

Aerial Triangulation을 이용한 UAV의 위치/자세 보정

Correction of UAV's Position/Altitude through Aerial Triangulation

최경아¹⁾ · 이임평²⁾

Choi, Kyoungah · Lee, Impyeong

서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정¹⁾, 교수²⁾

E-mail: shale@uos.ac.kr, iplee@uos.ac.kr

Abstract

매년 재난/재해의 발생 빈도와 피해 규모가 증가하고 있다. 그 피해를 최소화하기 위해 주기적인 모니터링을 수행하여 위기 상황을 사전에 대비하고 긴급 대응 체계를 구축하여 상황 발생 시 피해 상황을 신속하게 파악할 수 있어야 한다. 모니터링의 용이성과 신속성을 확보하기 위해 UAV에 기반한 긴급 매핑 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 그러나 이러한 시스템으로부터 획득된 센서 데이터가 Georeferencing되었을 때 이로부터 다양한 공간 정보를 도출할 수 있다. 본 논문에서는 UAV 기반의 매핑 시스템으로부터 획득된 센서 데이터를 시뮬레이션 해보고 시뮬레이션 데이터에 대하여 Aerial Triangulation을 수행하여 영상을 Georeferencing하고 위치/자세 정보를 보정하고자 한다. 실험은 (1) 시뮬레이션 데이터 생성, (2) 초기값 생성, (3) AT 수행을 통한 위치/자세 조정의 3단계로 구성된다. 800m 길이의 1개 스트립, 500m 길이의 2개 스트립으로 나눠 비행 경로를 정하고 200m, 400m, 600m의 비행고도에 대하여 다양한 실험을 수행하였다. 실험 결과 위치/자세의 초기값 RMSE에서 90% 이상 개선된 RMSE를 얻을 수 있었으며, 비행고도가 높아질수록 RMSE의 향상도는 반비례하였다. 향후에는 Sequential 알고리즘을 적용하여 연산 속도를 향상시킬 수 있고 궁극적으로 실시간 영상 Georeferencing을 가능하게 할 것으로 기대된다.

1. 서 론

2007년 소방방재청의 통계자료에 따르면 최근 10년 동안 재난/재해의 발생빈도는 2배 이상 증가하였고 그 피해액은 10배 이상 증가하였다고 한다. 이러한 추이를 따른다면 향후 예상되는 재난/재해의 피해 규모와 피해액은 엄청난 사회적 손실로

다가올 것이다. 이 사회적 손실을 최소화하기 위해 재난/재해의 발생을 미연에 방지하기 위한 주기적인 모니터링이 요구될 뿐만 아니라 재난/재해 발생 시 신속하고 정확하게 피해지역 및 피해규모 등을 파악하여 대응체계를 구축할 수 있도록 실시간 모니터링이 이루어져야 한다. 이와 같은 모니터링은 대체로 공중에서 이루어

지는 것이 효율적이며 그 용이성과 신속성을 확보하기 위해 최근 platform으로써 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 활용이 대두되고 있다. UAV에 기반한 긴급 매핑 시스템은 운용을 위해 요구되는 시간, 비용 그리고 인력이 상대적으로 적으며 최근 그 기술의 발달로 소정의 정확도를 확보하고 안정적인 매핑을 가능하게 한다. 그러나 이러한 시스템으로부터 획득된 센서 데이터가 Georeferencing되었을 때 이로부터 다양한 공간 정보를 도출할 수 있다. Georeferencing은 센서 데이터에 획득된 위치와 자세를 tagging하는 기술로써 그 정확도는 platform에 탑재된 GPS/IMU의 성능에 크게 의존된다. 따라서 본 연구에서는 UAV 기반의 매핑 시스템으로부터 획득된 센서 데이터를 시뮬레이션 하고 그 데이터에 대하여 Aerial Triangulation을 수행하여 위치/자세 정보를 보정하고 이를 이용해 영상 Georeferencing하고자 한다.

2. 위치/자세 보정

UAV의 위치/자세 보정은 (1) 시뮬레이션 데이터 생성, (2) 초기값 생성, (3) AT 수행을 통한 위치/자세 정보 조정의 3단계로 이루어진다.

1) 시뮬레이션 데이터 생성

고급 사양의 UAV platform에 GPS/IMU, 카메라를 탑재한 시스템과 중급 사양의 UAV platform에 저가 GPS/MEMS IMU, 동일한 카메라를 탑재한 두 시스템을 개발하였다. 각 시스템에 사용된 platform과 탑재된 센서의 제원은 <표1>, <표2>와 같다.

