

Geo-referenced 영상 획득을 위한 휴대용 멀티센서 시스템 구축 및 정확도 평가

Development of a Portable Multi-sensor System for Geo-referenced Images and its Accuracy Evaluation

이지훈¹⁾ · 최경아²⁾ · 이임평³⁾

Lee, Jihun · Choi, Kyoungah · Lee, Impyeong

Abstract

In this study, we developed a Portable Multi-sensor System, which consists of a video camera, a GPS/MEMS IMU and a UMPC to acquire video images and position/attitude data. We performed image georeferencing based on the bundle adjustment without ground control points using the acquired data and then evaluated the effectiveness of our system through the accuracy verification. The experimental results showed that the RMSE of relative coordinates on the ground point coordinates obtained from our system was several centimeters. Our system can be efficiently utilized to obtain the 3D model of object and their relative coordinates. In future, we plan to improve the accuracy of absolute coordinates through the rigorous calibration of the system and camera.

Keywords : Portable Multi Sensor System, Image geo-referencing, Video camera, GPS/MEMS IMU

초 록

본 연구에서는 비디오카메라와 GPS/MEMS IMU, UMPC를 결합하여 영상과 위치/자세 데이터를 획득하는 휴대용 멀티센서 시스템을 구축하였다. 구축된 시스템을 통해 획득된 데이터를 이용하여 지상기준점을 이용하지 않고 광속조정법 기반의 영상 geo-referencing을 수행하고 정확도 검증을 통해 시스템의 효용성을 평가하였다. 정확도 검증 결과, 지상점의 상대좌표 정확도는 RMSE가 수 cm내외로 상당히 정확함을 확인할 수 있었다. 구축된 시스템은 대상 객체의 3차원 모델과 상대좌표를 획득하는데 있어서 충분히 활용 가능하다고 판단된다. 향후에는 시스템 및 카메라의 엄밀한 보정을 통해 절대좌표의 정확도를 개선할 예정이다.

핵심어 : 휴대용 멀티센서 시스템, 영상 geo-referencing, 비디오카메라, GPS/MEMS IMU

1. 서 론

최근 Google Map이나 Virtual Earth와 같은 다양한 공간 정보 콘텐츠를 제공하는 포털 서비스가 증가하면서 이러한 콘텐츠 개발을 위하여 센서 데이터를 신속 정확하게 획득하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 항공 또는 지상 플랫폼에 카메라 및 GPS/INS등의 센서를 탑재하여 멀티센서 데이터 획득 시스템 개발에 관한 연구가 수행

되고 있으며 실제 데이터 획득에 활용되고 있다. Eugster 등(2008)은 무인항공기에 멀티센서를 탑재하여 영상 및 위치/자세 데이터를 획득하고, direct geo-referenced된 영상을 virtual globe에 오버랩 시켜주는 연구를 수행하였다. Mordohal 등(2007)은 지상 모바일 매핑시스템으로부터 획득한 멀티센서 데이터를 이용하여 실시간으로 깊이 영상(depth image)을 생성하는 연구를 수행하였다.

유 · 무인항공기나 지상 차량을 이용한 센서 데이터 획득

1) 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 석사과정(E-mail:fantest@uos.ac.kr)
2) 정희원 · 서울시립대학교 대학원 공간정보공학과 박사과정(E-mail:shale@uos.ac.kr)
3) 교신저자 · 정희원 · 서울시립대학교 도시과학대학 공간정보공학과 부교수(E-mail:iplee@uos.ac.kr)

