

실시간 공중 자료획득 시스템을 위한 GPS/INS/AT를 이용한 실시간 위치/자세 결정

Determinate Real-Time Position and Attitude using GPS/INS/AT for Real-time Aerial Monitoring System

한중희¹⁾ · 권재현²⁾ · 이임평³⁾ · 최경아⁴⁾

Han, Joong-hee · Kwon, Jay Hyoun · Lee, Impyeong · Choi, Kyoungah

Abstract

Real-time Aerial Monitoring System performs the rapid mapping in an emergency situation so that the geoinformation could be constructed in near real time. In this system, the position and attitude information from GPS/INS integration algorithm is used to perform the aerial triangulation(AT) without GCPs. Therefore, if we obtain Exterior Orientation(EO) estimates from AT sequentially, EO are used as the measurements in the Kalman filter. In this study, we simulate the GPS/IMU/Image data for an UAV-based aerial monitoring system and compare the GPS/INS/AT with and without from AT. Comparative analysis showed that result from the GPS/INS/AT with EO update is more accurate than without the update. However, when the vehicle turns, the position error significantly increases which need more analysis in the future.

Keywords : Real-time Aerial Monitoring System, GPS/INS/AT Integration, Kalman Filter, AT without GCPs, UAV

초 록

실시간 공중자료획득 시스템은 긴급상황에서 실시간으로 공간정보를 생성하기 위해 빠른 매핑을 수행하는 시스템이다. 이 시스템은 GPS/INS 통합 알고리즘에서 제공한 위치 및 자세를 사용하여 무기준점 방식의 AT(aerial triangulation)을 수행한다. 따라서 순차적으로 AT을 통한 조정된 위치 및 자세를 얻을 수 있다면, 이를 칼만필터의 측정치로 하여 위치 및 자세를 보정할 수 있다. 이에 본 연구는 무인항공기 기반의 항공시스템을 기준으로 GPS/IMU/Image 시뮬레이션 데이터를 생성하였다. 생성된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 GPS/INS 통합 알고리즘을 통한 AT 수행결과와 AT을 통해 조정된 위치 및 자세를 이용하여 GPS/INS 위치 및 자세를 보정하는 GPS/INS/AT 통합 알고리즘에 의해 계산된 AT의 결과를 산출하여 비교하였다. 비교분석 결과, GPS/INS/AT 통합 알고리즘으로 AT를 수행한 결과가 GPS/INS를 이용한 AT를 수행한 결과보다 정확성이 높은 것을 확인하였다. 그러나 항체가 회전을 할 경우에는 위치 오차가 GPS/INS로 부터의 위치오차보다 높게 나오는 경향을 보였으며, 추후 분석이 필요할 것이라고 사료된다.

핵심어 : 실시간 공중자료 획득 시스템, GPS/INS/AT 통합, 칼만필터, 무기준점방식의 항공삼각측량, 무인항공기

1. 서 론

실시간 공중자료 획득 시스템이란 재난·재해와 같은 긴급한 상황 발생 지역에서 실시간으로 공간정보를 신

속하게 생성하기 위한 항공 및 지상부분으로 구성된 시스템이다. 항공부분 시스템은 상황 발생지역에서 공중 모니터링의 용이성과 신속성을 확보하기 위한 무인항공기(Unmanned Aerial Vehicle)기반의 항공 플랫폼이며, 데

1) 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정(E-mail:hjh0016@uos.ac.kr)
2) 교신저자 · 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수(E-mail:jkwon@uos.ac.kr)
3) 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 부교수(E-mail:iplee@uos.ac.kr)
4) 정희원 · 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(E-mail:shale@uos.ac.kr)

이터를 취득하기 위한 멀티센서(GPS, IMU, 디지털 카메라, 레이저 스캐너)와 데이터 저장 및 송수신을 위한 모듈로 구성되어 있다. 지상부분 시스템은 데이터 제어/송수신/관리를 위한 3개의 보조 시스템으로 구성되어 있으며, 상황 발생지역에서 무인항공기를 제어하고 실시간으로 자료 송수신과 신속한 자료처리 및 정보추출을 수행한다.

