

Boresight calibration을 이용한 외부표정요소 산출에 관한 연구

A study on the transformation of EO parameters using Boresight calibration

박수영* · 윤여상* · 김준철* · 정주권* · 주영은**

Park, Su Young · Yoon, Yeo Sang · Kim, Jun Chul · J대ng, Ju Kweon, Joo, Young Eun

* 이엔지정보기술(주) 연구원(E-mail: psy@engit.com)

** 이엔지정보기술(주) 연구소장(E-mail: joo44@engit.com)

Abstract

Mobile Mapping System needs system calibration of multi sensors. System calibration is defined as determination of spatial and rotational offsets between the sensors. Especially, EO parameters of GPS/INS require knowledge of the calibration to camera frame. The calibration parameters must be determined with the highest achievable accuracy in order to get 3D coordinate points in stereo CCD images. This study applies Boresight calibration for the calibration between GPS/INS and camera, and estimates the performance of the calibration.

1. 서 론

국가지형 및 시설물 등이 하루가 다르게 변화하는 정보화 사회에서 다양한 객체에 대한 위치 및 속성정보의 획득, 저장, 관리, 활용을 위해 신속한 공간정보의 수정·갱신이 요구되고 있다. 또한 도로시설물을 비롯한 다양한 지형·지물정보는 도시, 교통, 물류, 환경 및 군사분야 등 다양한 분야에서 의사결정 및 계획에 필수적으로 요구되고 있다. 그러므로 이러한 공간정보는 신속하고 정확하게 취득되어야 하는데, 기존의 현지조사나 측량기법을 이용하는 데는 시간적·경제적으로 어려움이 따르므로 보다 효과적인 기술개발이 필요시 되고 있다.

Mobile Mapping System(MMS)은 지상카메라, GPS, INS 및 모바일 레이저 등의 최첨단 장비와 이에 따른 처리 기술을 집약한 통합시스템으로 지상정보를 빠르고 정확하게 취득할 수 있어 신속한 공간정보의 수정·갱신에 매우 효과적인 기술로 기대된다. 이러한 MMS에서 정확도 높은 결과물을 얻기 위해서는 여러 센서의 system calibration이 필요하며 그 중 GPS/INS 통합결과를 지상 카메라의 투영중심 좌표계로 변환하는 과정이 반드시 필요하지만 이에 대한 연구가 아직 미비한 실정이다. 그러므로 본 연구는 카메라의 투영중심의 외부표정요소를 계산하는 방법으로 Boresight calibration 기법을 적용해 보았으며 정확도 검증을 시행하였다.

2. Mobile Mapping System(MMS) 개요

Mobile Mapping System(MMS)은 지상공간에 존재하는 다양한 지형지물의 위치정보와 속성정보를 현장에서 실시간으로 획득하고, 이를 다양한 시스템과 연결시켜 각종 계획수립과 의사결정 및 산업활동을 효율적으로 지원하도록 제작된 첨단정보시스템이다. 다시 말해서, MMS는 차량을 이용한 빠른 측량과 지형정보획득을 위해 지상 기준점 측량이 필요 없는 하드웨어 통합시스템을 고안하는 것으로 GPS, INS, CCD카메라, 레이저 및 무선통신장비를 차량에 탑재한 통합시스템(Integrated System)이라 할 수 있다.

MMS를 통하여 얻어진 스테레오 영상, GPS 데이터, INS 데이터 등을 분석·처리하여 촬영된 모든 스테레오 영상에 대한 각각의 외부표정요소를 지상 기준점 없이 획득하게 되며, 각 영상에서 정밀한 3차원 정보를 추출할 수 있다.

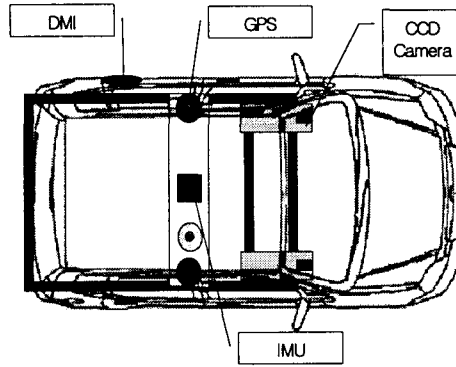


그림 1. Mobile Mapping System의 차량 상단 모습

3. 연구 내용

3.1 연구 대상

Boresight calibration을 이용하여 CCD영상과 GPS/INS결과의 통합을 위하여 대전광역시 서구 일부지역에 대하여 MMS 차량을 운행하여 데이터를 취득하였다. 구간은 약 2km 정도의 길이이며 비교적 GPS신호가 단절되는 구간이 없는 지역을 선정하였다. 다음은 사용한 MMS 차량에 장착된 센서들의 재원이다.