독은 플랫폼의 특성상 운용환경의 제약이 따르고 운용에 소요되는 시간 및 구축비용이 상당히 높다. 최근에는 플랫폼 없이 멀티센서를 결합하여 사용자가 원하는 위치 및 방향에서 데이터를 획득하기 위한 연구들이 진행되고 있다. GPS 카메라나 핸드폰 등과 같은 위치·자세 획득 센서와 카메라가 내장된 시스템이 개발되면서 이를 활용하여 공간정보를 획득하는 연구들이 진행 중이다. 박기연 등(2009)은 휴대용 GPS기반 비디오시스템을 이용하여 geo-referenced 비디오 자료를 획득하여 노후건축물을 효과적으로 관리하기 위한 연구를 수행하였다. 최병길 등(2008)은 GPS카메라를 이용하여 획득된 영상을 웹 기반의 서비스 시스템에 올려 자연경관정보 관리에 활용 가능성을 입증하였다. Zhang 등(2010)은 iPhone을 이용하여 영상 및 위치/자세 데이터를 획득하여 Google Earth에 데이터를 획득한 위치와 촬영방향에 맞게 영상을 업로드 하는 어플리케이션을 개발하였다.

기존의 플랫폼 없는 멀티센서 시스템에 관한 연구들은 영상과 위치/자세 데이터로부터 어느 위치에서 어느 방향으로 영상을 획득하였는지에 관한 정보만 제공해 주는 연구가 대부분이며 외부표정요소를 direct geo-referencing을 통하여 결정함으로써 GPS/IMU의 측정오차가 그대로 외부표정요소에 전파되는 한계가 있다. 광속조정법(Bundle Adjustment)기반의 indirect geo-referencing은 위치/자세 데이터의 오차를 보정하여 보다 정밀한 외부표정요소 및 지상점의 좌표를 추정한다. Ayman 등(2010)은 GPS카메라와 디지털 나침반으로 구성된 시스템으로부터 획득한 데이터에 광속조정법을 수행하여 객체 포인트의 좌표를 추정하고 기준점 데이터와 비교하여 3D 모델링에 적합성을 평가하였다. 서용철 등(2007)은 IMU와 카메라, 레이저스캐너를 결합하여 실내 환경에서 3차원 데이터를 획득하는 연구를 하였으며 이 과정에서 광속조정법을 수행하여 외부표정요소를 추정하였다. 이와 같은 기존의 연구들은 광속조정법 수행 시 지상기준점 정보를 요구하므로 데이터 획득과 별도의 기준점 측량을 수행하여야 한다.

본 연구에서는 비디오카메라와 GPS/MEMS IMU를 결합하여 플랫폼의 이용 없이 사용자가 원하는 위치 및 방향에서 센서 데이터를 획득할 수 있는 휴대성 높은 시스템을 구축하였다. 또한 획득된 데이터에 지상기준점 없이 광속조정법 기반의 항공삼각측량(Aerial Triangulation)을 수행하여 geo-referenced 영상을 획득하는 방법론을 제안하고 추정된 지상점과 지상기준점간의 비교를 통해 시스템의 정확도 및 효용성을 평가하였다.

2. 시스템 구축

사용자가 원하는 위치 및 방향에서 공간 데이터를 획득하기 위하여 휴대성이 높은 센서를 선정하여 시스템을 구축하였다. 선정된 비디오카메라는 측량용 카메라가 아닌 일반 상용 제품이기 때문에 카메라 보정을 거쳐 내부표정요소를 결정하였다. 데이터 획득 후 영상과 위치/자세 데이터간의 시간동기화를 통해 최종적으로 각 영상마다의 초기 외부표정요소를 획득하였다.

2.1 시스템 제원 및 구성

휴대용 멀티센서 시스템은 영상 데이터를 획득하는 비디오카메라와 위치/자세 데이터를 획득하는 GPS/MEMS IMU, 데이터를 저장하는 UMPC로 구성된다. 선정된 카메라는 2304×1296(pixels) 해상도의 동영상을 30Hz로 획득하며, GPS/MEMS IMU는 약 2.5m의 위치측정오차와 약 2°의 자세측정오차를 갖는 위치/자세 데이터를 100Hz로 획득한다. 획득된 동영상 데이터는 비디오카메라의 내장 메모리에 저장되고 위치/자세 데이터는 UMPC에 저장된다. 각 센서의 추가적인 제원은 표 1에서 살펴볼 수 있다.

