

수치 근접 사진측량에 의한 디지털 카메라 자체검정의 기하학적 수행성 평가

Geometric Performance Evaluation of the Digital Camera of Self-Calibration by Digital Close-Range Photogrammetry

박운용* · 김희규** · 송연경*** · 정공운***

Park, Woon Yong · Kim, Hee Gyoo · Song, Youn Kyung · Jeong, Gong Uhn

1. 서론

근거리 지상사진측량은 사진측량의 기본원리를 이용하여, 사진상에 나타난 2차원 기하형상으로부터 대상물의 3차원 형상을 측정하는 기술로서, 카메라의 취급이 비교적 간단하고 카메라의 노출점을 임의로 결정하여 카메라와 대상물의 관계를 자유로이 조정할 수 있으므로 소규모지역 또는 지상의 대상물을 측정하는데 효과적으로 이용될 수 있다.

수치 사진의 영상을 이용하는 방법으로는 촬영된 사진을 스캐닝하거나 디지털 카메라로 직접 얻어내는 방법이 있는데 최근에는 디지털카메라가 개발되어 근거리 사진측량에 많이 활용되고 있다. 자체저장 능력을 갖고 있는 디지털 카메라는 독립적인 이미지획득의 수행과 수치사진측정기법을 이용한 수치이미지의 실시간 처리가 가능하게 되었으며 이미지해석 분야에 많은 가능성을 제시하게 되었다. 필름을 사용하는 사진기에 있어서는 촬영된 사진을 스캐닝할 때의 기하왜곡이 발생하나 디지털 카메라는 직접 수치화상을 얻을 수 있기 때문에 스캐닝시의 기하왜곡을 피할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 사진측정기법을 이용한 수치이미지의 정밀분석을 위해서는 디지털카메라의 렌즈 검정(calibration)과 sub-pixel 측정기법의 개발 등에 의한 자체 정확도 향상 및 최적의 촬영조건 도출에 관한 연구가 선행되어야 한다.

이에, 본 연구에서는 휴대가 간편하고 수치이미지의 자체 저장능력을 가진 Rollei d7 matric 디지털 카메라를 이용하여 촬영조건에 따른 위치오차를 분석하며, 높은 정확도의 sub-pixel좌표를 획득하기 위해 정밀 3차원 모니터링을 위한 기초자료와 수치근접사진측정기법의 활용방안을 모색하고자한다.

2. 다중영상 접합의 원리

근거리 사진측량에서 다중영상접합이란 여러 장의 사진을 기하학적 원리를 이용하여 접합함으로써 대상물의 3차원 좌표를 획득하는 것이다. 다중영상접합의 표정(orientation)은 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치(X_c, Y_c, Z_c)와 회전요소(K, φ)에 대한 계산이며 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것이다.

2-1. 내부표정요소

내부 표정은 카메라의 내적인 특성을 나타내는 것으로 주점의 위치(X_o, Y_o)와 주점(ck)를 결정하는 것이다. 이론적으로 이상적인 카메라는 대상물 공간 속에서 카메라에 입사하는 빛이 렌즈 중심을 통하여 입사각

* 동아대학교 공과대학 토목해양공학부 교수(e-mail: uypark@daunet.donga.ac.kr)

** 경남정보대학 토목과 교수(e-mail:kimhg51@hanmail.net)

***동아대학교 대학원 박사과정(e-mail: aaong@hanmail.net, gwjeong@hist.co.kr)

과 같은 각으로 내부에서 직진하지만, 그러나 실제 카메라는 이와 같이 작용하지 않고 두개의 투영중심이 생긴다. 이 점들은 내부 및 외부의 투영중심, 또는 전후 마디점 (front and rear nodal point)이라 한다. 그러나 그 차이는 무시할 정도로 매우 미소하므로 기하학적 모델에서는 하나의 투영 중심만을 사용한다. 렌즈의 특성으로 인하여 대상물 공간상에서 카메라에 들어오는 입사각과 카메라 내부에서 렌즈의 중심을 통해 굴절하는 굴절각이 일정하지 않기 때문에 생기는 렌즈 왜곡수차는 방사방향 왜곡 수차와 접선방향 왜곡 수차로 나눈다. 접선방향 왜곡 수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 유사하며 방사방향 왜곡수차는 다음 식으로 보정한다. A1 과 A2 는 실험을 되풀이하여 최소제곱법에 의하여 구한다.

$$DR = A1 \times R \times (R^2 - R0^2) + A2 \times R \times (R^4 - R0^4)$$

DR : Radial Distortion A1 : 1차 왜곡 상수
R : 반지름 A2 : 2차 왜곡 상수
R0 : 왜곡 수차가 0이 되는 주점으로부터 반경

2-2. 외부표정요소

외부표정 요소들은 카메라 system과 대상물 공간사이의 관계를 나타내는 것으로 카메라 외부투영 중심으로 절대좌표계 X, Y, Z에 관계되는 촬영점 좌표 Xc, Yc, Zc에 의해 표현된다. 또한 절대좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전 K, φ, ψ를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정 요소는 좌표변환이며, 표정각 K, φ, ψ는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다.