실시간 공중자료 획득시스템은 GPS(Global Positioning System)와 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서에 의해 획득된 3차원 위치 및 각속도, 가속도 데이터를 이용하여 실시간으로 무인항공기의 위치 및 자세를 결정한다. 무인항공기에서 취득된 이미지 데이터가 지상으로 송신되면 지상 기준국에서는 영상이 취득된 시간에 무인항공기의 위치 및 자세를 이용하여 지상기준점 없이 AT을 수행하여 Georeferencing을 수행한다. 무기기준점 방식의 AT을 통해 조정된 위치 및 자세는 AT에서 초기값으로 이용하는 GPS/INS 통합 알고리즘에 의해 계산된 위치 및 자세보다 RMSE가 크게 개선된다(최경아 등, 2009). 이러한 이유는 이미지 간의 상호표정요소를 수립할 때의 제약조건으로 인해 기인한 것이다. 따라서 AT 수행의 결과를 이용하여 GPS/INS 시스템으로부터 제공된 위치 및 자세를 역으로 보정할 수 있을 것이라 판단할 수 있다.

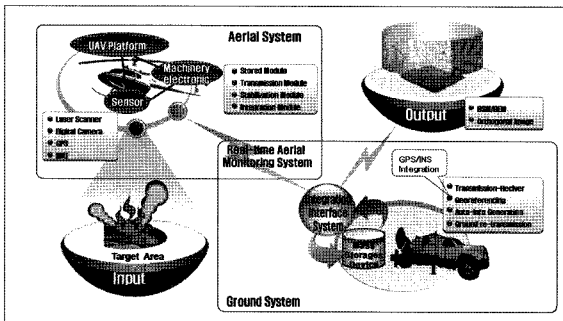


그림 1. 실시간 공중자료 획득시스템의 구성도

본 연구에서는 무인항공기 기반의 항공 모니터링 시스템에 장착된 센서를 기준으로 GPS, IMU, 이미지 데이터를 시뮬레이션하고, 약결합 방식의 GPS/INS 통합 알고리즘을 통해 위치 및 자세를 결정하고 이를 초기값으로 이용하여 무기기준점 방식의 AT을 통해 이미지 georeferencing을 수행하였다. AT 수행한 결과인 외부표정요소와 GPS/INS로부터 결정된 위치 및 자세를 참값의 시뮬

레이션 데이터와 비교하여 AT 수행을 통한 GPS/INS 위치 및 자세의 보정을 분석하였다.

또한 이미지가 0.5초 간격으로 획득된다고 가정하여 실시간으로 수행된 AT의 결과인 조정된 외부표정요소를 GPS/INS 통합알고리즘의 측정치로 이용하여 GPS/INS로 계산된 위치 및 자세를 보정하는 필터를 구축하였다. 이때, GPS/INS통합 알고리즘에 AT 결과를 이용하여 업데이트하는 필터를 GPS/INS/AT 통합 알고리즘이라 명명하였고 그 결과를 참값의 시뮬레이션 데이터와 비교 분석하였다.

2. GPS/INS/AT 통합 알고리즘

2.1 GPS/INS 통합 알고리즘

항법이나 측량 등 다양한 분야에서 사용되고 있는 GPS는 장시간 동안 높은 정확도를 가지고 있는 반면에 낮은 샘플링 비율과 외부 신호나 환경에 따라 신호 단절이 되는 경우가 발생한다. 이에 반해 관성항법장치(Inertial Navigation System)는 가장 광범위하게 쓰는 추측항법으로 높은 샘플링 비율로 연속적인 위치, 속도, 자세를 제공할 수 있으며 외부 신호 없이도 운용될 수 있다. 그러나 시간에 따라 오차가 발생하는 단점이 있다. 따라서 이러한 두 센서의 약점을 최소화하고 장점을 최대화하기 위해 GPS와 INS을 통합하여 널리 사용되고 있다.

GPS와 INS 정보의 통합은 관측치 종류와 방법에 따라 약결합(Loosely Coupling), 강결합(Tightly Coupling) 등 다양하게 수행되어 왔다(Schwarz 등 1994). 실시간 공중모니터링 시스템에선 긴급한 상황에서 빠르게 위치 및 자세를 결정하여야 하므로, 빠른 계산시간에 중점을 두어 GPS에서 제공하는 항법해 자체를 이용하여 INS 오차를 보정하기 위해, 15개의 상태변수로 이루어진 확장칼만 필터를 이용한 약결합 방식으로 구축하였다(이원진 등, 2009). 이때, 오차상태변수는 위도, 경도, 높이의 위치 오차와, 항체의 위치에 원점을 가지며 북쪽, 동쪽, 그리고 타원체면에 수직인 방향으로 정의되는 지역좌표계인 NED 좌표계로 표현된 속도오차 및 자세오차, 자이로와 가속도계에서 발생하는 바이어스로 구성되었다. 또한 의사거리를 이용한 GPS 위치해에 부합하도록 관측치의 오차는 가우시안 분포를 따른다고 가정하여 수평 및 수직위치의 표준편차는 각각 1.2m, 2.4m로 하였다. 관측방정식은 식(1)과 같으며 이와 관련된 내용은 다양한 문헌