표 1. 시스템 제원

센서 및 장비	규격 및 특징
	- Sony 비디오카메라 (HDR-SR10) - 무게 : 약 0.5kg - 해상도 : 149만 pixels - 이미지센서 : CMOS - 저장방식 : HDD
	- 제품명 : MTi-G - 크기 : 58×58×33 mm - 무게 : 약 68g - Attitude정확도 · dynamic : 약 2 deg · update rate : 100Hz - Position정확도 · SPS : 약 2.5m
	- 제품명 : S5 F-LOG - CPU : Z520(1.33GHz) - 메모리 : 1GB - 무게 : 약 0.42kg

각 센서들은 단단히 고정하여 그림 1과 같이 시스템을 구축하였다. 사용된 GPS의 위치 데이터가 약 2.5m의 위치

측정오차를 갖기 때문에 GPS의 중심과 비디오카메라의 렌즈의 중심이 일치한다고 가정하였고, IMU의 자세 데이터 역시 비디오카메라의 자세 데이터와 동일하다고 가정하였다.

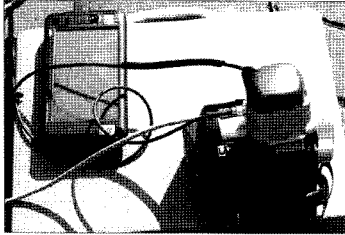


그림 1. 휴대용 멀티센서 시스템

30Hz이고 위치/자세 데이터는 100Hz이기 때문에 그림 2와 같이 각각의 영상에 GPS시간이 동일한 위치/자세 데이터를 샘플링하여 시간동기화를 수행한다.

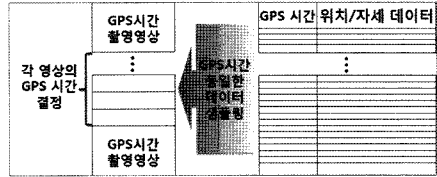


그림 2. 데이터의 시간동기화

2.2 카메라 보정

구축된 시스템의 비디오카메라는 비측량용 카메라로 내부표정요소를 알 수가 없기 때문에 데이터 획득에 앞서 카메라 보정을 실시하였다. 카메라 보정은 Photomodeler Pro 5에서 지원하는 방식에 따라 진행하였다. 카메라 검정판을 상하좌우 네 방향에서 총 8번 촬영한 영상을 이용하여 카메라 보정을 수행하였다. 그 결과 표 2와 같은 내부표정요소를 획득하였다.

표 2. 내부표정요소

Focal length	f	3.004630 mm
Principle point	Xp	1.350378 mm
	Yp	0.676958 mm
Format width	Fw	2.650271 mm
Radial distortion	K1	-2.824e-003
	K2	3.130e-004
Decentering distortion	P1	-1.327e-003
	P2	-2.319e-003

2.3 센서 데이터의 시간동기화

구축된 시스템으로 획득한 동영상은 비디오카메라의 외장메모리에 저장되고 GPS/MEMS IMU의 위치/자세 데이터는 UMPC에 저장되기 때문에 두 데이터간의 시간동기화가 요구된다. 따라서, UMPC의 화면에 나타나는 위치/자세 데이터의 GPS시간을 동영상 획득하는 시작과 끝에 각각 촬영하여 후처리 시 영상 분할과 함께 시간동기화를 수행할 수 있도록 한다. 데이터 획득 후 동영상을 각각의 개별 영상으로 분할하고, UMPC 화면의 GPS시간을 촬영한 영상을 찾아 데이터 획득 시작 시간과 마지막 시간 사이의 모든 영상에 대한 시간을 확인한다. 영상 데이터가

3. 영상 Geo-referencing

휴대용 멀티센서 시스템을 통해 획득된 데이터를 이용한 geo-referenced 영상 획득은 광속조정법 기반의 항공삼각측량 수행을 통해 이루어진다. 항공삼각측량은 2개 이상의 영상에 대하여 영상 획득 시의 카메라 위치 및 자세를 결정하는 Indirect geo-referencing 방법 중의 하나이다. 본 연구에서는 무기준점 항공삼각측량을 통해 각 영상의 외부표정요소와 지상점 좌표를 추정하게 된다.

