라는 초당 60 프레임을 촬영할 수 있으며, 해상도는 640 x 480 이다. 따라서 CCD 카메라를 이용하여 측정하는 신호의 샘플링 주파수는 60Hz 이다.



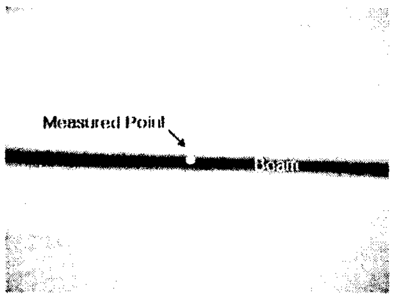
(a)



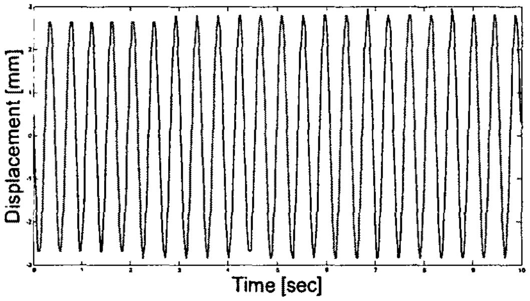
(b)

Fig 4. (a) Picture and (b) Outline of experimental setup for steel beam vibration, where frequency of shaker in 2.3Hz.

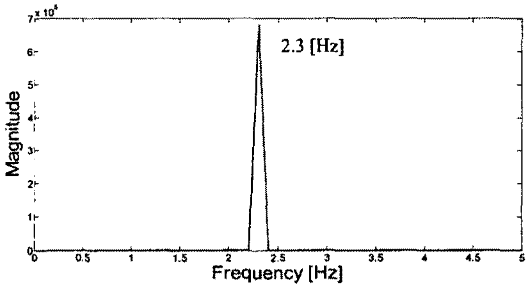
Fig 5 (a)는 실제 카메라 영상을 나타내며, 이 영상을 통해 실제 변위를 측정한 그래프를 fig 5(b)에서 보여주고 있다. 실제 진동형상을 잘 따라감을 볼 수 있다. 또한 Fig 5(c)와 같이 변위 신호의 스펙트럼을 관찰하여 보면, 실제 가진 주파수 인 2.3Hz 와 일치함을 관찰할 수 있었다.



(a)



(b)



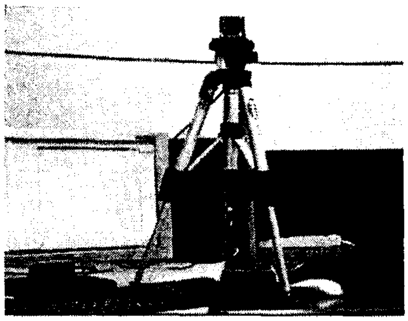
(c)

Fig 5. Experimental results, (a) Camera image, (b) Displacement of beam, (c) Power spectrum which is coincide with exciting frequency.

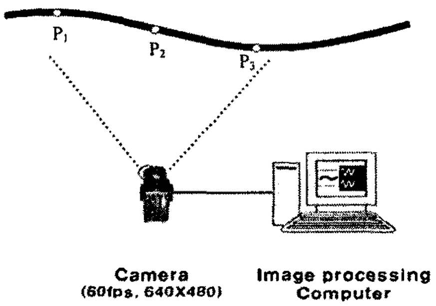
3.2 Spring을 이용한 실험

CCD 카메라를 이용하여 진동 변위를 측정할 때 가장 중요한 장점 중 한 개는 여러 점을 동시에 측정할 수 있다는 것이다. 여러 점을 동시에 측정 가능하면 모드 형상까지 측정 가능하다.

Fig 6 은 모드형상을 측정하기 위해 길이 1m 의 스프링 실험 장치 구성을 보여주고 있다.



(a)



(b)

Fig 6. (a) Picture (b) Outline of experimental setup for spring

Fig 6 의 실험 장치를 이용하여 3 점을 선택하였다. 이 3 점에서 구한 좌표들을 K-means 알고리즘을 사용하여 Fig 7 과 같이 3 그룹으로 자동분리 한 모습을 볼 수 있다.

