

영상처리를 이용한 비접촉식 교량변위 측정 시스템

Bridge Displacement Measurement System Using Image Processing

이 중 운*, 오주성**, 권순덕***, 곽종원****,
(Jong-wun Lee, Ju-sung Oh, Soon-Deuk Kwon, Jong-won Kwok)

Abstract - Bridge displacement measurement system using image processing is developed to overcome the contact type system inefficiencies such as heavy, expensive property and temporary construction necessity. The system is composed of tablet PC with IEEE1394 digital camera, telescope lens and a designed target mark. The key is projection algorithm where all pixels are added up for each row(column) to find out the center line. The experimental results are shown compared with a contact type system.

Key Words : Vibration, Bridge Displacement, Image Processing, Telescope Lens

I. 서 론

현재 교량의 유지관리를 위한 점검과 안전진단이 정기적으로 수행되고 있다. 그런데 기존의 방법을 보면 교량 하부에 접촉식 센서를 설치하는 방법을 대부분 사용하고 있으므로 하부조건에 따라 상당한 어려움이 있다. 아울러 센서를 고정하기 위한 가시설물의 설치비용 또한 상당하며, 신호를 증폭하고 저장하기 위한 부수적인 장비들이 필요하다. 이러한 면을 볼 때, 현재 안전진단에 사용되고 있는 장비들은 실용성이 떨어지므로 교량의 동적변위를 간단히 측정할 수 있는 장비의 필요성은 매우 높다.

본 연구에서는 이러한 점에 착안하여 영상처리를 이용한 시설물의 진동측정시스템을 개발하는데 목적을 두었다. 본 연구에서 개발한 기술은 대상 구조물에 부착한 타겟의 움직임을 디지털 카메라를 이용하여 촬영하고, 영상처리기술을 이용하여 구조물의 변위를 자동적으로 측정/기록하는 기술이다.

그림 1. 전체 시스템 구성

그림 1은 전체시스템의 구성으로써 시스템은 측정하려고 하는 교량에 붙이는 타겟(target), 그 타겟을 촬영하여 영상물 만드는 디지털카메라와 망원렌즈 그리고 카메라에서 영상신호 데이터를 받아오는 IEEE1394 케이블과 카드, 노트북으로 구성되어 있다.

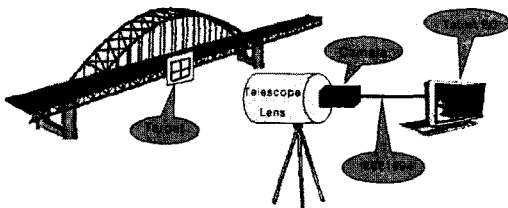
타겟은 그림 1처럼 흰바탕에 검은색으로 발전(田)자 표시가 되어있고, 망원렌즈는 100m 이상으로 원거리 측정이 가능하도록 Schmidt-Cassegrain 방식이며, 직경(Diameter) 8", 초점거리(Focal Length) 2000mm 인 천체망원경을 선정해서 사용하였다. [1]

카메라는 고조파성분까지 측정하기 위해 샘플링레이트(Sampling rate)가 100Hz 이상 즉, 프레임레이트(Frame rate)가 100fps(frames per second)인 고속 디지털카메라를 선정하였고, IEEE1394 방식을 사용, 해상도 640*480 이미지를 100fps 전송이 가능하다.[2]

노트북은 이미지를 받아 연산후에 변위값을 저장및 그래프로 디스플레이 한다.

II. 본 론

1. 전체시스템 구성



2. 측정 알고리즘

측정 알고리즘은 기본적인 전처리과정을 거친 후, 처리시간 단축을 위하여 프로젝션 알고리즘을 이용하여 타겟의 중심 위치를 인식하는 방법을 쓴다. 프로젝션 알고리즘은 원영상에서 원하는 영역을 선택한 후, 그 영역 내에서 x축, y축으로 영상의 밝기 값을 더하면, 타겟의 선 위치를 찾을 수 있다는 것이다.(그림 2)

저자 소개

- * 동양대학교 시스템제어공학과 교수.공박
- ** 동양대학교 시스템제어공학과 석사과정
- *** 전북대학교 토목공학과 교수.공박
- **** 한국건설기술연구원 구조연구부 공박

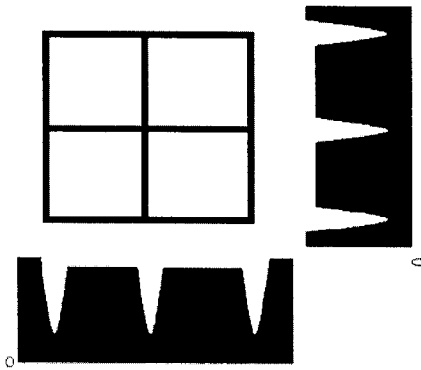


그림 2. x, y축의 영상 밝기값의 합

이 프로젝션 데이터의 에지(edge)포인트를 찾고, 찾아진 에지 점들을 포물선이라고 가정하고 중심점을 찾으면 타겟의 위치를 알게 된다.