표.1. 센서 재원

장비	재원
GPS	Trimble 5700
INS	Litten LN200
CCD Camera	UNIQ UC-900
Lens	Auto IRIS Lens

3.2 카메라 보정

사진측량에서 정확한 초점거리와 주점의 위치를 아는 것은 필수적인 사항으로 외부표정요소를 획득할 때나 3차원 좌표를 구할 때 등 항상 필요한 요소이다. 또한 렌즈왜곡은 사물이 카메라의 렌즈를 통해서 찍힐 때 사진의 정확한 위치에 있지 않게 되므로 사물간의 위치 계산이나 거리 계산 등 정량적 판독을 할 수 없게 한다. 항공사진 카메라와 같은 정밀한 카메라는 초점거리, 주점의 위치, 렌즈왜곡의 정도를 제공되는 리포트를 통해서 알 수 있지만 일반적으로 보통 카메라는 정확한 초점거리, 주점의 위치나 렌즈왜곡 계수가 제공되지 않으므로 필요하다면 직접 계산해야 한다. 본 연구에서는 카메라 보정방법으로 셀프 캘리브레이션(self-calibration)을 이용하였다.

셀프 캘리브레이션은 기본적인 공선조건식에 카메라 렌즈 왜곡 계수를 추가한 형태로 외부표정요소 뿐만 아니라 초점거리, 주점의 위치를 미지수로 두어 최소제곱법으로 해를 구하는 방법이다. 이 방법은 초점거리, 주점위치, 렌즈 왜곡 계수뿐만 아니라 외부표정요소까지 함께 얻을 수 있다는 장점이 있다. 다음은 그 수식이다.

$$\begin{aligned}
 (x - x_p) + dx_r + dx_t &= -f \frac{R}{Q} \\
 (y - y_p) + dy_r + dy_t + dy_a &= -f \frac{S}{Q}
 \end{aligned} \tag{1}$$

본 실험에서는 가로 2.30m, 세로 1.90m의 면적의 벽면에 3D 타겟을 117개를 설치하여 카메라 보정을 수행하였다. 다음은 보정된 결과이다.

표.2. 카메라 보정 결과 - 외부표정요소

	X(m)	Y(m)	Z(m)	omega(rad)	phi(rad)	kappa(rad)
camera 1	233002.2068	319905.0009	51.63660185	-1.46182	0.633987	3.092774
camera 2	233001.9195	319905.3747	51.66488965	-1.47432	0.629644	3.112691

표.3. 카메라 보정 결과 - 내부표정요소

	f	xp	yp	k1	k2	k3	p1	p2	a1	a2
camera 1	4.101474	0.0287073	-0.034334	0.0156335	-0.00245	0.001259	-0.000019	0.000214	0.000288	-0.00096
camera 2	4.087677	0.0274604	0.0222216	0.0175384	-0.00458	0.001875	0.0001138	0.000161	-0.00021	-0.00075

3.3 GPS/INS 통합

MMS를 통하여 미지의 대상물에 대한 정보를 얻기 위해서는 차량이 주행한 경로의 위치정보와 자세정보가 필요하며 본 연구에서는 이를 위해 GPS와 INS를 이용하였다. INS는 외부의 도움 없이 항체의 항법 정보를 연속적으로 계산 할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 시간이 지날수록 오차가 지속적으로 누적되어 단독으로 사용하기에는 어려운 점이 있어 이러한 단점을 보완하고자 비관성 센서인 GPS를 이용하여 GPS/INS 데이터 통합을 수행하였다.

GPS/INS 데이터를 통합하게 되면 차량의 위치와 자세를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 GPS/INS 통합결과를 얻기 위해 캐나다의 Applanix사에 제작한 POS-LV 420 시스템을 이용하여 결과물을 획득하였다.

표.4. GPS/INS 통합 결과 일부

	X(m)	Y(m)	Z(m)	omega(rad)	phi(rad)	kappa(rad)
event 1	233003.302	319906.72	51.640821	-0.01927	-0.00383	-2.45325
event 2	233003.303	319906.722	51.640214	-0.01941	-0.00341	-2.45323
event 3	233003.302	319906.721	51.640647	-0.01929	-0.004	-2.45321
event 4	233003.303	319906.72	51.639772	-0.01936	-0.00369	-2.45325
event 5	233003.357	319906.771	51.640992	-0.02295	-0.00703	-2.45749
event 6	233004.155	319907.744	51.640087	-0.02119	-0.01059	-2.60843
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:

3.4 Boresight calibration

MMS를 이용하는 최종적인 목표는 촬영된 스테레오 CCD영상을 이용하여 대상물에 대한 3차원 좌표를 얻는데 그 목적이 있다. 또한 이러한 결과를 응용하여 여러 분야에 활용할 수 있게 된다. 본 연구는 이러한 3차원 좌표 추출을 위해 기준이 되는 영상의 외부표정요소를 산출하는 과정을 수행해보고 그 결과에 대한 논의에 그 목적을 두고 있다.

