

스테레오 디지털 카메라를 이용한 사진측량의 정확도 The Accuracy of Stereo Digital Camera Photogrammetry

김기홍¹⁾ · 윤준희²⁾ · 박하진³⁾

Kim, Gi Hong · Youn, Jun Hee · Park, Ha Jin

Abstract

In this study a stereo digital camera system was developed. Using this system, we can collect informations such as coordinates, lengths of all objects shown in the photo image just by taking digital photograph in field. This system has the advantage of obtaining stereo images with settled exterior orientation parameters, while the accuracy slightly worsen because in a close range photogrammetry with stereo digital camera system, the base line distance is restricted within about 1m. We took images with various exposure distances and angles to objects for experimental error assessment, and analyzed the affection of image coordinates errors.

Keywords : Digital camera, Photogrammetry, Stereo images

초 록

본 연구에서는 스테레오 디지털 카메라 장비를 제작하였고 이를 이용하여 현장에서 간편하게 디지털 영상만을 촬영한 후 영상처리를 통해 영상에 나타난 모든 대상물의 좌표, 길이 등의 정보를 취득할 수 있다. 스테레오 디지털 카메라 장비를 이용하여 근거리 사진측량을 수행하는데 있어서 카메라 사이의 기선거리가 1m 정도로 제약을 받기 때문에 간편하게 외부표정요소가 미리 결정된 스테레오 영상을 취득할 수 있는 장점이 있지만 짧은 기선거리로 인해 정확도에는 제약을 받게 된다. 대상물에 대한 촬영 거리와 촬영 각도를 다양하게 설정하여 각각의 경우 발생하는 오차를 실험하였으며, 영상측점의 오차가 미치는 영향도 분석하였다.

핵심어 : 디지털 카메라, 사진측량, 입체영상

1. 서 론

최근 토목시공 및 유지관리 기술이 발달함에 따라 설계, 시공, 유지관리 과정에서 정밀 공간위치 형상정보의 수요가 증가하고 보다 신속한 갱신 또한 요구되고 있다. 이에 위치정보, 주기적 변화탐지, 속성정보추출, 상황분석 및 의사결정 지원 시스템에 측량기술의 성과가 크게 대두되고 있으며 디지털 영상을 처리하여 대상물에 대한 위치정보와 속성정보를 취득하고 이를 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

그동안 수행된 디지털 카메라 영상관련 연구로, 유복모

등(1997)은 Abdel-Aziz와 Karara가 제안한 직접선형변환식과 방사 및 편심왜곡을 검정하기 위한 모형식을 구성하였고, 정수 등(2005)은 콤팩트형 디지털 카메라의 물리적 사진기 매개변수를 직접선형변환식으로부터 산정하였으며, 오재홍 등(2006)은 내부 표정요소를 정확히 계산하기 위하여 지상 기준점수, 사진의수, 기준점의 차원등의 조건에 따른 카메라 자체 검정 정확도에 대하여 분석 하였다. 그리고 Pullivelli(2005)는 내부표정요소를 지속적으로 동일한 값을 구할 수 없더라도 향후 번들 조정시에 외부표정요소와의 상관관계로 인하여 보상이 됨을 밝혔다. 줌 렌즈 카메라에 대해서는 유환희 등(2003)이 줌 렌즈 CCD 카메라의 변

1) 정희원 · 강릉원주대학교 토목공학과 조교수(E-mail:ghkim@gwnu.ac.kr)

2) 교신저자 · 정희원 · 삼성SDS 공공건설링그룹 수석건설턴트(E-mail:junhee.youn@samsung.com)

3) 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정(E-mail:saifree@nate.com)

수 계산과 3차원 위치 정확도를 평가하기 위해 DLT와 Tsai 기법을 비교분석하였다. 최근 각종 기기들을 이용하여 간편하게 디지털 영상을 취득할 수 있으며 일반적으로 널리 이용하는 디지털 카메라는 비교적 저가의 기기로 손쉽게 디지털 영상을 취득할 수 있고, 자료의 취득, 저장, 재생, 활용 및 타 시스템과의 연계에도 많은 장점을 가지고 있다. 김진수 등(2003)은 수치사진측량 기법을 이용해 문화재 측량을 수행하였고, 고정우 등(2010)은 일반 디지털 카메라를 이용하여 석고상을 대상으로 표정 점의 수와 기선길이에 따른 정확도를 분석하였으며 박하진 등(2010)은 콤팩트형 디지털 카메라에 대해 촬영거리와 측점오차가 정확도에 미치는 영향을 실험하였다.