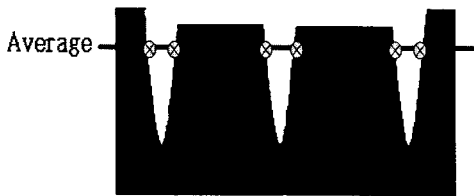


그림 3. 타겟의 위치를 찾아내는 방법

프로젝션 데이터의 에지를 찾는 알고리즘은 그림 3과 같이 프로젝션 버퍼를 생성하여 선택된 영역의 데이터를 프로젝션 X, Y에 누적시킬 시키고, 평균값을 구한다. 평균값을 활용하여 기준레벨을 설정하고 누적된 프로젝션 데이터에서 기준레벨과 교차되는 6개의 에지 포인트를 찾은 후, 각 에지점 사이의 데이터를 이용하여 LSE(Least Square Error)법의 Curve Fitting 알고리즘을 이용해서 타겟의 중심점을 찾게 된다. 다음에 그 식을 보인다.

$$E = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)^2$$

$$\frac{\partial E}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n x_i^2 (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n x_i (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial c} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c) = 0$$

캘리브레이션의 경우에는 3점의 위치를 다 찾아서 픽셀당 mm값, P_x 를 계산할 수 있으며, 오토매틱(측정모드)의 경우는 이때 찾은 3점 중, 가운데 점의 위치만 추적함으로써, 빠른 시간 내에 타겟의 변위, 즉 교량의 변위를 계산할 수 있는 것이다.

$$P_x = \frac{L_T x}{C_{3x} - C_{1x}} \quad , \quad P_y = \frac{L_T y}{C_{3y} - C_{1y}}$$

L_T : 타겟의 길이

C_1 : 첫 번째 중심점의 (영상)위치

C_3 : 세 번째 중심점의 (영상)위치

k-번째 샘플링 타임에서 찾은 가운데점의 위치를 X_k, Y_k 라고 하고, 캘리브레이션시의 가운데점을 X_0, Y_0 라 하면 변위는 다음과 같다.

$$d_x = (X_k - X_0) * P_x, \quad d_y = (Y_k - Y_0) * P_y$$

d : 이동거리 - 타겟의 실제 변화폭(mm단위)

X_0, Y_0 : 기준점-최초의 센터 점(픽셀단위)

X_k, Y_k : 이동점-이동한 타겟의 센터(픽셀단위)

P_x, P_y : 픽셀당 길이 - 산출된 mm/pixel값

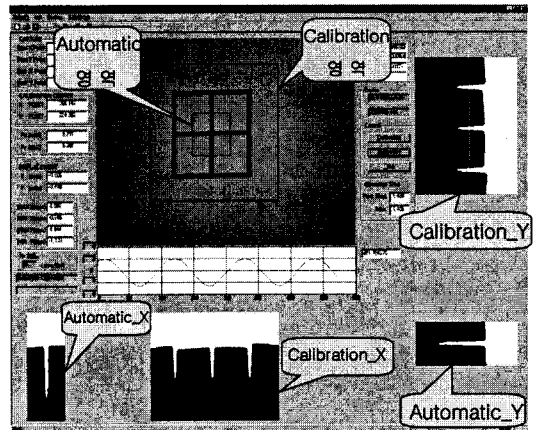


그림 5. 전체적인 알고리즘 검증

그림 5는 전체적인 시스템의 동작을 제어하고, 알고리즘을 검증하기 위한 화면이다. 타겟(田) 바깥쪽에 그려진 사각형이 Calibration 설정영역이고 누적된 Y축 프로젝션 데이터를 타겟(田) 우측에 나타내었다. X축은 타겟(田) 밑 부분에 나타내었으며 중간 흰선은 평균을 나타낸다.

프로젝션 데이터 값과 흰색 평균선의 교차점을 찾아 CurveFitting알고리즘을 적용하여 타겟의 중심점을 찾으며 이값이 기준값이 된다.

