

# 사진측량법과 다시점 카메라를 이용한 구조물의 변위계측

여정현, 윤인모, 정영기

호남대학교

## Displacement Measurement of Structure using Multi-View Camera & Photogrammetry

JeongHyeon Yeo, InMo Yoon, YoungKee Jung

Honam University

E-mail : unlimitedPower@hotmail.com

### 요 약

본 논문에서는 구조물의 안전성을 목적으로 변위를 감시하는 자동화된 시스템을 제안한다. 사진측량 기법은 서로 다른 각도에서 촬영된 2차원 이미지로부터 대상물의 정밀한 3차원 형상을 얻어내는 기법으로써 구조물의 변형을 분석하기에 매우 정확하면서도 편리하다. 본 논문은 카메라보정, 표정점(coded target)을 이용한 특징점의 획득, 획득된 특징점의 3차원 복원 및 정확도 분석의 과정으로 구성된다. 논문에서 사용되는 다시점 카메라 각각의 카메라는 일정한 거리와 시차로 배치하였다. 카메라 보정은 다시점 카메라로부터 획득된 3장의 영상에서 7개 이상의 대응점들로부터 트라이포컬 텐서를 구하고 이로부터 유클리드 카메라를 구하는 자기교정(self-calibration) 방법을 사용하였다. 특히 특징점 획득 과정에서, 정확한 좌표를 구하기 위하여 외곽형상으로부터 중심점의 좌표를 정확하게 계산해내는 서브픽셀 기법을 사용하고 패턴 인식 기법을 이용하여 특징점을 자동으로 검출하였으며, 실세계 좌표상에서의 실측값을 구하기 위하여 스케일 바를 사용한다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose an automatic displacement system for testing stability of structure. Photogrammetry is a method which can measure accurate 3D data from 2D images taken from different locations and which is suitable for analyzing and measuring the displacement of structure. This paper consists of camera calibration, feature extraction using coded target & retro-reflective circle, 3D reconstruction and analyzing accuracy. Multi-view camera which is used for measuring displacement of structure is placed with different location respectively. Camera calibration calculates trifocal tensor from corresponding points in images, from which Euclidean camera is calculated. Especially, in a step of feature extraction, we utilize sub-pixel method and pattern recognition in order to measure the accurate 3D locations. Scale bar is used as reference to measure the accurate value of world coordinate.

### 키워드

다시점 카메라, 사진측량, 트라이 포컬 텐서, 카메라 자기교정, 표정점, 서브픽셀

### 1. 서 론

사진측량학은 1839년 프랑스인 Daguer가 사진술을 발명한 이후 19C 중엽 프랑스인 Laussedat에 의해 측량에 이용되기 시작하였다.

지상사진 측량은 1960년대부터 활발한 연구가 진행되어 70년대부터 세계의 선진 국가에서는 산업전반에 걸쳐 정밀측정분야에 응용되기 시작하여 그 중 문화재로서 가치가 있는 구조물, 건축물 및 구조의 안전진단, 농업, 자원 조사, 산림, 생태, 오염도 조사 등의 조사에 활용되어 왔

다. 사진계측은 촬영과정의 자동화, 필름의 해상력 증가, 초 광각렌즈 및 자동화기의 개발 등으로 발전을 거듭하였으며, 고속도 컴퓨터 및 자동처리, 해석적 및 필름을 이용하지 않는 디지털 사진계측, 영상해석 및 특수사진, 정사사진 기법 등의 개발로 정확도 및 처리시간에 큰 발전이 있었다.

그중에서도 구조물의 안전을 위한 지속적인 감시를 목적으로 다양한 형태의 계측기기 및 계측법이 적용되어 왔다. CCD를 이용한 계측은 그들 중에 하나로써 비접촉으로 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있어 현장 접근이 난해한 경우, 교통 통제와 같은 사회적인 부담 또는 여러 가지 위험 요소를 내포하고 있는 건설 구조물에 적용하여 구조물의 지속적인 안전을 위해서 유용하다. CCD의 보급 증가로 이를 이용한 계측에 관심을 갖게 되었다. 디지털 카메라 제작 기술의 급속한 발전으로 인하여 사진측량기법은 이전의 광학 정밀 측정을 능가하는 정확도를 제공함으로써 최근엔 매우 높은 정밀도를 요구하는 위성의 탑재물 접합과정에서도 이를 이용하고 있다[1][2].

현재까지의 변위 계측 방법은 1대의 디지털 카메라를 이용하여 여러 각도에서 다수의 영상을 획득하고 변위 계측 소프트웨어를 통하여 3차원으로 복원하는 수동적인 시스템이다. 장기간에 걸쳐 구조물의 변위를 측정해야 할 경우 시간과 비용 측면에서 부담이 커질 수 있다는 점과 변위 계측 소프트웨어를 다루는 기술자의 능력에 따라 계측 결과가 달라 질 수 있는 단점을 가지고 있다. 그러므로 본 논문에서는 다시점 카메라를 통하여 디지털 영상을 자동으로 획득하고 특징점의 3차원복원 및 계측까지 자동화된 시스템 구현을 목표로 하였다.