무기준점 항공삼각측량을 통해 geo-referenced 영상을 획득하는 방법론은 그림 3에서 확인할 수 있다. 입력 데이터는 시간 동기화한 영상 및 위치/자세 데이터와 카메라 보정을 통해 획득한 내부표정요소이다. 첫 번째 과정은 각 센서를 통해 획득된 위치 데이터와 자세 데이터 간의 좌표계를 일치시키고 카메라 좌표계와의 관계를 설정함으로써 초기 외부표정요소를 결정한다. 두 번째 과정은 각 영상 데이터에서 공역점 좌표를 획득하고 이를 초기 외부표정요소와 내부표정요소를 이용하여 초기 지상점 좌표를 생성한다. 마지막으로 광속조정법 기반의 무기준점 항공삼각측량을 수행함으로써 각 영상의 외부표정요소 및 지상점 좌표를 추정한다.

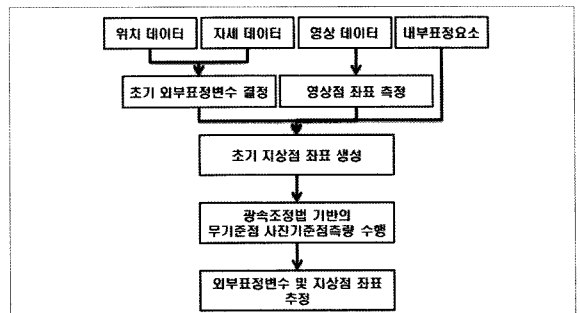


그림 3. Geo-referenced 영상 획득 방법론

3.1 초기 외부표정요소 결정

위치/자세 데이터는 추후 항공삼각측량 수행을 위한 초기 외부표정요소로 이용되므로 동일한 지상좌표계 상에서 정의되어야 한다. 하지만 그림 4와 같이 GPS를 통해 획득되는 위치 데이터는 WGS84좌표계의 측지좌표이고 IMU를 통해 획득되는 자세 데이터는 local좌표계에서의 회전각이다.

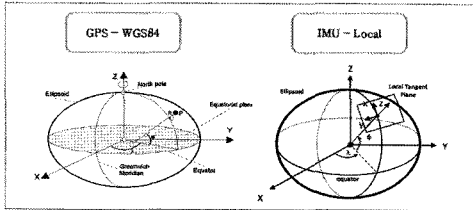


그림 4. 위치/자세 데이터의 좌표계

서로 다른 좌표계상에서 정의된 두 데이터를 하나의 좌표계로 나타내기 위해 GPS의 위치 데이터를 local좌표계상의 좌표로 변환한다. IMU를 통해 획득된 자세데이터는 local좌표계에서의 회전각을 나타내므로 그림 5와 같이 카메라좌표계로의 회전변환을 통해 local좌표계와 카메라좌표계간의 관계를 정의해준다. 이와 같은 좌표계 설정을 통해 최종적으로 획득된 위치/자세 데이터를 각 영상의 초기 외부표정요소로 결정한다.

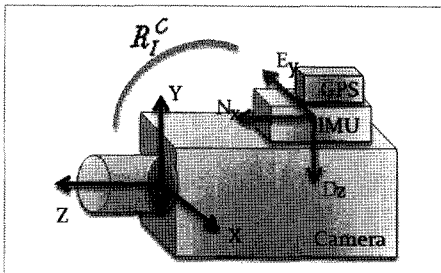


그림 5. local 좌표계와 카메라 좌표계간의 관계

3.2 초기 지상점 좌표 생성

초기 지상점 좌표를 생성하기 위해 먼저 각 영상에서 지상 객체에 대한 공역점 좌표를 획득한다. 공역점 좌표는 추후 정확도 검증을 수행하기 위해 지상기준점에 상응하는 점으로 측정한다. 해당 지상점이 존재하는 각 영상의 초기 외부표정요소와 측정한 공역점 좌표를 공선방정식에 대입하여 개별 영상의 투영중심과 영상점을 지나는 직선을 생성한다. 이 직선은 영상마다 동일한 지상점이 투영된 영상점을 통해 생성되기 때문에 모두 한 점에서 만나야 한다.