2-3. 다중영상표정

다중영상접합에서는 표정을 위해 전방교회법과 후방교회법을 동시에 이용한다. 전방교회법과 후방교회법은 image point measurement에서 측정된 표정점의 사진좌표와 sketch에서 입력한 대략의 외부표정요소, Camera Calibration sheet로부터 보정한 카메라의 내부표정요소와 사진의 정확한 외부표정과 표정점의 대상물 좌표를 계산하기 위한 대상물 좌표체계결정을 이용한다.

3. 촬영시스템 및 데이터 처리

3-1. 촬영시스템

디지털 megapixel Rollei d7 metric 카메라의 기본적인 설계는 측량학 응용을 위해 이상적으로 디자인되어 있으며 2/3 센서와 7mm의 초점 길이는 35mm카메라의 28mm렌즈와 동일하다. 이미지는 PCMCIA 인터페이스를 통해 가공되지 않은 데이터를 다른 저장 매체로 저장이 가능하다. RGB 영상의 변형과 왜곡된 매개변수의 수정은 응용 소프트웨어에 의해 PC에서 처리된다. 그림 1은 Rollei d7 metric 카메라의 모습을 나타내었고 표 1은 Rollei d7 metric 카메라의 주기능과 세부사항을 나타내었다.

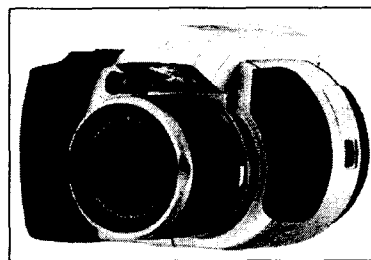


그림 1. Rollei d7 metric 카메라

표 1. Rollei d7 metric 카메라의 기능과 세부사항

렌즈	렌즈 Rollei D-Apogon 7.3 mm / 2.8 HFT	노출계	TTL자동 노출 측정, sport, landscape에 의한 프로그램 제어와 수동측정
해상도	1280×1024 픽셀의 2/3" CCD-칩, 30bit color.	플래시	적목현상 감소, 플래시 범위는 0.6 - 5.5m, 외부 플래쉬 장치의 연결을 위한 hot shoe.
Memory system	모든 PCMCIA미디어의 사용 이미지 압축 없이 이미지 취득 1.8 MByte의 이미지 데이터	LC Display	Frame number, flash mode, selftimers battery 상태, time, date, 노출 기능, 노출 보정, 촬영 간격, single 과 다중 노출, PAL / NTSC mode.
초점범위	0.6m에서 무한대	셔터 스피드	1/8 - 1/10,000초의 전자 셔터

3-2. 사진촬영 / Field Sketch

타켓은 설치하는 Object상에 최소 3개의 주요 Control Point와 추가로 측정하고자 하는 점에 타켓을 설치하였다. 타켓의 설치 위치는 제한되지 않으나 추후에 Self-Checking이 가능하게 하기 위하여 전체 Object에 걸쳐서 삼각형의 모양이 형성되도록 55point에 설치하였으며 카메라의 촬영 위치 및 방향을 대칭적으로 하여 12장의 이미지를 얻었다. Orientation Point간의 측척을 위해 대략적인 거리를 측정한다. 아래의 그림은 실험에서 타켓을 설치한 사진과 측정 대상물의 촬영위치에 대한 스케치화면 이다.

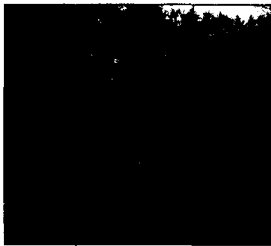


그림 2. 타켓 설치모습



그림 3. x-y 면 스케치

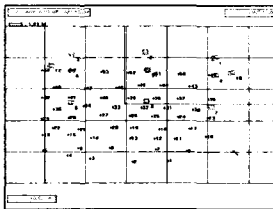


그림 4. x-z 면 스케치

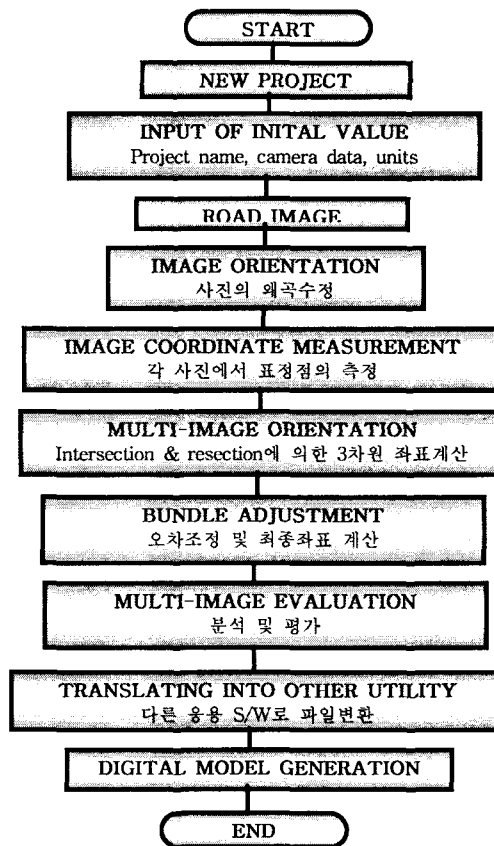


그림 5. CDW 의 자료처리 FLOWCHART

3-3. Bundle Adjustment

표정점의 사진좌표에서 카메라 내부표정과 모든 카메라의 외부표정 그리고 대상좌표가 최소제곱법 방식에 의해 동시에 계산되는 사진삼각측량 방법이다. 전방교회법과 후방교회법의 동시과정은 순차적인 표정 계산 방식이지만 번들조정은 동시에 표정점이 계산되는 특성이 있다. 따라서 전방교회법과 후방교회법 동시과