타겟(田) 안쪽에 그려진 사각형이 Automatic 영역이다. Processing Time을 줄이기 위해서 필요한 영역만 계산하며

Calibration과 동일한 algorithm을 적용해서 나온값을 기준값과 비교하여 오차(변위)를 그래프로 나타낸다.

III. 결론

개발된 시스템의 동작화면과 전체사진을 아래에 보인다.

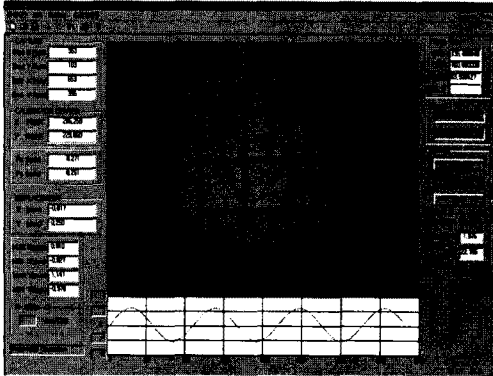


그림 6-1. 시스템의 동작화면

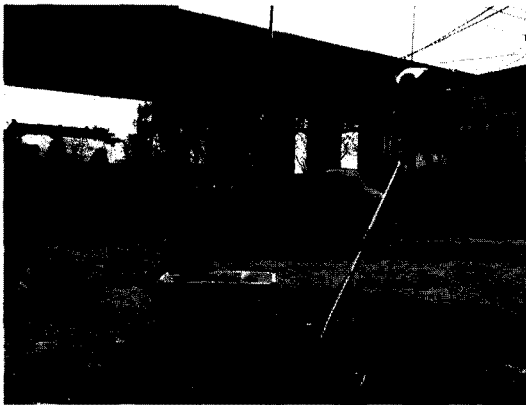


그림 6-2. 실제현장 측정 모습

개발된 시스템의 성능을 검증하기위하여 비교실험을 수행하였다. 실내에서 교량모형을 만들어 진동량을 레이저변위계와 개발된 시스템을 이용하여 측정하면서 알고리즘 동작을 확인하였고, 실제 사용환경인 실외에서도 접촉식과 비접촉식의 비교실험을 진행하였다.

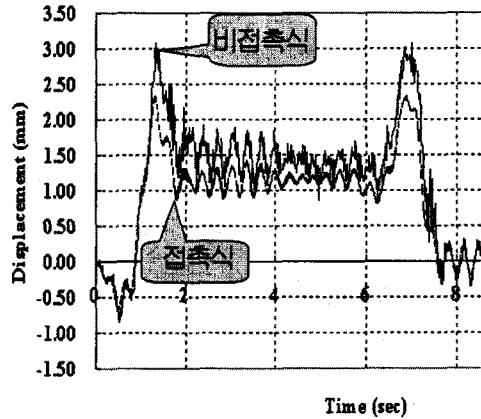


그림 7-1 측정결과 비교(KTX교량,04-9-3)

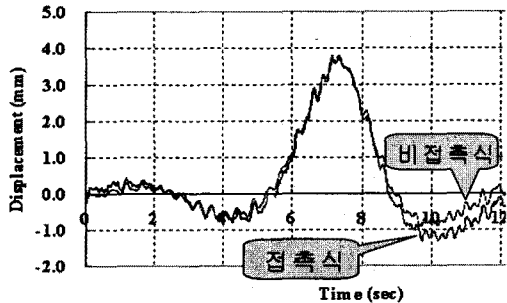


그림 7-2. 측정결과 비교(국도교량,04-11-25)

그 결과값을 그래프로 나타내어 본 결과 거의 동일한 거동양상을 보인다(그림 7-1,그림 7-2)

그림 7-1.은 개발초기의 결과이다. 형태는 비슷하지만 미세한 노이즈와 변위차가 발생하고 있음을 알수 있다. 이 차이는 현장의 바람, 조도, 진동 등 외부 환경요인의 문제에 의해서 주로 발생하는 것으로 판단되었다.

이러한 요인을 보완하기 위해 천막, Image Enhancement, 방진패드 등을 적용하여 재실험을 한 결과값이 그림 7-2. 이다. 개발초기에 비해서 노이즈와 변위차가 많이 줄었다. 하지만 상품화를 위해서, 주위 환경요인에 민감한 단점을 최소화하기위해 앞으로 계속 연구 개발이 이루어져야 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] "NexStar8i Instruction Manual", Celestron, pp55 ~ 56 (Technical Specifications)
- [2] "A602f User's Manual", Basler, 1.2 (Performance Specifications)
- [3] 김창근, "MATLAB을 이용한 수치해석", 교우사, pp269 ~ 304.