MMS에서 CCD Camera로 대상지역을 촬영하고 GPS와 INS를 이용하여 촬영순간의 위치와 자세(외부표정요소)를 얻을 수 있다. 그러나 GPS와 INS는 차량에 부착되는 장비이므로 여기서 산출되는 위치와 자세는 차량의 위치와 자세이다. 따라서 카메라 투영중심의 위치를 기준으로 하는 위치와 자세를 구하는 것이 필요하다. 이런 과정을 CCD및 GPS/INS 통합이라 말한다. 카메라 보정은 CCD Camera의 내부표정요소를 구하기 위해서도 필요한 과정이지만 AT와 같이 외부표정요소를 산출할 수 있으므로 CCD/GPS/INS를 통합하기 위해서도 필요한 과정

이다. 카메라 보정시 얻어지는 외부표정요소와 동일시간대의 GPS/INS 통합결과의 offset vector와 회전 매트릭스를 계산하여 Field 측량에서 촬영된 모든 영상에 대한 외부표정요소 지상 기준점 없이 얻을 수 있게 된다. 차량의 GPS/INS 통합결과를 카메라 중심의 외부표정요소로 변환하는데 사용한 알고리즘이 Boresight calibration이다. 다음은 Boresight calibration의 수식이다.

$$\bar{X}_{NED}^{INS} = \begin{bmatrix} X_{INS} \\ Y_{INS} \\ Z_{INS} \end{bmatrix}_{NED} = \begin{bmatrix} X_{PC} \\ Y_{PC} \\ Z_{PC} \end{bmatrix}_{NED} + R_{BINS}^{NED} \cdot \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} = \bar{X}_{NED}^{PC} + R_{BINS}^{NED} \cdot b_{INS} \quad (2)$$

$$R_{BINS}^{ENU} = S \cdot R_{BINS}^{NED}, \quad S = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

b_x, b_y, b_z : INS body frame에서 정의된 boresight offset

R_{BINS}^{NED} : INS에서 획득한 회전 매트릭스

X_{NED}^{INS} : NED frame에서의 INS 중심 좌표

X_{NED}^{PC} : NED frame에서의 camera 카메라 투영중심 좌표

$$R_{Phi} = R_C^{ENU} = R_{BINS}^{ENU} \cdot R_C^{BINS}, \quad R_C^{BINS} = R_{BINS}^{ENU T} \cdot R_C^{ENU} \quad (3)$$

$$\delta\phi = \sin^{-1}(r_{13}), \quad \delta\omega = \tan^{-1}\left(\frac{-r_{23}}{r_{33}}\right), \quad \delta\kappa = \tan^{-1}\left(\frac{-r_{12}}{r_{11}}\right)$$

수식(2)는 카메라 투영중심의 위치를 계산하는 식이고, 수식(3)은 카메라의 회전매트릭스를 계산하여 카메라의 자세를 계산하는 식이다. 수식(2)와 (3)을 통해 기준이 되는 위치 offset과 각도 offset를 계산하고, 이를 통하여 모든 GPS/INS 통합결과를 카메라의 외부표정요소로 변환 할 수 있게 된다. 다음 (표.5)와 (표.6)은 대상실험에서 Boresight calibration을 위해 기준이 되는 offset을 계산하기 위한 데이터이며 (표.7)과 (표.8)은 이를 통한 Boresight calibration의 결과의 일부이다.

표.5. 동일시간에서의 카메라 외부표정요소 및 GPS/INS 통합결과 (camera 1)

	X(m)	Y(m)	Z(m)	omega(rad)	phi(rad)	kappa(rad)
카메라보정결과	233002.2	319905	51.636602	-1.461802	0.63399	3.092774
GPS/INS통합결과	233002.5	319906.37	51.636293	-0.004436	-0.00373	-2.42774

표.6. 동일시간에서의 카메라 외부표정요소 및 GPS/INS 통합결과 (camera 2)

	X(m)	Y(m)	Z(m)	omega(rad)	phi(rad)	kappa(rad)
카메라보정결과	233001.9	319905.37	51.66489	-1.47432	0.62964	3.112691
GPS/INS통합결과	233003.4	319905.83	51.631959	-0.019886	2.7E-05	-2.43924