본 연구에서는 디지털 영상을 취득하는데 있어서 일반적으로 하나의 카메라로 영상을 취득하는 단사진 촬영이 아닌 동시에 두 대의 디지털 카메라를 이용하여 영상을 취득함으로써 영상에서 대상점에 대한 3차원 위치정보 및 길이, 면적 등의 정보를 취득하는 장비를 제작하고 이를 근거리 사진측량에 활용하였다. 두 대의 카메라를 하나의 프레임 상에 고정시킴으로서 외부표정요소를 고정된 값으로 이용할 수 있으며 이를 통해 3차원 상대좌표를 영상 촬영과 측점만으로 간편하게 구할 수 있다. 이를 위하여 기선거리 1m로 2대의 디지털 카메라를 하나의 플레이트에 장착하였으며 각각의 카메라에 대해 내부표정을 하고, 스테레오 카메라에 대해 하나의 좌표계상에서 외부표정을 수행하였다. 그리고 야외에서 정확한 길이를 관측한 타겟을 촬영한 후 촬영거리와 촬영각도에 따른 오차와 특정 촬영거리에서 영상측점 오차에 따른 위치정확도를 평가하여 스테레오 디지털 카메라 장비를 이용한 사진측량의 정확도를 분석하고자 하였다.

2. 장비의 제작 및 구성

본 연구에 사용한 디지털 카메라는 일반 디지털 카메라 중에서도 하이엔드급인 SONY CYBER-SHOT DSC-R1 제품으로 초점거리는 14.3mm이고 센서는 21.5×14.4mm CMOS로 1080만 화소이다. 사진측량을 위한 장비는 카메라 두 대를 이용하여 기선거리가 1m인 하나의 프레임 상에 제작하였다. 제작된 장비의 모습은 그림 1과 같다. 두 대의 카메라는 나무 플레이트 위에 볼트와 너트로 고정했으며 실리콘으로 보강하여 완전히 고정하였다. 플레이트 가운데 수준기를 부착하여 지표에 수평하게 영상을 촬영할 수 있도록 고안하였다.

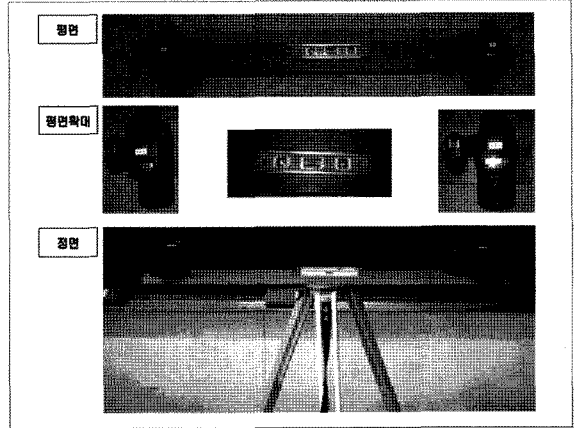


그림 1. 스테레오 디지털 카메라 장비

3. 카메라의 표정

3.1 카메라의 내부표정

디지털카메라에서 임의의 점의 좌표(X, Y, Z)와 카메라의 영상 면에 투영된 좌표(x, y) 그리고 렌즈 왜곡 계수 사이에는 그림 2와 같은 기하학적인 관계와 함께 식 (1)와 같은 모델식이 적용될 수 있다.

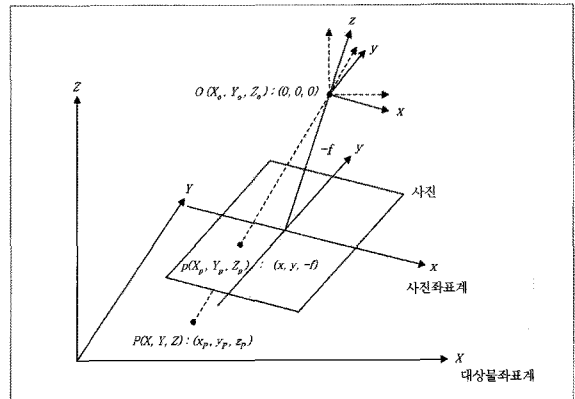


그림 2. 사진의 기하

$$\begin{aligned} x + x_p + \Delta x &= -f \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{21}(Y - Y_0) + m_{31}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ y + y_p + \Delta y &= -f \frac{m_{12}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{32}(Z - Z_0)}{m_{13}(X - X_0) + m_{23}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 x, y : 영상좌표, x_p, y_p : 주점의 위치, f : 초점거리, $m_{11} \dots m_{33}$: 회전행렬, X, Y, Z : 대상물좌표, X_0, Y_0, Z_0 : 투영중심, $\Delta x, \Delta y$: 렌즈 왜곡 계수이다. 렌