으로부터 참고할 수 있다(Grewal 등 2007; Jekeli 등 2000).

$$z(t) = H \cdot x(t) + v(t), \quad v \sim N(0, R) \quad (1)$$

여기서,

$$x = [x_i \ x_d]^T$$

$$x_i = [\delta w \ \delta p \ \delta k \ \delta V_n \ \delta V_e \ \delta V_d \ \delta \phi \ \delta \lambda \ \delta h]^T$$

$\delta w, \delta p, \delta k$: NED 좌표계로 표현된 자세 Roll, Pitch, Yaw 오차

$$\delta V_n, \delta V_e, \delta V_d$$
 : NED 좌표계로 표현된 North, East, Down 방향의 속도 오차

$$\delta \phi, \delta \lambda, \delta h$$
 : WGS-84 좌표계로 표현된 위치 위도, 경도 높이 오차

$$x_d = [\delta W_n \ \delta W_e \ \delta W_d \ \delta f_n \ \delta f_e \ \delta f_d]^T$$

$$\delta W_n, \delta W_e, \delta W_d$$
 : NED 좌표계로 표현된 North, East, Down 방향의 자이로 바이어스

$$\delta f_n, \delta f_e, \delta f_d$$
 : NED 좌표계로 표현된 North, East, Down 방향의 가속도계 바이어스

$$H = [O_{3 \times 3} \ O_{3 \times 3} \ I_{3 \times 3} \ O_{3 \times 3} \ O_{3 \times 3}]$$

2.2 GPS/INS 정보를 이용한 무기준점 방식의 AT 알고리즘

AT는 2개 이상의 영상에 대하여 카메라의 위치와 자세를 결정하는 영상 georeferencing 방법 중에 하나이다. 본 연구에는 지상기준점(GCP : Ground Control Point) 없이 AT를 적용하여 영상 georeferencing을 수행하였다. 지상기준점 없이 AT를 수행하는 주요 과정은 다음과 같다.

첫째, Bundle Block Adjustment(McGlone, 2004) 기반의 AT의 수학적 모델을 수립한다. Bundle Block Adjustment는 AT의 방법 중의 하나로써 영상의 투영중심(Perspective Center), 하나의 지상점과 그 점을 나타내는 영상점이 하나의 직선상에 존재한다는 공선조건식인 식(2)에 기반한다. 이때, 내부표정요소를 상수로 가정하면 수학적 모델은 식(3)과 같이 표현할 수 있고, 미지수는 영상 m장의 외부표정변수와 n개의 지상점 좌표이다.

$$\begin{aligned} x &= x_p - c \frac{(X-X_c)r_{11} + (Y-Y_c)r_{12} + (Z-Z_c)r_{13}}{(X-X_c)r_{31} + (Y-Y_c)r_{32} + (Z-Z_c)r_{33}} \\ y &= y_p - c \frac{(X-X_c)r_{21} + (Y-Y_c)r_{22} + (Z-Z_c)r_{23}}{(X-X_c)r_{31} + (Y-Y_c)r_{32} + (Z-Z_c)r_{33}} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, (x_p, y_p) : 영상의 주점 좌표

c : 렌즈의 초점거리

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} : \text{회전 행렬}$$

(X_c, Y_c, Z_c) : 외부표정요소 중 렌즈의 중심 위치

(X, Y, Z) : 지상점 좌표

$$(x_i^j, y_i^j) = f(EO_1, EO_2, \dots, EO_m, X_1, Y_1, Z_1, X_2, Y_2, Z_2, \dots, X_n, Y_n, Z_n) \quad (3)$$