정에 비해 오차 발생의 소지가 적다. 오차를 최소화할 수 있는 최소제곱법 계산 방식을 적용하므로 높은 정확도와 정밀도의 데이터를 분석할 수 있게 한다. 번들조정 후의 캘리브레이션 시트값이 표 2의 값과 같이 보정되었으며 영상에 따른 카메라 위치를 나타내었다.

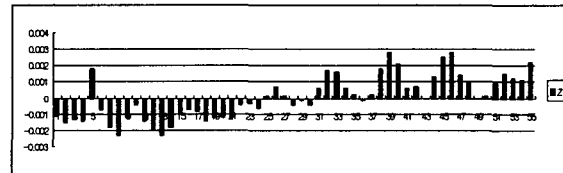
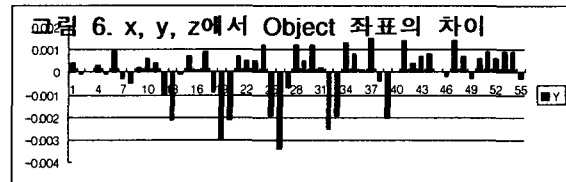
표 2. 보정 전후의 캘리브레이션 시트 변화값

	보정전	보정후
CK	-7.550	-7.560
Xh	-0.190	-0.193
Yh	0.2100	0.2743
A1	-2.243E-003	-2.226E-003
A2	4.381E-005	3.903E-005
R0	3.0	3.0

카메라의 위치는 표 3과 같으며 이는 번들조정으로 최소제곱법 방식에 의해 계산되었다. 보정전과 보정후의 x, y, z의 타겟의 좌표변화를 그림 6에 나타내었다.

표 3. 카메라 위치

Image	X	Y	Z	Tilt	Axis	Swing
1	12.333	-43.243	8.298	-26.266	30.601	191.746
2	2.857	-46.626	9.163	-26.800	6.420	199.112
3	-7.135	-44.777	8.875	-29.218	-17.429	207.291
4	12.348	-44.133	5.142	-19.357	28.927	192.760
5	3.204	-47.707	6.117	-22.295	8.313	197.582
6	-7.224	-45.878	5.911	-21.293	-18.328	205.219
7	11.752	-44.858	-0.480	-6.044	26.481	193.864
8	3.003	-48.499	0.559	-9.491	6.155	199.205
9	-7.383	-46.690	0.296	-8.200	-17.545	203.891
10	14.581	-46.504	5.547	-13.905	31.186	292.842
11	3.105	-48.773	5.975	-16.073	8.093	-0.569
12	-10.040	-50.426	6.853	-17.811	-20.887	103.639



5. 결론

자체 검정기법에 의한 촬영조건의 다양한 변화에 따른 위치오차를 분석하여 Rollei d7 matric 디지털 카메라의 기하학적 지식 및 수행성을 평가하기 위하여 내부표정요소 및 렌즈 왜곡 등에 관련된 기하학적 검정 매개변수들을 도출해 낼 수 있었으며 높은 정확도를 나타냄으로써 근거리 지상사진측량시스템의 잠재성을 확인할 수 있었다.

자체검정 광속조정은 카메라의 계통적 오차들을 효과적으로 보정해줌으로써 정확도를 크게 향상시킬 수 있었다. 따라서 자체검정기법을 적용하는 디지털 카메라에 의한 광학적 근거리 지상사진측량시스템은 산업의 차원적 품질 검사, 문화재의 3차원 모델링 및 형상재현 등을 효율적으로 구현하여 대상물의 시각적 분석에 활용할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 박운용, 응용측량학, p367~482.
2. 송승호, 김용배, 주영은, 엄대용, “영상선점 기법에 의한 3차원 측위시스템 구현” 한국측량학회지, 제 20권 제 2호, pp.87~93, 2002.6.30
3. 강준묵, 오원진, 배연성, 주영은, “인체형상 모니터링을 위한 수치근접사진측량의 정확도 분석”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, 1997, pp.135~138.
4. 이진덕, 연상호, 이병환, “스틸카메라의 자체검정에 의한 기하학적 수행성 평가“, 대한토목학회 학술발표회 논문집, 1996, pp.105~108.
5. Tecklenburg, W., Luhmann, T., "Kameramodellierung mit bildvarianten Parametern und Finiten Elementen", Publikationen der DGPF, Band 9, 2000.