그러나 초기 외부표정요소와 영상점 좌표의 오차로 인해 그림 6과 같이 하나의 지상점에서 만나지 않는다. 그러므로 최소제곱법을 이용하여 모든 직선에 가장 근접한 점을 계산하여 지상점 좌표의 초기값으로 결정한다.

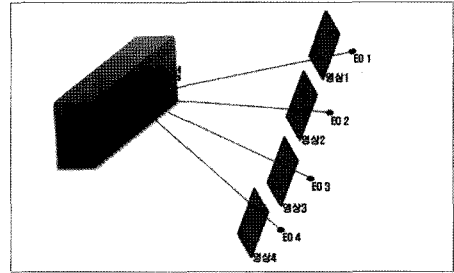


그림 6. 지상점의 초기값 결정

3.3 AT를 통한 외부표정요소 및 지상점 좌표 추정

본 연구에서는 식 (1)과 같은 위치/자세 데이터를 제약조건으로 활용한 무기준점 항공삼각측량의 수학적 모델을 이용하여 지상기준점없이 GPS/MEMS IMU를 통해 획득된 초기 외부표정요소를 제약조건으로 최소제곱법을 적용하여 각 영상의 외부표정요소와 지상점 좌표를 추정하게 된다(최경아 외, 2009).

$$\begin{bmatrix} y_i \\ y_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_e & A_p \\ K_e & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_e \\ \xi_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ e_0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} e \\ e_0 \end{bmatrix} \sim \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} P_i^{-1} & 0 \\ 0 & P_e^{-1} \end{bmatrix} \right) \quad (1)$$

- 여기서 y_i : 영상점 좌표에 대한 측정값과 계산값의 차이
- y_e : 외부표정변수에 대한 초기값과 제약요소의 차이
- A_e : 공선조건식을 외부표정변수에 대하여 미분한 설계행렬
- A_p : 공성조건식을 지상점 좌표에 대하여 미분한 설계행렬
- K_e : 외부표정변수를 제약조건으로 사용하기 위한 설계행렬
- ξ_e : 외부표정변수에 대한 초기값과의 차이
- ξ_p : 지상점 좌표에 대한 초기값과의 차이
- P_i, P_e : 영상점 좌표, 외부표정변수에 관한 경중률

광속조정법 기반의 항공삼각측량은 직접 측정한 영상점 좌표 값과 공선방정식에 의해 계산된 값의 차이의 제곱의 합을 최소로 하는 외부표정요소와 지상점 좌표를 추정한다. 따라서 식 (1)과 같은 Gauss -Markov with Stochastic Constraints 모델에 최소제곱법을 적용하여 아래의 식 (2)와 같은 정규방정식을 수립하고 이 식을 이용하여 반복 조정계산하면 최종적으로 추정된 외부표정요소와 지상점 좌표를 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A_e^T P_i^{-1} y_i + K_e^T P_e^{-1} y_e \\ A_p^T P_i^{-1} y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_e^T P_i^{-1} A_e + K_e^T P_e^{-1} K_e & A_e^T P_i^{-1} A_p \\ A_p^T P_i^{-1} A_e & A_p^T P_i^{-1} A_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\xi}_e \\ \hat{\xi}_p \end{bmatrix} \quad (2)$$

4. 정확도 평가

4.1 센서 데이터 및 기준 데이터 획득

데이터 획득은 서울시립대학교의 대강당 앞에서 이루어졌으며 안정적인 위치 데이터를 얻기 위해 약 30분간 시스템의 전원을 켜놓은 상태에서 GPS신호를 수신한 후 그림 7과 같은 이동경로로 건물 앞 벽면의 동영상 및 위치/자세 데이터를 획득하였다. 획득된 데이터의 기본 정보는 표 3에서 확인할 수 있다.