즈 왜곡은 식 (2)와 같이 방사왜곡만을 고려하였다.

$$\begin{aligned} \Delta x_r &= k_1 r^2 x + k_2 r^4 x + k_3 r^6 x + \dots \\ \Delta y_r &= k_1 r^2 y + k_2 r^4 y + k_3 r^6 y + \dots \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 k_1, k_2, k_3 는 방사방향 왜곡에 대한 계수이고 r 은 식 (3)과 같이 표현되는 주점에서부터의 방사거리이다. 본 연구에서는 k_1, k_2 만을 이용하였다.

$$r^2 = (x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 \quad (3)$$

카메라의 초점거리, 주점이동량, 렌즈왜곡계수 등은 카메라마다 독자적으로 갖게 되는 고유 특성값으로 이러한 값들을 결정하기 위한 과정이 내부표정이다. 렌즈왜곡계수 중 편심왜곡은 대부분의 근거리 사진측량에서 그 차이가 미미하여 고려하지 않았으며 방사왜곡계수의 경우 Pullivelli(2005)의 연구 결과를 고려하여 2차항 까지만을 적용하였다. 내부표정 작업을 위한 표정판은 그림 3과 같이 크기 1m×1m로 제작하였다. 설치된 타겟은 총 81점이며 봉의 크기는 3단계로 10cm, 20cm, 30cm 크기의 봉을 불규칙하게 배열하였다. 각각의 타겟들의 3차원 좌표를 측정하기 위하여 2대의 데오돌라이트를 이용한 간접삼각측량을 실시하여 측량성과를 취득하였다.

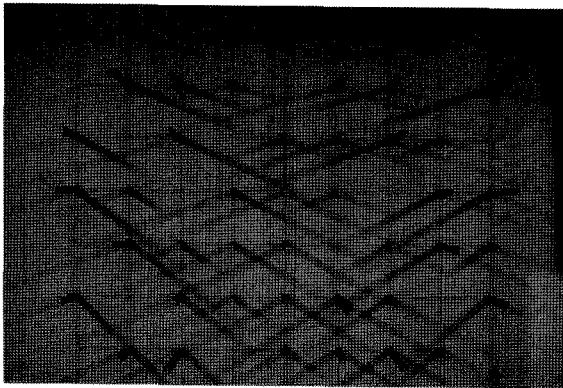


그림 3. 내부표정을 위한 표정판

내부표정을 위해 개발된 프로그램에 카메라의 픽셀 크기, 영상크기, 초점거리 등 카메라 정보를 입력하고 각각의 카메라를 이용해 촬영한 표정판 영상의 타겟점에 대한 영상좌표를 관측하였다. 미리 측량한 표정판의 3차원 좌표와 영상좌표를 식 (1)에 대입하여 내부표정을 수행하였다. 표 1과 2는 좌측과 우측 카메라에 대한 내부표정요소 계산결

과이며 표 3과 4는 81점의 기준점을 대상으로 구해진 내부표정요소와 외부표정요소를 이용하여 영상좌표로 환산한 값과의 차이를 픽셀단위로 구한 오차의 RMSE이다.

표 1. 좌측카메라의 내부표정요소

x_p (주점이동량)	0.109290
y_p (주점이동량)	0.051315
f (초점거리)	6.865163
k_1 (방사왜곡계수)	0.0049880
k_2 (방사왜곡계수)	-0.0001217

표 2. 우측카메라의 내부표정요소

x_p (주점이동량)	0.089097
y_p (주점이동량)	0.037578
f (초점거리)	6.846930
k_1 (방사왜곡계수)	0.0049725
k_2 (방사왜곡계수)	-0.0001169