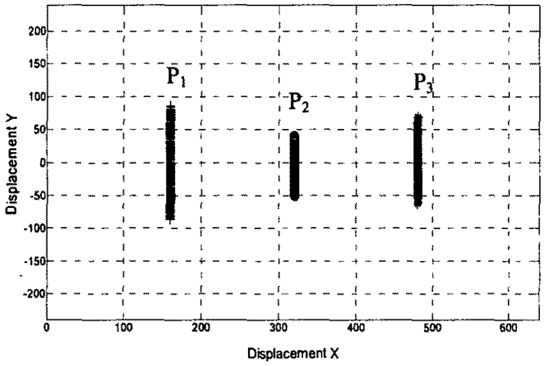
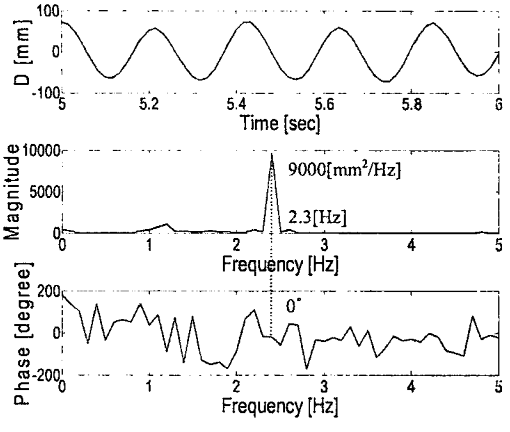
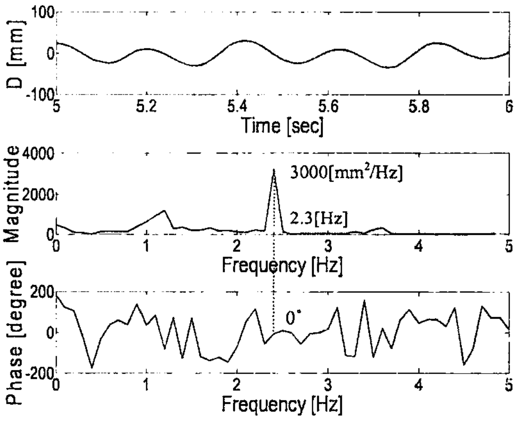


Fig 7. Coordinates separation using K-means algorithm from spring experiment, where '+' point 1, 'o' point 2, '*' point 3.

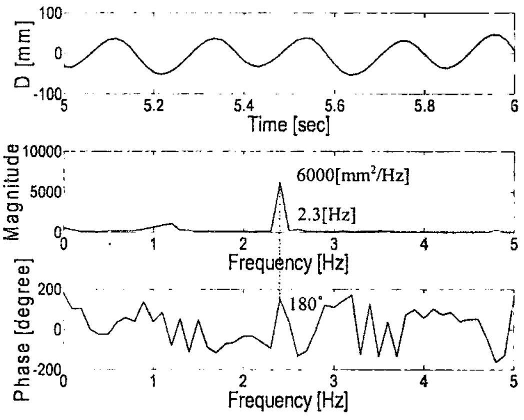
CCD 카메라를 이용하여 3 점을 동시에 측정한 결과를 Fig 8 에서 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 2.3 Hz 에서 point 1 과 point 3 의 주파수 크기는 비슷하지만, phase 가 180 도 차이 남을 볼 수 있다



(a)



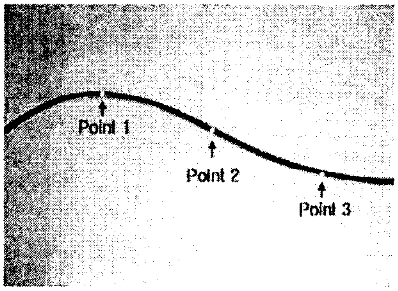
(b)



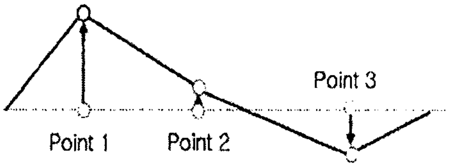
(c)

Fig 8. Experimental result. Upper figure is displacement, middle figure is spectrum and bottom figure shows phase at (a) point 1, (b) point 2, (c) point 3

따라서 Figure 9 (b)와 같이 2.3Hz 에서의 진동 모드 형상을 구할 수 있다. 이것은 Figure 9(a)의 실제 진동 형상과 일치함을 관찰할 수 있다.



(a)



(b)

Fig 9 Mode analysis, (a) True vibration shape, (b) Calculated mode shape

4. 결 론

고온지역 또는 방사능 구역과 같이 센서를 사용하기 어려운 곳에 CCD 카메라의 영상을 이용하여 진동 주파수 및 변위 측정을 할 수 있음을 확인하였다. 또한 관심 영역의 다중 포인트를 동시에 측정할 때 패턴인식의 K-means 알고리즘을 이용하여 각각의 포인트를 분류할 수 있었다. 복잡한 구조의 배관이나 구조물에 한번의 영상 촬영으로 여러 포인트의 변위를 측정할 수 있기 때문에 구조물의 진동 모드 형상까지도 쉽게 찾을 수 있음을 실험으로 검증하였다. 장비설치가 기존의 방법에 비하여 간단하고 장소 제약이 적어 구조물의 안전감시 및 점검에 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

(1) James R. Parker, Algorithms for Image Processing and Computer Vision, John Wiley &Sons, New York, 1997

(2) R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, Addison Wesley, 1992.

(3) Chowdhury, M. H. and W. D. Little, "Image Thresholding Techniques", 1995, IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers, and Signal Processing, pp. 585-589.

(4) Otsu, N., 1979, "A Threshold Selection Method from Gray-level Histograms", IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 9, pp. 62-66.
(5) J. B. MacQueen (1967): "Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations, Proceedings of 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability", Berkeley, University of California Press, 1:281-297