표 3. 획득된 데이터의 기본정보

Video format	MPEG-2 전송스트림(.m2ts)
Image size	2304 × 1296 (pixels)
Image acquisition frequency	30Hz
GPS/IMU data format	텍스트 파일(.txt)
GPS/IMU data sample frequency	100Hz
GPS/IMU data	Time, Latitude, Longitude, Altitude, Roll, Pitch, Yaw

또한, GPS와 토달스테이션을 이용한 기준점측량을 통해 총 12점의 지상기준점 데이터를 획득하였다. 실험에는 총 5장의 이미지를 사용하였고, 개별 영상마다 지상기준점의 공액점 좌표를 획득하였다. 그림 8은 획득된 영상 중 하나이며 지상기준점의 위치를 보여준다.

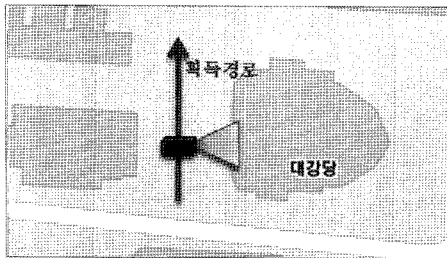


그림 7. 데이터 획득 경로



그림 8. 총 12개의 지상기준점

4.2 지상점 좌표 추정 및 정확도 분석

위치/자세 데이터의 좌표계 통일을 통해 각 영상의 외부표정요소를 결정하고 지상기준점에 대한 영상점 좌표를 획득하였다. 초기 외부표정요소와 내부표정요소, 영상점 좌표를 이용하여 초기 지상점 좌표를 획득하고 사진기준점측량을 수행하여 최종적으로 외부표정요소와 지상점 좌표를 추정하였다. 추정된 지상점과 지상기준점은 그림 9에서 확인할 수 있다. 추정된 지상점을 연결한 선과 지상기준점을 연결한 선을 비교했을 때 절대좌표 값의 차이가 10m 내외로 부정확하지만 모양의 유사성을 확인할 수 있다. 표 4는 이를 정량적으로 보여준다. 절대 좌표 오차의 표준편차와 RMSE를 비교해 보았을 때 표준편차는 1m 내외로 나타나지만 RMSE가 상당히 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 구축된 시스템에 사용된 GPS/MEMS IMU의 위치/자세 데이터의 오차로 인한 것으로 판단된다. 위치/자세 데이터의 오차는 추정된 지상점과 기준점간의 3차원 회전 및 변환을 통해 제거하거나 외부표정요소와 지상점 좌표의 추정 시 1~2개의 지상기준점을 제약조건으로 추가하여 제거할 수 있다. 본 연구에서는 3차원 회전 및 이동변환을 통해 위치/자세 데이터의 오차를 보정하고 상대적 정확도 분석을 수행하였다.

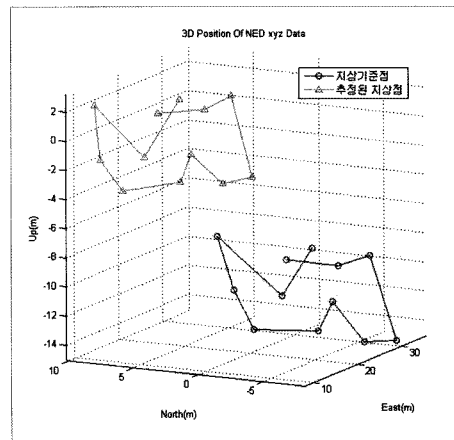


그림 9. 지상기준점과 추정된 지상점

3차원 회전 및 이동변환 수행 후 지상점과 기준점간의 비교는 그림 10의 왼쪽 그림을 통해 확인할 수 있고 상대좌표의 오차를 표 4에서 보여준다. 3차원 회전 및 이동변환을 통해 위치/자세 데이터의 오차를 보정하였음에도 지상점과 기준점의 축척에 차이가 있음을 확인할 수 있다. 이는 비디오카메라 좌표계와 GPS/IMU 좌표계의 관계를 설정