표 3. 좌측카메라의 내부표정 오차

x(pixel)	y(pixel)
0.368	0.403

표 4. 우측카메라의 내부표정 오차

x(pixel)	y(pixel)
0.369	0.538

3.2 스테레오 카메라의 외부표정

내부표정 작업을 통해서 얻은 내부표정요소들은 카메라마다 가지는 고유한 특성값이기 때문에 식(1)을 이용하여 외부표정만 할때는 고정된 상수값으로 취급한다. 하나의 프레임상에 고정된 두 대의 디지털 카메라를 하나의 좌표계상의 타겟점을 이용하여 외부표정하게 되면, 이후단계부터는 미리 구한 내부표정요소와 외부표정요소를 고정된 값으로 이용할 수 있기 때문에 장비를 이용해 어디에서 영상을 촬영하던지 영상상에 나타난 대상물에 대해 별도의 표정작업을 다시 할 필요없이 영상 측정만으로 대상점에 대한 3차원 상대좌표를 얻을 수 있다. 외부표정요소를 구하기 위한 타겟은 그림 4와 같이 총 41점으로 제작하였으며 크기는 상하 70cm, 좌우 180cm이다. 스테레오 영상의 촬영범위를 고려하여 좌우로 길게 표정점이 분포한다. 내부표정 작업과 마찬가지로 데오돌라이트를 이용한 간접삼각측량으로 지상기준점 3차원 좌표를 관측하였다.

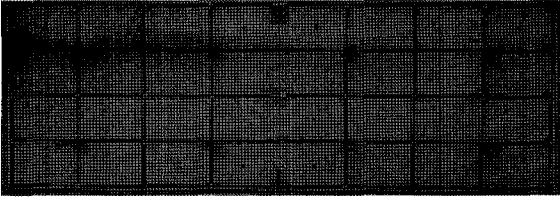


그림 4. 외부표정 표정판

디지털카메라 정보와 내부표정요소 그리고 외부표정요소의 초기값을 개발된 프로그램에 입력한 후, 각각의 카메라 영상에 대해 타겟점을 관측하여 식(1)을 이용한 외부표정을 수행하였다. 내부표정 과정과 마찬가지로 외부표정요소의 값과 오차는 표 5에서 표 8과 같이 정리하였다.

표 5. 좌측카메라의 내부표정요소

X_o	1348.9894
Y_o	-413.0977
Z_o	3408.3920
ω	0.0016
ϕ	-0.0049
k	0.0015

표 6. 우측카메라 외부표정요소

X_o	2383.7293
Y_o	-418.8505
Z_o	3426.0170
ω	-0.0056
ϕ	-0.0047
k	0.0049

표 7. 좌측카메라 표정 결과

x(pixel)	y(pixel)
0.743	0.563

표 8. 우측카메라 표정 결과

x(pixel)	y(pixel)
0.496	0.475

4. 현장 정확도 평가

내부표정과 외부표정 작업을 통해서 얻은 표정요소값을 이용해서 현장에서 취득한 영상을 처리하여 사진측량의 정확도를 평가하였다. 장애물이 없는 운동장에 5개의

타겟을 5m 간격으로 설치하고 스테레오 카메라 장비를 이용하여 촬영거리와 각도를 다르게 하여 영상을 촬영하였다. 촬영지점은 그림 5와 같이 대상물과의 거리는 20m, 40m, 70m, 100m, 각도는 정면, 30도, 60도이다.

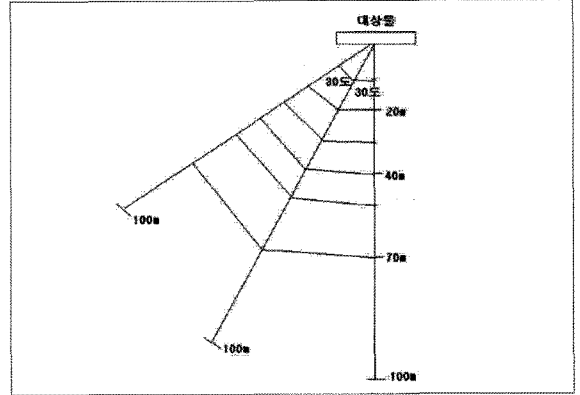


그림 5. 영상 촬영지점

그림 6에서부터 그림 9는 정면을 기준으로 각각의 촬영 거리에 취득한 영상이다. 촬영거리는 5개의 타겟 중 가운데의 타겟을 기준으로 하였다.