여기서, m : 영상의 개수

n : 지상점의 개수

(x_i^j, y_i^j) : 영상점의 좌표

둘째, 관측방정식을 수립한다. 지상기준점이 존재하지 않는 경우에 기인한 계수 부족(rank deficiency)을 제거하기 위해 GPS/INS 정보를 이용하여 외부표정변수에 제약조건을 추가하여 식(4)와 같은 수학적 모델을 세운다. 제약조건을 이용한 조정계산은 Simon(2006)을 참조하기 바란다.

$$\begin{bmatrix} y_i \\ y_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_e & A_p \\ K_e & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_i \\ \xi_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_i \\ e_e \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} e_i \\ e_e \end{bmatrix} \sim \left(\begin{bmatrix} 0 & \sigma_e^2 [P_i^{-1} \ 0] \\ 0 & P_e^{-1} \end{bmatrix} \right) \quad (4)$$

여기서, y_i : 영상점좌표에 대한 측정값 및 계산값과의 차이

y_e : 외부표정변수에 대한 초기값 및 제약요소와 차이

ξ_i : 외부표정변수에 대한 초기값과의 차이

ξ_p : 지상점좌표에 대한 초기값과의 차이

A_e : 공선방정식을 외부표정변수에 대하여 미분한 설계행렬

A_p : 공선방정식을 지상점 좌표에 대하여 미분한 설계행렬

K_e : 외부표정변수를 제약조건으로 사용하기 위한 설계행렬

P_i^{-1} : 영상점 좌표의 측정오차에 대한 분산 공분산 행렬

P_e^{-1} : GPS/INS의 센서측정오차에 대한 분산공분산 행렬

위에서 식(3)은 비선형이기 때문에 Taylor 시리즈를 이용한 선형화 및 외부표정변수와 지상점 좌표의 초기값이 필요하다. 외부표정요소의 초기값은 영상이 취득될 때 GPS/INS에서 계산된 위치 및 자세이다. 지상점 좌표의 초기값은 그림 2에서 나타난 것과 같다. 각각영상의 외부표정변수 초기값과 영상점 좌표의 측정값을 식

(2)와 같은 공선방정식에 대입하여 개별 영상의 투영 중심과 영상점을 연결하는 개별적인 각각의 직선을 구성한다. 만약 하나의 지상점이 m개의 영상에 나타난다면 m개의 직선이 생성된다. 이론상으로 K개의 직선은 동일한 지상점인 하나의 점에서 만나야 하지만 실제로는 외부표정요소 초기값과 영상점 좌표 등에 오차가 존재하기 때문에 하나의 직선에 만나지 않는다. 따라서 최소제곱법을 이용하여 지상점의 초기값을 결정한다.

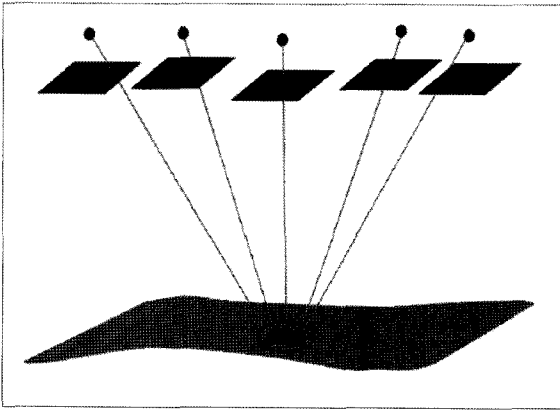


그림 2. 지상점 좌표의 초기값 결정

마지막으로 최소제곱법을 통해 산출된 지상점과 GPS/INS 정보인 외부표정변수의 초기값을 이용하여 최소제곱법을 반복수행하여 외부표정변수와 지상점 좌표가 수렴할 때까지 조정계산을 반복하면 보정된 위치 및 자세 정보와 지상점 좌표를 산출할 수 있다.

2.3 GPS/INS/AT 통합 알고리즘

그림 3은 GPS/INS/AT의 통합 알고리즘의 개략도이다. 앞서 설명한 GPS/INS 통합 알고리즘과 주요 차이점은 AT 수행한 결과인 조정된 외부표정요소를 칼만필터에서 측정치로 사용한다는 것이다. GPS/INS/AT 통합 알고