표.7. Boresight calibration을 이용한 CCD/GPS/INS 통합결과 (camera 1)

	X(m)	Y(m)	Z(m)	omega(rad)	phi(rad)	kappa(rad)
event 1	233003.009	319905.345	51.661678	-1.47871	0.60863	3.096177
event 2	233003.009	319905.346	51.661387	-1.47914	0.60869	3.096682
event 3	233003.009	319905.345	51.661479	-1.47861	0.60865	3.095963
event 4	233003.009	319905.345	51.660787	-1.47890	0.60865	3.096345
event 5	233003.069	319905.394	51.666037	-1.48054	0.60406	3.092885
event 6	233004.078	319906.339	51.664507	-1.48764	0.45363	3.107755
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:

표.8. Boresight calibration을 이용한 CCD/GPS/INS 통합결과 (camera 2)

	X(m)	Y(m)	Z(m)	omega(rad)	phi(rad)	kappa(rad)
event 1	233001.875	319906.241	51.668355	-1.47216	0.61528	3.109994
event 2	233001.876	319906.242	51.668411	-1.47259	0.61534	3.110500
event 3	233001.875	319906.242	51.667943	-1.47205	0.61530	3.109779
event 4	233001.876	319906.241	51.667545	-1.47234	0.61530	3.110163
event 5	233001.932	319906.286	51.665874	-1.47398	0.61069	3.106724
event 6	233002.819	319907.050	51.664410	-1.48175	0.46034	3.122739
:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:

3.5 정확도 검증

Boresight calibration을 이용하여 산출된 카메라의 외부표정요소의 정확도를 검증하기 위하여 스테레오 CCD 영상에서 3차원 좌표(관측값)를 추출하였고 같은 점에 대한 GPS 측량을 시행하여 기준값(참값)을 취득하였다. 다음은 정확도 검증 결과이다.

표.9. 정확도 검증 결과

id	X(m)	Y(m)	Z(m)	X 오차	Y 오차	Z 오차	RMSE
29	234298.5329	317742.6204	42.664184	-0.083	0.042	-0.263	0.279
30	234295.5585	317742.6017	42.625530	-0.056	0.044	-0.309	0.317
37	234296.1350	317745.7622	42.765659	0.186	0.021	-0.081	0.204
64	234242.5520	317742.5914	42.812056	-0.080	0.089	-0.284	0.308
158	234081.3500	317742.8082	43.459171	0.126	0.146	-0.003	0.193
170	234079.3899	317739.858	43.219311	0.061	0.111	-0.355	0.377
172	234073.0120	317742.3103	43.322822	0.233	0.101	-0.178	0.310

위의 표에서 보이듯이 영상에서 추출한 3차원 좌표와 GPS측량 기준 좌표간의 오차는 대부분의 값이 20~30cm의 정확도를 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

GPS/INS 데이터의 통합의 결과물로 나오는 외부표정요소들은 반드시 카메라 투영 중심의 외부표정요소로 변환되어야만 MMS의 궁극의 목적인 3차원 좌표를 추출할 수 있다. 본 연구에서는 서로 다른 좌표계를 지닌 센서들 간의 위치와 자세의 변환을 통하여 카메라의 외부표정요소를 추출하는 방법으로 Boresight calibration을 적용하

였다. Boresight calibration의 정확도는 기본적으로 GPS/INS 통합결과에 가장 크게 영향을 받지만 이런 정확도는 시스템 정확도라고 할 수 있으며, 성공적인 Boresight calibration을 위해서는 카메라 보정당시의 외부표정요소의 정확도가 가장 중요하다. 본 연구에서 시행한 정확도 검증에 영향을 주는 요소가 직접적으로 Boresight calibration만은 아니지만 시스템의 최종정확도를 분석함으로써 Boresight calibration을 적용한 카메라의 외부표정요소 산출이 올바르게 수행되었음을 가늠할 수 있었다. 향후 카메라에 대한 Boresight calibration 기법을 적용하는 것뿐만 아니라 모바일 레이저와 같은 다른 센서에도 이러한 기법을 적용한 calibration 연구가 필요하다.

참고문헌

Dorota A. Grejner-Brzezinska(2001), *Direct Sensor Orientation in Airborne and Land-based Mapping Applications*

Edward M. Mikhail, *Introduction to Modern Photogrammetry* p.128~p.130

Naser El-Sheimy (1996), *The Development of VISAT - A Mobile Survey System For GIS Applications*

Wolf, P. R (2000), *Elements of Photogrammetry* 3rd edition, McGraw-Hill, Inc.,