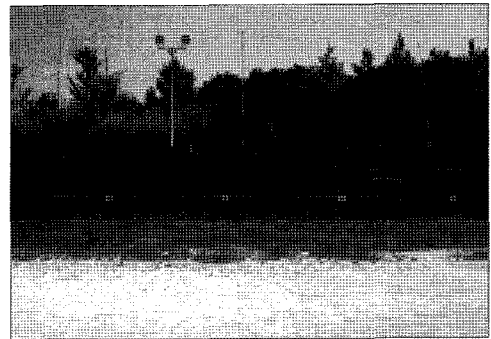


그림 6. 정면 20m



그림 7. 정면 40m



그림 8. 정면 70m

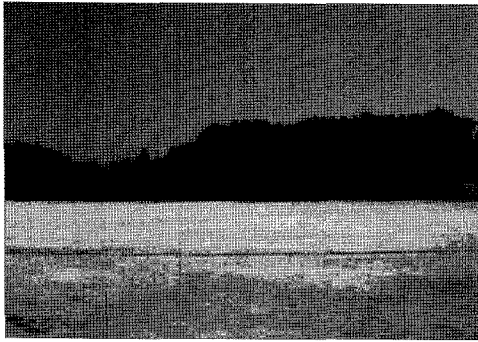


그림 9. 정면 100m

촬영거리가 20m 일 경우는 육안으로 타겟이 쉽게 구분 되어 비교적 정확한 위치의 타겟을 영상 상에서 측정할 수 있었으나 촬영거리가 멀어질수록 영상측점에 어려움이 있었다. 표 9는 각각의 케이스별로 정확히 실측한 거리들과 사진측량 성과들의 오차를 평균한 결과이다.

표 9. 촬영거리와 각도에 따른 오차

촬영 조건		오차(m)
정면	20m	0.079
	40m	0.104
	70m	0.278
	100m	0.765
30도	20m	0.349
	40m	0.337
	70m	1.208
	100m	3.278
60도	20m	0.572
	40m	0.369
	70m	3.547
	100m	5.257

대상물의 길이는 정면에서 가장 정확하게 측정되었다. 타겟이 취득한 영상의 가운데에 위치할수록 정확하게 측정되었다. 스테레오 영상을 이용하여 구한 3차원 좌표 중 촬영거리 방향은 두 영상의 시차를 이용하기 때문에 대상물의 촬영각도가 커질수록 그 오차값은 크게 나타난다. 또한 촬영거리가 멀어질수록 그 오차값은 점점 커지는데 선형으로 비례하는 것은 아닌 것으로 판단된다. 그림 10은 촬영거리와 촬영 각도에 따른 오차가 선형으로 비례하지 않음을 나타내는 그래프이다.

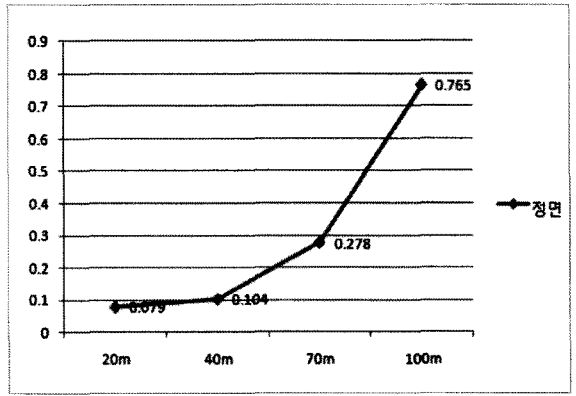


그림 10. 촬영거리에 따른 오차

영상측점은 영상으로부터 3차원 대상점의 좌표를 구하는데 가장 직접적으로 영향을 미치는 인자이다. 영상측점의 오차가 정확도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 좌측 영상은 정확하게 측정하고 우측영상은 정확하게 측정한 결과와 x축과 y축으로 영상측점의 오차가 있는 경우 계산되어지는 대상점의 3차원 좌표 상에는 어떤 영향이 발생하는지 평가하였다. 표 10에서 표 12는 사용자가 정확하게 측정했을때의 결과와 영상측점시 인위적으로 오차를 3픽셀 정도 주었을 때 발생하는 지상 대상공간 좌표계 상의 X, Y, Z축 오차를 분석한 결과이다.