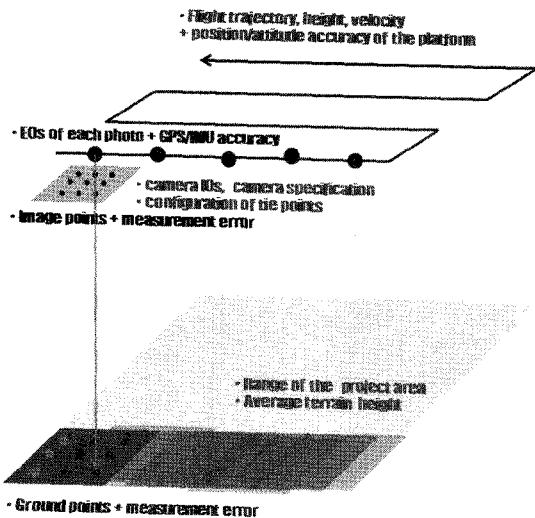
Component	Model	Specification
UAV	Camcopter S-100 [SCHIEBEL]	Flight Endurance : 8Hours Command Link Range : 80km Payload : 50kg Flying Altitude : 1200ft Frame rate : 10fps Effective pixels : 2456x2058 Pixel size : 3.45 μ m Weight : 0.115 kg
Digital Camera	GD155000C [GEVICAM]	F-number : 1.4 Focal length : 17 μ m
Lens	XNP 1.4/17 [schneider]	Position accuracy : 0.3 m Data rate : 20 Hz Weight : 0.075 Kg
GPS	OEMV-3 [INOVATEL]	Angular accuracy : 0.1 deg Data Rate : 100 Hz Weight : 3.4 kg
IMU	HG1700 [Honeywell]	

<표 1> 고급 사양 시스템 제원

Component	Model	Specification
UAV	NEO S-300 [SWISS UAV]	Payload : 20kg Flight Endurance : 2.5 ~ 3Hours
DC	GD155000C [GEVICAM]	Frame rate : 10fps Effective pixels : 2456x2058 Pixel size : 3.45 μ m Weight : 0.115 kg
Lens	XNP 1.4/17 [schneider]	F-number : 1.4 Focal length : 17 μ m
GPS	MTI-G [Xsens]	Position accuracy : 2.0~2.5m Angular accuracy : 2 deg GPS Data rate : 4Hz IMU Data rate : 100Hz Weight : 0.068 Kg
MEMS IMU		

<표 2> 중급 사양 시스템 제원

<그림 1>에서 묘사된 것과 같이 각 시스템 제원과 대상 영역, 비행경로 등에 기초하여 외부표정요소, 영상점 및 지상점 좌표의 참값과 측정오차가 포함된 관측값을 시뮬레이션을 통해 생성한다.



<그림 1> 시뮬레이션 프로세스

3) 위치/자세 보정을 위한 AT

공선조건식에 기초한 Bundle Block Adjustment(McGlone, 2004)의 수학적 모델을 수립한다. 비선형의 수학적 모델을 각 변수에 대해 미분하여 설계행렬(Design Matrix)을 수립하고, GPS/IMU의 센서오차와 영상점 좌표의 측정오차를 고려하여 가중값행렬(Weight Matrix)을 설정한다. 이들을 적용하여 정규행렬과 Reduced Normal Matrix를 생성하여 외부표정요소와 지상점 좌표가 수렴할 때까지 반복하여 조정계산한다.

$$\begin{bmatrix} Y_i \\ Y_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_e & A_p \\ K_e & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_e \\ \xi_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e \\ e_0 \end{bmatrix} \quad \text{식(1)}$$

$$\text{with } \begin{bmatrix} e \\ e_0 \end{bmatrix} \sim \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \sigma_0^2 \begin{bmatrix} P^{-1} & 0 \\ 0 & P_0^{-1} \end{bmatrix} \right)$$

where Y_i : 영상점 측정 좌표

Y_e : 영상의 외부표정요소 초기값

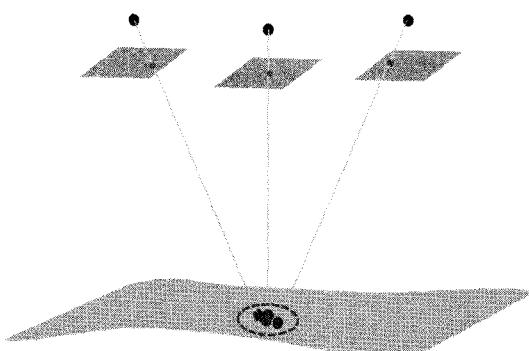
ξ_e : 외부표정요소에 대한 미지수

ξ_p : 지상점 좌표에 대한 미지수

A : 공선방정식을 외부표정요소에 대하여 미분한 설계 행렬

A : 공선방정식을 지상점 좌표에 대하여 미분한 설계 행렬

K : 외부표정요소를 제약조건으로 사용하기 위한 설계 행렬



<그림 2> 지상점 좌표의 초기치 결정

지상점 좌표의 초기치는 <그림 2>에서 나타난 것과 같이 해당 지상점이 나타나는 영상의 외부표정요소의 초기값과 시뮬레이션된 영상점 좌표의 측정값을 기준으로 각 영상마다 계산한 후 모두 평균하여 정한다.