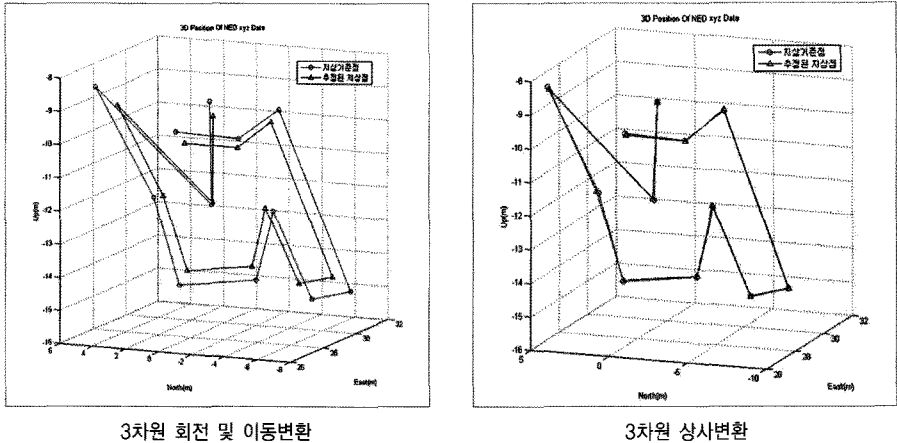


그림 10. 추정된 지상점과 기준점의 상대좌표 비교

표 4. 추정된 지상점과 기준점 간의 절대/상대 좌표 오차

지상점 ID	추정된 지상점과 기준점 간의 절대/상대 좌표 오차 (m)								
	절대 좌표 오차			상대좌표오차 (3차원 회전 및 이동변환)			상대좌표오차 (3차원 상사변환)		
	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ	ΔX	ΔY	ΔZ
1	-5.535	12.591	11.125	0.181	-0.361	-0.407	0.035	-0.026	-0.057
2	-6.319	11.554	11.591	-0.500	-0.432	-0.384	-0.021	-0.053	-0.026
3	-6.940	10.838	11.657	-0.873	-0.402	-0.499	-0.025	-0.028	0.014
4	-6.785	12.615	12.140	-0.901	0.226	0.452	0.094	0.062	0.007
5	-6.318	13.291	11.922	-0.548	0.218	0.508	0.048	0.023	0.005
6	-6.271	13.464	11.219	-0.197	0.281	0.154	0.009	0.070	0.044
7	-5.779	14.109	11.441	-0.037	0.236	0.446	-0.010	-0.001	0.001
8	-4.869	15.370	10.961	0.706	0.221	0.521	-0.046	-0.081	0.013
9	-4.989	15.377	10.351	0.900	0.329	0.152	-0.109	0.031	0.042
10	-4.701	13.798	10.299	1.072	-0.256	-0.564	0.090	-0.007	-0.060
11	-5.619	14.450	10.769	0.356	0.307	0.148	-0.062	0.052	0.035
12	-6.116	11.936	11.141	-0.160	-0.368	-0.526	-0.003	-0.041	-0.017
평균	-5.853	13.283	11.218	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
표준편차	0.703	1.378	0.548	0.633	0.312	0.424	0.057	0.046	0.033
RMSE	6.157	13.948	11.731	0.661	0.325	0.443	0.060	0.048	0.035

하는 과정에서 발생한 시스템 오차와 카메라 보정으로 획득된 내부표정요소 중 초점거리가 정확하게 측정되지 않았기 때문에 발생된 것으로 판단된다.