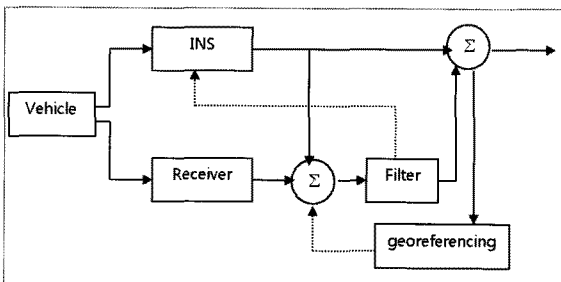


그림 3. GPS/INS/AT 통합 개략도

리즘을 실현하기 위해선 AT 수행이 GPS/INS 통합 알고리즘과 같이 순차적으로 이루어져야 한다. 만약 순차적으로 AT의 결과 값인 추정된 외부표정요소를 얻을 수 있다면, 칼만필터의 상태 변수는 GPS 의사거리 기반의 위치와 AT 수행을 통한 조정된 위치 및 자세 정보를 이용하여 보정될 수 있다. 이로 인해, INS 오차는 보정되어 좀 더 정확한 위치 및 자세 그리고 속도를 결정할 수 있다.

GPS/INS/AT 통합 알고리즘에서 INS의 추정치인 위치 및 자세와 AT 수행을 통한 외부표정요소와의 차이인 간접측정치는 식 (5)와 같다.

$$z = \begin{bmatrix} w \\ p \\ k \\ \phi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}_{INS} - \begin{bmatrix} w \\ p \\ k \\ \phi \\ \lambda \\ h \end{bmatrix}_{AT} \quad (5)$$

AT 수행의 결과 값을 이용하여 보정하기 위해 설계 행렬인 H 행렬은 식 (6)과 같이 나타내고 분산-공분산 행렬 R은 식 (7)과 같다.

$$H = \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} \\ O_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} & O_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R = \text{diag}(\sigma_w^2, \sigma_p^2, \sigma_k^2, \sigma_\phi^2, \sigma_\lambda^2, \sigma_h^2) \quad (7)$$

3. 실험 및 결과 분석

3.1 시뮬레이션 테스트

GPS/INS/AT 통합 알고리즘을 검증하기 위해, 실시간 공중 모니터링에 부착된 센서를 기준으로 시뮬레이션 데이터를 생성하여 실험을 수행하였다. 시뮬레이션 경로를 설정하여 참값의 데이터를 생성하였고, 이를 기준으로 알고리즘의 수행 결과의 오차나 영향에 대해 분석하였다. 그림 4는 시뮬레이션 테스트 과정을 도식화한 그림이다.

시뮬레이션 테스트를 진행하기 위해 무인항공기가 50km/h 속도로 200m 고도로 비행한다고 가정하여 MATLAB INSTOOLKIT를 이용하여 시뮬레이션 경로를 생성하고 참값의 원시 데이터를 생성하였다. 생성된 시뮬레이션 경로는 그림 5와 같다.

의 측정오차는 5cm의 표준편차를 갖도록 생성하였고, 영상점의 측정오차는 표 1의 카메라 pixel size와 동일하게 3.45 μ m의 표준편차를 갖도록 생성하였다.

표 1. 무인항공기에 탑재된 센서 사양

Sensor	Properties	Values	
GPS	Horizontal Error	1.2m	
	Vertical Error	2.4m	
	Data Rate	1Hz	
IMU	Accelerometer Error	Bias	1.0mg
		Scale Factor	300ppm
		Random Walk	0.25mg/ \sqrt Hr
	Gyro Error	Bias	1deg/hr
		Scale Factor	150ppm
		Random Walk	0.125deg
Data Rate		100Hz/ \sqrt Hr	
Camera	Frame Rate	2 frame/sec	
	No. of Pixels	2456x2058	
	Pixel Size	3.45 μ m	
	Detector Size	8.47x7.10mm	

위에서 생성된 GPS, IMU 시뮬레이션 데이터를 이용한 AT의 정확도를 비교하기 위한 실험은 두 가지 방법으로 진행되었다. 첫 번째 방법에서는 기존에 구축된 GPS/INS 통합 알고리즘을 이용하여 AT를 수행하였다. GPS/IMU 데이터를 이용하여 위치 및 자세를 계산하면서 0.5초 간격마다 GPS/INS 통합 알고리즘에서 계산된 결과와 실제 위치 및 자세 그리고 표 2와 같은 이미지 시뮬레이션 데이터를 만들기 위한 변수를 이용하여 이미지를 생성한 다음, 생성된 이미지와 기존의 이미지, 그리고 GPS/INS로 부터의 위치 및 자세를 초기변수로 지정하여 AT를 수행하여 조정된 위치 및 자세를 산출하였다.