## 2. 제안한 변위계측 방식

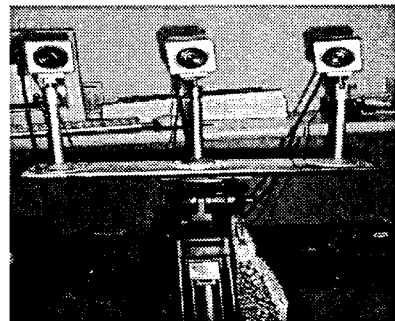
본 논문에서는 다중시점 카메라로부터 3장의 영상을 입력으로 받아 영상에서 특징점을 추출하고 그 대응점들의 관계로부터 3차원 복원하고 이전에 복원된 데이터와 현재 데이터로부터 구조물의 변위를 계측하는 자동화된 시스템에 관하여 다룬다. 3차원 포인트 복원과정은 다음과 같다. 동일한 장면을 서로 다른 자세 및 위치에서 촬영한 3장 이상의 영상이 주어졌을 때, 각 영상에 대응하는 카메라의 파라미터를 구하기 위해 3장의 영상에서 7개 이상의 이미지 포인트의 대응쌍을 추출하고, 각 영상에 대응하는 유클리드 카메라를 구한다. 마지막으로 이미지 포인트의 대응쌍들로부터 3D 포인트들을 복원한다. 그림 1에서는 제안한 시스템의 전체적인 흐름을 보여주고 있다.



<그림 1> 다시점 카메라를 이용한 구조물의 변위 계측 전체 구성도

### 2.1 다시점 카메라

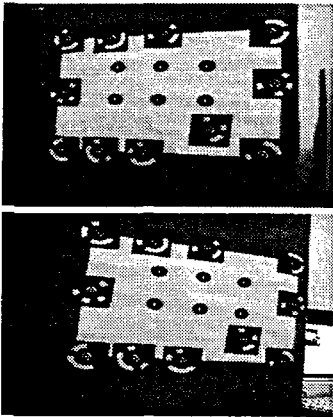
실험을 위하여 CCD 카메라 3대를 그림 2와 같이 삼각대 위에 설치하였다. 각각이 카메라는 서로 다른 각도를 가지고 있다. 영상 획득시 카메라 사이의 각(parallax)은 영상간의 기하학적 관계를 명확하게 결정짓게 하는 요소이다.



<그림 2> 카메라 시스템

2.2 특징점 추출/정합

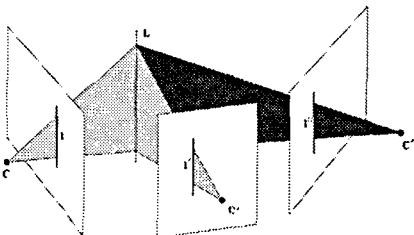
변위 계측에 있어서 처리 속도는 영상간의 대응점이 어떻게 검출되느냐에 의해 결정되어진다. 영상 내에서 대응점을 정확하게 찾기 위하여 자동 대응점 검출 방법을 사용하였다. 복원하고자 하는 구조물의 특징 위치에 표정점(coded target) 및 역반사 특징점(retro-reflective circle)을 부착시키고, 획득된 영상으로부터 각각의 특징점을 패턴 인식 기법을 이용하여 대응점을 검출한다. 특히 대응점의 중심좌표를 정확하게 구하기 위하여 서브픽셀 기법을 이용하여 검출하였다[3]. 그림 3는 자동 대응점 검출 결과를 보여주고 있다.



<그림 3> 자동 대응점 검출

2.3 다시점 관계 정의

세 장의 영상에서 얻은 7개 이상의 이미지 포인트 대응쌍들로부터 트라이포컬 텐서를 구할 수 있다. 그림 4는 세 장의 영상에 대한 트라이포컬 텐서의 기하학적 관계를 설명하고 있다[4][5].



<그림 4> 트라이포컬 텐서의 기본 원리

2.4 프로젝티브 복원

세 영상 사이의 트라이포컬 텐서로부터 두 번째 영상과 세 번째 영상에 대응하는 프로젝티브 카메라의 투영 행렬을 구한다. 첫 번째 영상에서 대응하는 프로젝티브 카메라의 투영행렬은  $[1|0]$ 으로 주어진다. 그리고 여러 장의 영상으로부터 얻은 이미지 포인트 대응쌍들과 각 영상에 대응되는 프로젝티브의 초기 투영행렬 값들로부터 프로젝티브 번들 조정(projective bundle adjustment)를 수행하여 최적화된 투영 행렬들을 계산한다.