사용된 수학적 모델은 식(1)과 같은 stochastic constraints를 갖는 관측방정식이다. 지상기준점(Ground Control Point) 없이 GPS/IMU로부터 획득된 외부표정요소를 제약조건으로 사용하여 rank deficiency 문제를 해결한다.

3. 실험 결과 및 분석

2~4장에 상술된 방법에 따라 800m 길이의 1개 스트립, 500m 길이의 2개 스트립으로 나눠 비행경로를 정하고 200m, 400m, 600m의 비행고도에 대하여 다양한 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 데이터 생성 시 고정된 값들과 실험 조합에 따라 바뀌는 값들은 <표 3>에 나타난 것과 같다. 스트립이 1개일 경우 고도에 따라 영상의 개수는 각각 144, 124, 104장이 생성되었고 영상점은 5×5 pattern에 의해 생성되었다. 고급 사양 시스템에 대한 위치/자세 데이터는 센서의 정확도를 고려하여 각각 RMSE가 0.3m, 0.1deg를 갖도록 생성되었다. 중급 사양 시스템에 대한 위치/자세 데이터도 센서의 정확도를 고려하여 각각 RMSE가 2.25m, 2deg를 갖도록 생성되었다.

	Sensor	Properties	values
Fixed Values	Lens	Focal length	17mm
		Frame rate	2
	Camera	No. of pixels	2456 x 2058
		Pixel size	3.45 μm
Platform configuration	Platform	Image size	8.4732 x 7.1001mm
		Flying velocity	38 km/h
		pattern	5 x 5
	Sidelap		0.2 %
GPS/IMU	accuracy	Type A	0.3 m / 0.1 deg
		Type B	2.25 m / 2 deg
	Platform	200 m [94.984%]	
		400 m [97.492%]	
Changed Values	Configuration	600 m [99.329%]	
		No. of strips /	
		Length of a strip	1 / 800 m 2 / 500 m

<표 3> 실험 설계

총 12개의 실험 조합으로 생성된 시뮬레이션 데이터 셋에 대하여 Bundle Block Adjustment에 기반한 AT를 적용하였다.

그 결과 외부표정요소와 지상점에 대한 RMSE가 상당히 개선되었다. 외부표정요소 중 자세정보(ω , ρ , κ)에 대한 RMSE가 위치 정보(x, y, z)에 대한 RMSE와 비교하여 상대적으로 더 많은 감소를 나타냈으며 최대 약 99.8%의 감소를 보였다. 또한 많은 중복도(overlap)에 기인한 짧은 baseline으로 시뮬레이션 된 지상좌표 중 Z좌표가 X, Y좌표와 비교하여 상대적으로 큰 RMSE를 보였기에 AT 수행으로 RMSE의 가장 큰 감소를 나타냈다. 고급 사양 시스템의 GPS/IMU의 정확도가 높아 초기치의 RMSE가 상대적으로 작았고 따라서 그 개선도가 중급 사양 시스템에 비해 낮았으며 비행고도가 높아질수록 RMSE의 향상도는 반비례하였다.

4. 결론

본 연구에서는 UAV에 기반한 모니터링 시스템으로부터 획득되는 센서 데이터를 시뮬레이션 해보았고 AT 수행을 통해 UAV의 위치/자세뿐만 아니라 지상점의 RMSE를 상당히 개선할 수 있음을 보였다. AT를 통한 UAV의 위치/자세 보정에 관한 연구는 향후 영상 기반 네비게이션에 활용될 수 있으며 모니터링 시스템에 laser scanner를 탑재하였을 때 보정된 위치/자세를 LiDAR 데이터 Georeferencing에 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 지금은 Simultaneous 알고리즘 적용으로 총 획득되는 데이터량에 비례하여 연산속도가 증가하지만 추후에는 Sequential 알고리즘 적용을 통하여 연산 속도를 향상시킬 수 있고 궁극적으로 실시간 Georeferncing을 가능하게 할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발 사업의 지능형국토정보기술혁신사업과제 (07국토정보C03) 중 “실시간 공중자료획득 시스템 개발” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문현

Chris McGlone, (2004), Maual of Photogrammetry, 5th Edition, ASPRS, Bethesda, Maryland, USA, pp. 847-870