표 2. 시뮬레이션 이미지 데이터 생성을 위한 변수

Parameter	Value	Unit
image ground resolution	41	mm
image point measurement	0.00345	mm
ground point measurement error	0.05	M
No. of minimum images	2	
No. of maximum images	100	
overlap ratio	92	%

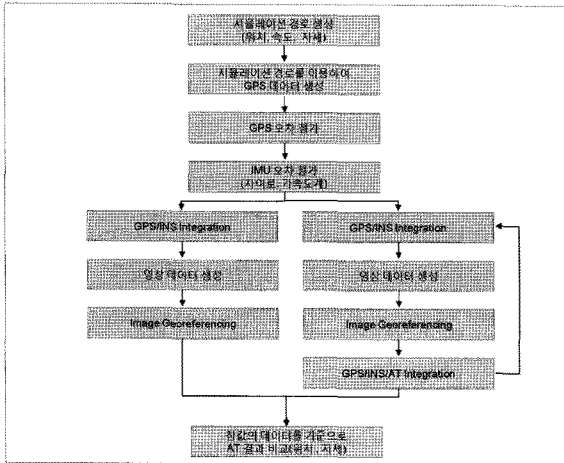


그림 4. 시뮬레이션 테스트 과정

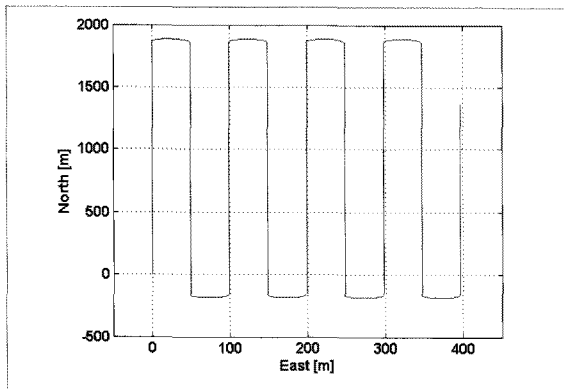


그림 5. 시뮬레이션 경로

생성된 경로를 이용하여 참값의 GPS 데이터를 생성하고 수평 1.2m, 수직 2.4m GPS 관측 오차를 가지며 데이터 출력 간격은 1Hz 라고 가정하여 오차가 포함된 GPS 데이터를 생성하였다. 또한 시뮬레이션 경로로부터 IMU 데이터인 각가속도와 가속도 데이터를 생성 후, Honeywell's HG1700 IMU 센서 사양을 기준으로 오차가 포함된 IMU 데이터를 생성하였다. 오차가 포함된 시뮬레이션 데이터를 생성하기 위한 센서 사양은 표 1과 같다.

시뮬레이션 이미지 생성을 위해 실제 경로를 이용하여 외부표정요소를 생성하고, 지상점을 규칙적으로 분포시켰다. 지상점에 상응하는 영상점의 좌표는 해당 영상의 외부표정요소를 기준으로 공선조건식을 이용하여 생성하였다. 그리고 영상점 및 지상점의 오차를 첨가하여 시뮬레이션에 사용할 데이터를 생성하였다. 지상점

두 번째 방법은 GPS/INS/AT 통합 알고리즘을 이용한 AT의 수행이다. 이미지 데이터를 생성하는 방법에서 위에서 언급한 GPS/INS 통합 알고리즘을 이용한 방법과 동일하나, 생성된 이미지를 이용하여 AT 수행한 결과인 외부표정요소를 다시 칼만필터의 측정치로 이용하여 GPS/INS/AT의 위치 및 자세, 속도를 보정한다. 첫 번째 방법과 두 번째 방법에서 각각 AT 수행 후의 조정된 외부표정변수와 참값이라 가정된 시뮬레이션 데이터를 이용하여 결과를 비교 분석하였다.

3.2 실험 결과

GPS/INS 통합 알고리즘을 이용하여 결정된 위치 및 자세와 이를 이용하여 수행한 AT의 결과인 조정된 외부표정요소를 참값이라 가정한 시뮬레이션 데이터를 이용하여 비교분석하였다. 그리고 AT 수행 후의 결과인 외부표정요소를 다시 GPS/INS 통합 알고리즘의 측정치로 하여 재 보정하는 방법인 GPS/INS/AT 통합 알고리즘의 결과를 이용하여 AT를 수행한 결과와 기존의 AT결과를 비교 분석하여 정확도가 얼마나 향상되었는가에 대해 분석하였다.