2.5 유클리드 복원

대응점들로부터 프로젝티브 복원을 수행하고 카메라 파라미터를 계산하여 유클리드 공간으로 변환을 수행하는 단계로서 자기교정 방법을 사용하였다. 카메라 자기교정(auto-calibration)을 수행하여, 주어진 프로젝티브 카메라를 유클리드 카메라로 변환하기 위한 3D 호모그래피 행렬  $H$ 를 구한다. 프로젝티브 카메라의 투영행렬 (projection matrix)을  $P_p$ , 유클리드 카메라의 투영행렬을  $P_E$ 라고 하면, 수식(1)과 같이 정의된다.

$$P_E = P_p H \quad (1)$$

그럼, 식(2)와 같이 각각의 프로젝티브 카메라들을 유클리드 카메라들로 갱신할 수 있다[5][6].

$$P_{En} = P_{pn} H = [K_n | 0] \quad (2)$$

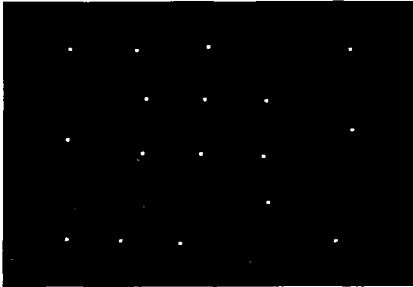
2.1.5 스케일 팩터 적용

2D 영상만으로는 정확한 스케일 팩터를 알 수 없다. 사진계측으로 크기를 측정하려면, 알고 있는 치수가 최소한 하나는 있어야 한다. 만약 어떤 Target Point들의 좌표값을 미리 알고 있다면, 이들 Point간의 스케일을 알 수 있고 또 그 값을 기준치수로 이용할 수 있다. 다른 한 가지 방법은 길이를 알고 있는 막대 양 끝에 Target이 붙은 스케일 바를 이용하여 스케일 팩터를 적용할 수 있다.

3. 실험결과

그림 2의 다시점 카메라 시스템을 통해서 얻어진 영상으로부터 대응점을 자동으로 검출, 영상간의 관계로부터 3차원 점들로 복원한다. 자

동화된 구조물 변위 계측 시스템을 통해 구해진 좌표들이 그림 5에 나타나 있다.



<그림 5> 복원된 3D Point

<표 1> Point 좌표

P.N	X	Y	Z
1	18.80352	9.183885	5.522418
2	13.028106	9.356793	3.659972
3	7.374464	9.518849	1.563096
4	7.690442	15.494111	1.119936
5	13.362212	15.324136	3.110747
6	19.082101	15.175343	5.061134
7	6.667373	20.960779	0.218796
8	19.235987	4.315992	6.151016
9	0	0	0
10	25.223566	0.488118	8.435213
11	26.649188	20.576135	7.103894
12	13.702071	21.804528	2.662578
13	26.728295	12.01397	7.878348
14	-0.018519	10.964818	-1.131265
15	11.150693	-0.092981	3.85307
16	0.181162	21.300347	-2.062794
17	5.342324	0.0570331	1.855475

변위 측정 결과 최저 0.13mm에서 최대 0.71mm까지의 편차가 발생하였다. 대상물의 크기를 고려할 때 대략 1/60,000 정도의 측정 정밀도를 갖는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 구조물의 변위 계측 과정을 자동화 하는데 그 목적이 있다. 이전의 계측 방법

들은 CCD 카메라로 현장에서 영상을 획득하여 계측 소프트웨어를 통해서 소프트웨어 전문가가 변위를 측정했다. 즉, 모든 처리 과정들이 나누어져 있고, 영상 획득 시 현장에서 직접 영상을 얻어야 했기 때문에 수작업으로 처리해야 할 일이 많았다. 하지만 제안된 자동화 시스템에서는 간단한 조작만으로 변위를 측정할 수 있기 때문에 비전문가도 간단하게 사용할 수 있겠다. 사회 기반 구조물의 안전을 위한 지속적인 감시가 필요하기 때문에, 자동화된 변위 측정 시스템의 필요성이 요구되어 지고 있다. 본 논문에서 제시한 자동화된 변위 계측 시스템은 현재 지속적인 변위 측정을 요구하는 분야에서 활용되어 질 수 있다.

#### 5. 감사의 글

본 논문은 산업자원부의 출연금 등으로 수행한 지역전략사업 석박사 연구인력 양성사업의 연구결과입니다.

#### 참고문헌

- [1] 허광희, "건설구조물의 거동특성평가를 위한 CCD-변위계측법", 건양대학교 토목공학과, 산학기술협력연구논문집 제4권, 2001.
- [2] 우성현, "사진측량법을 활용한 다목적 실용위성 2호 고해상도 카메라 접합면의 정밀 측정", 한국항공우주연구원.
- [3] Vladimir A. KNYAZ, "The development of new coded targets for automated point identification and non-contact 3D surface measurements", RUSSIA.
- [4] Marc Pollefeys, "3D Modeling from Images", In conjunction with ECCV 2000, June 2000.
- [5] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in computer vision", Cambridge University Press, 2003.
- [6] Hartley, R, "Euclidean reconstruction from uncalibrated views", In Applications of Invariance in Computer Vision.
- [7] Michael Fedak, "3D Measurement Accuracy of a Consumer-Grade Digital Camera and Retro-Reflective Survey Targets", InSpec Engineering Services.