축척까지 고려하는 3차원 상사변환(3D Similarity Transformation)을 통해 지상점과 기준점의 상대좌표를 비교하였다. 이는 그림 10의 오른쪽 그림과 표 5에서 확인할 수 있다. 그 결과 Lever-arm, Bore-sight angle bias를 정밀하게 결정하는 시스템 캘리브레이션을 수행하고 축척을 고

려하면 상대좌표를 수 cm 내외의 정확도로 추출할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 비디오카메라와 GPS/MEMS IMU를 결합한 휴대용 멀티센서 시스템을 구축하고 이로부터 센서 데이터를 획득하였다. 획득된 영상 및 위치/자세 데이터에

무기준점 항공삼각측량을 수행하여 외부표정요소와 지상점 좌표를 추정함으로써 영상 geo-referencing을 수행하였다. 그 결과 지상점의 상대좌표의 정확도가 수 cm 내외로 추정된 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 구축된 휴대용 멀티센서 시스템을 이용하여 획득한 데이터가 대상 객체의 3차원 모델을 생성하거나 대상지점의 상대좌표를 획득하는데 있어서 충분히 활용 가능하다고 판단된다.

지상점의 절대좌표의 경우 GPS/MEMS IMU의 측정오차, 영상점 측정오차, 각 센서들의 좌표계를 설정하는 과정에서 발생하는 계통오차, 그리고 내부표정요소에 포함된 오차 등으로 인해 상당히 부정확함을 확인할 수 있다. 위치/자세 정확도가 향상 된다면 보다 정확한 절대좌표를 획득할 수 있을 것으로 판단되며 시스템 캘리브레이션을 통해 각 센서들의 상호관계를 정확히 설정하고 정확한 내부표정요소를 획득한다면 상당량의 오차를 제거할 수 있을 것이다. 따라서 향후에는 시스템 캘리브레이션을 통해 절대좌표에 대한 정확도를 개선할 계획이다.

감사의글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업의 지능형 국토 정보기술혁신사업과제(07국토정보C03) 중 “실시간 공중자료획득시스템 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

박기연, 김기태, 손택재, 유환희 (2009), Georeferencing 동 영상정보를 이용한 건축물 안전관리, 한국지형공간정보학회지, 한국지형공간정보학회, 제17권, 제3호, pp. 81~87.

서용철, Masahiko Nagai (2007), 실내 환경에서의 3차원 공간데이터 취득을 위한 IMU, Laser Scanner, CCD 센서의 통합, 한국지리정보학회지, 한국지리정보학회, 제10권, 제1호, pp. 1~9.

최경아, 이임평 (2009), UAV 기반 저가 멀티센서시스템을 위한 무기준점 AT를 이용한 영상 Georeferencing, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제27권, 제2호, pp. 249~260.

최병길, 한성만, 나영우 (2008), GPS 카메라를 이용한 인천 지역 자연경관정보 관리에 관한 연구, 공동추계학술대회 논문집, 한국공간정보시스템학회, pp. 129~135.

Ayman F. Ragab and Ahmed E. Ragheb (2010), Efficiency Evaluation of Processed Photogrammetric Data Captured by GPS Digital Camera, *World Applied Sciences Journal*, IDOS, pp. 414-421.

Eugster, H, Neblker, S. (2008), UAV-Based Augmented Monitoring - Real-Time Georeferencing and Integration of Video Imagery with Virtual Globes, *XXIth ISPRS Congress*, ISPRS, Beijing, pp. 1229~1236.

Mordohal, P., Frahm, J-M. (2007), Real-Time Video-Based Reconstruction of Urban Environments, *3D-ARCH 2007*, ISPRS, ETH Zurich.

Vallet, J, Skaloud, J. (2004), Development and Experiences with a Fully-Digital Handheld Mapping System Operated from a Helicopter, *XX ISPRS Congress*, ISPRS, Istanbul

Zhang Lingyan, Zimmermann Roger, (2010), Presentation of Geo-Referenced Videos with Google Earth, *ACM Multimedia 2010*, ACM, Firenze.