그림 6과 7은 GPS/INS 통합 알고리즘에서 계산된 위치 및 자세 오차와 AT를 수행한 후의 위치 및 자세 오차를 비교해 놓은 것이다. 위치의 경우 AT 수행 후에 정확도가 떨어지는 경향을 보였다. 그러나 자세의 경우에는 AT 수행결과가 GPS/INS/AT보다 오차가 감소되는 경향을 보였다. 이러한 이유는 Bundle Block Adjustment에 의하여 계산을 실시하는 동안 상호표정을 통해 전체 이미지가 조정되면서 자세는 안정화되기 때문이다. 그러나 위치의 경우에는 무인항공기의 회전에 의한 영향으로

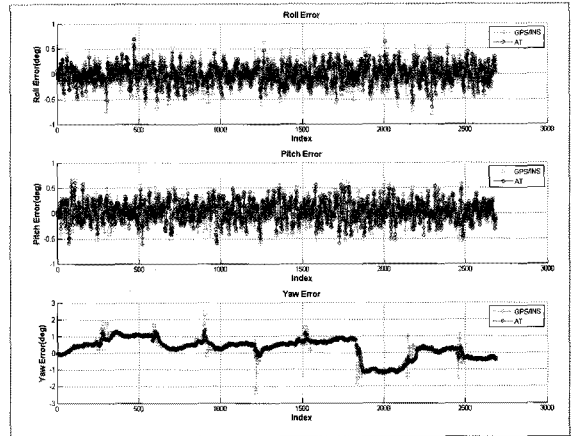


그림 7. GPS/INS와 AT의 자세 오차 비교

동쪽 방향 성분에서 불연속성이 나타나 적절한 조정이 이루어지지 않았다. 회전 하는 동안 INS 오차는 급격하게 증가하게 되어 회전전과 후에 있어 AT를 수행하는 과정에서 영상 매칭이 정확하게 수행되지 못하기 때문이다.

GPS/INS 통합 알고리즘과 AT 수행 후의 위치 및 자세 오차를 통계적으로 나타낸 것은 표 3과 같다. 오차가 포함되지 않은 시뮬레이션 경로를 참값이라 가정하여 GPS/INS 통합 알고리즘과 AT 수행의 결과 값을 이용하여 RMSE를 계산하였다. 위치에서는 전반적으로 RMSE가 증가하는 경향을 보였다. 특히 회전하는 방향인 동쪽 방향으로 약 4배 이상의 오차가 크게 증가하는 것을 보였다. 자세의 경우에는 전체적으로 약 15% 향상되는 결과를 알 수 있다.

표 3. GPS/INS와 AT 수행 결과의 RMSE 비교

Parameter		GPS/INS	AT
Position	North(m)	0.835	0.876
	East(m)	0.831	3.650
	Down(m)	1.029	1.174
Attitude	Roll(deg)	0.224	0.178
	Pitch(deg)	0.226	0.196
	Yaw(deg)	0.722	0.670

표 4는 GPS/INS를 이용하여 AT를 수행한 결과와 GPS/INS/AT를 이용하여 AT를 수행한 결과의 RMSE이다. GPS/INS/AT의 통합 알고리즘은 0.5초마다 AT를 수행하여 산출된 외부표정요소를 칼만필터의 관측치로 이

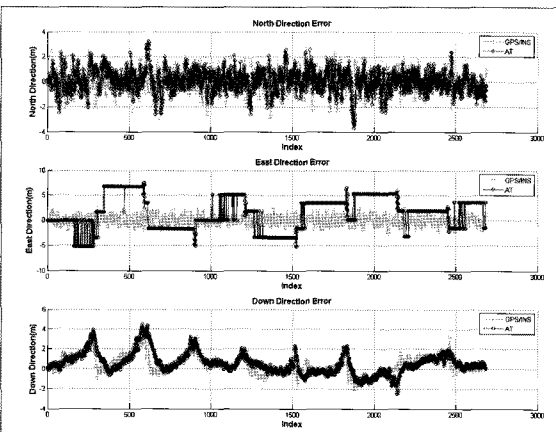


그림 6. GPS/INS와 AT의 위치 오차 비교

용하여 위치 및 자세를 보정하게 된다. 이를 이용하여 AT를 수행한 결과에서는 앞서 설명한 GPS/INS를 이용한 기존의 AT 수행한 결과보다 위치 및 자세가 향상되었다. 위치 정보의 경우 기존의 AT 수행결과의 RMSE인 North, East, Down 방향에 대하여 각각 0.876m, 3.650m, 1.174m 로부터 0.702m, 2.399m, 1.123m로 감소되었다. 또한 자세의 경우 Roll과 Pitch는 약 0.02도 감소하였고, Yaw의 경우는 약 0.27도 크게 감소된 것으로 확인되었다.