표 10. 20m 지점 위치오차

	X(m)	Y(m)	Z(m)
대상 좌표	1.01	-0.70	23.42
측점오차 x-3	1.02	-0.69	22.95
측점오차 x+3	1.00	-0.70	23.90
측점오차 y-3	1.01	-0.71	23.41
측점오차 y+3	1.01	-0.68	23.42

표 11. 50m 지점 위치오차

	X(m)	Y(m)	Z(m)
대상 좌표	-0.87	-0.41	55.76
측점오차 x-3	-0.74	-0.41	52.63
측점오차 x+3	-1.03	-0.42	59.32
측점오차 y-3	-0.87	-0.44	55.74
측점오차 y+3	-0.87	-0.38	55.78

표 12. 100m 지점 위치오차

	X(m)	Y(m)	Z(m)
대상 좌표	-5.77	-0.43	105.76
측점오차 x-3	-4.96	-0.42	94.34
측점오차 x+3	-6.80	-0.44	120.46
측점오차 y-3	-5.76	-0.49	105.69
측점오차 y+3	-5.77	-0.37	105.83

영상 측정시 영상좌표의 x축 오차의 경우 시차에 영향을 미치지 때문에 대상공간 X축뿐만 아니라 Z축 좌표에도 큰 영향을 미치게 되나 영상좌표의 y축 오차는 Y축 좌표 오차 외에는 영향을 거의 미치지 않음을 알 수 있다. 특히 Z축 좌표는 촬영 거리방향의 축이기 때문에 영상측점의 오차에 대한 영향을 매우 크게 받는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 스테레오 디지털 카메라 장비를 제작하고 개발된 사진측량 프로그램을 이용하여 현장 적용시 기대되는 사진측량의 정확도를 평가하고자 하였다. 스테레오 디지털 카메라 장비에 대해 내부표정과 외부표정 작업을 수행한 후 운동장에 설치한 5m 간격의 5개의 타겟을 대상으로 실험하였다. 실험 결과 촬영거리가 멀어짐에 따라 정확도가 급격히 떨어지는 것을 알 수 있었으며 1m 기선거리의 장비의 경우 40m 촬영거리에서 10cm 정도의 오차가 발생하였다. 기선거리의 제약으로 인해 촬영거리 또한 어느 정도 허용 정확도 내에서 제한을 해야할 것으로 사료된다. 또한 영상측점 오차에 의해 발생할 수 있는 위치오차를 분석하기 위하여 인위적으로 영상측점시 영상좌표 x, y축으로 3픽셀의 오차를 주어 얻은 좌표들을 비교해 보면 영상좌표 y축에 비해 특히 x축 오차가 위치결정에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 특히 Z축 좌표는 촬영 거리방향의 축이기 때문에 영상측점의 오차에 대한 영향을 가장 크게 받는 것을 알 수 있었다. 따라서 영상 측정시 y축 보다는 x축에 보다 높은 정확도로 측점에 신경을 쓰는 것이 측량

결과 측면에서 유리하다는 것을 알 수 있었다. 두 대의 카메라를 고정된 스테레오 카메라 장비는 기선거리의 한계로 촬영거리가 멀면 정확도가 급격히 낮아지지만 손쉽게 영상을 취득하고 현장에서 즉각적으로 사진상에 보이는 무수히 많은 대상점에 대해 영상 측정만으로 간편하게 대상물의 3차원 좌표를 취득할 수 있는 장점이 있다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신 사업과제의 연구비원(07국토정보CO4)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- 고정우, 이병걸, 권혁춘, 외후우르차이흐 (2010), 일반 디지털 카메라를 이용하여 표점점과 기선길이 변화에 따른 수치사진측량 정확도 연구, 한국지형공간정보학회 춘계학술대회, 한국지형공간정보학회, pp. 319-320.
- 김진수, 박운용, 홍순헌 (2003), 수치사진측량기법을 이용한 문화재의 3차원 모델링에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제21권, 제4호, pp. 12-60.
- 박하진, 김기홍, 정수 (2010), 사진촬영 거리에 따른 영상측점 오차가 미치는 영향 분석, 한국지형공간정보학회 추계학술대회, 한국지형공간정보학회, pp. 197-198.
- 오재홍, 이창노, 어양담 (2006), 비측정용 디지털 카메라의 효율적인 지체검정을 위한 대상지 구성, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제24권, 제3호, pp. 281-288.
- 유복모, 이석균, 최송옥, 김기홍 (1997), 근거리 사진측량을 위한 CCD 사진기 검정에 관한 연구, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제5권, 제1호, pp. 159-165.
- 유환희, 정상용, 김성삼 (2003), 줌렌즈 CCD 카메라의 기하학적 검정 정확도 평가, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제21권 제3호, pp. 245-254.
- 정수, 이창노, 오재홍 (2005), 직접선형변환 매개변수로부터 물리적 사진기 매개변수의 산정, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제13권, 제2호, pp. 39-43.
- Pullivelli, Anoop (2005), *Low-Cost Cameras: Calibration, Stability, Analysis, and Applications*, master of science dissertation, University of Calgary, Alberta Canada.