표 4. GPS/INS를 이용한 AT GPS/INS/AT를 이용한 AT 수행 결과의 RMSE 비교

Parameter		AT using GPS/INS	AT using GPS/INS/AT
Position	North(m)	0.876	0.702
	East(m)	3.650	2.399
	Down(m)	1.174	1.123
Attitude	Roll(deg)	0.178	0.151
	Pitch(deg)	0.196	0.155
	Yaw(deg)	0.670	0.406

4. 결 론

본 연구에서는 무기준점 방식의 AT의 결과를 이용한 GPS/INS/AT 통합 알고리즘을 개발하여, GPS/INS를 이용한 AT의 결과와 비교하였다. GPS/INS/AT 알고리즘은 실시간 공중자료 획득 시스템의 주 목적인 빠른 매핑을 위해 AT 수행시 내부표정요소는 상수로 가정하고 무기준점 방식으로 처리하도록 하였다. GPS/INS/AT 통합 알고리즘의 요지는 AT 수행을 통해 조정된 외부표정요소를 이용하여 GPS/INS를 통해 결정된 위치/자세/속도를 보정하는 것이다. 즉 영상이 찍힐 때마다 AT를 수행하여 이를 다시 측정치로 하여 GPS/INS 필터에 적용하여 업데이트한 후 다음 영상이 획득될 경우에는 좀 더 향상된 위치 및 자세를 초기값으로 하여 AT를 수행할 수 있도록 하는 것이다.

알고리즘을 검증하기 위해 참 값이라고 가정한 경로를 생성하여 실시간 공중모니터링 시스템에 탑재된 센서사양을 기준으로 GPS, IMU, 이미지 데이터를 생성하고 GPS/INS 통합 알고리즘과 이를 이용한 AT를 수행한 경우와 위치 및 자세에 대해 비교하였다. GPS/INS/AT를 이용하여 연속적으로 AT를 수행한 결과는 GPS/INS를 이용한 AT를 수행한 결과보다 위치 및 자세가 향상

되는 것을 확인하였다.

그러나 만약 항체가 회전을 할 경우에는 AT로부터 계산된 위치는 AT 처리 과정인 영상 매칭 단계에서 편이에 기인한 오차가 증대되는 현상이 나타난다. 따라서 이에 대한 추가 연구가 필요하며, 또한 영상뿐 아니라 라이다 데이터와 같은 자료의 georeferencing에 적용할 수 있는 알고리즘의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

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

본 연구는 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

- 이원진, 권재현, 이종기, 한중희 (2009), 실시간 공중 자료획득 시스템을 위한 GPS/MEMS IMU 센서 검증 및 GPS/INS 통합 알고리즘, 한국측량학회지, 제 27권, 2호, pp. 225-234.
- 최경아, 이임평 (2009), UAV 기반 저가 멀티센서시스템을 위한 무기준점 AT를 이용한 영상의 Georeferencing, 한국측량학회지, 제 27권, 2호, pp. 249-260.
- Chris McGlone (2004), *Manual of Photogrammetry*, 5th Edition, ASPRS, Bethesda, Maryland, US, pp. 847-870.
- Grewal, M.S., Weill, L.R., Andrews A.P. (2007), *Global Positioning System, Inertial Navigation, and Integration*, John Wiley & Sons, New Jersey, pp. 255-313.
- Jekeli, C. (2000), *Inertial navigation system with geodetic applications*, Walter de Gruyter INC., Berlin, pp. 197-237
- Simon, D. (2006), *Optimal State Estimation*, John Wiley & Sons, INC, pp.79-105.
- Schwarz, K. P., Wei, M., and Gelderen, M. V. (1994), Aided versus embedded: A comparison of two approaches to GPS/INS integration, *In Proceedings of IEEE PLANS 94*, pp. 314-321.