

멀티센서 초소형 무인항공기 기반의 고속 자동 매핑 시스템

A High-speed Automatic Mapping System Based on a Multi-sensor Micro UAV System

전의익* · 최경아** · 이임평***

Euiik Jeon · Kyoungah Choi · Imyeong Lee

요약 초소형 무인항공기를 기반으로 대상영역에 대한 공간정보를 신속하게 자동으로 획득할 수 있는 긴급 매핑 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 사용자가 초소형 무인항공기 운용이나 사진측량에 대한 전문지식이 없어도 쉽게 사용할 수 있게 설계되었다. 항공 데이터 획득을 위해 디지털 카메라, GPS/IMU, 센서 통합 및 동기화를 담당하는 제어보드가 탑재된 초소형 무인항공기 시스템을 구축하였다. 또한, 항공부분의 운용을 지원하는 비행계획 수립 소프트웨어와 획득된 데이터의 품질을 평가하여 선별하고, 영상 매칭, 지오레퍼런싱, 정사영상 생성과 같은 일련의 과정을 고속 자동으로 수행하는 소프트웨어를 개발하였다. 본 시스템을 적용하여 400m × 300m 크기의 대상지역에 대해 획득된 3cm 해상도의 57장 영상을 고속으로 자동처리하여 30분 이내 개별정사영상으로 생성할 수 있었다.

키워드 : 초소형 무인항공기, 긴급 매핑, 고속, 자동

Abstract We developed a micro UAV based rapid mapping system that provides geospatial information of target areas in a rapid and automatic way. Users can operate the system easily although they are inexperienced in UAV operation and photogrammetric processes. For the aerial data acquisition, we constructed a micro UAV system mounted with a digital camera, a GPS/IMU, and a control board for the sensor integration and synchronization. We also developed a flight planning software and data processing software for the generation of geo-spatial information. The processing software operates automatically with a high speed to perform data quality control, image matching, georeferencing, and orthoimage generation. With the system, we have generated individual ortho-images within 30 minutes from 57 images of 3cm resolution acquired from a target area of 400m × 300m.

Keywords : Micro UAV, Rapid Mapping, High-speed, Automatic

1. 서론

공간정보 생성을 위한 데이터 획득 수단으로써 위성 시스템의 발전과 카메라, 레이더, 적외선 센서의 해상도가 좋아짐에 따라, 위성을 이용하여 재난, 재해 등의 피해를 평가에 적용할 수 있는 시스템 개발에 대한 연구가 수행되었다[10]. 광범위한 지역에 대한 데이터 획득에 있어서는 위성이 효율적이지만, 국지적인 지역에 대한 신속한 데이터 획득에는 어려움이 있다. 이와 같은 시간 해상도의 한계뿐만 아니라 다른 플랫폼과 비교하여 높은 고도에서 운용되기 때문에 높은 공간 해상도 성취에도 어려움이 있다. 이와 같은

이유로 저고도 운용이 가능한 근거리 무인기에 디지털 카메라, 레이저 스캐너, GPS(Global Positioning System), IMU(Inertial Measurement Unit) 등을 탑재하여, 대상 지역의 데이터를 획득하고 실시간으로 처리하여 수치 표고 모형(Digital Elevation Model)과 정사영상을 생성하는 연구가 수행되었다[3]. 그러나 이와 같은 근거리 무인기를 기반으로 하는 매핑 시스템을 운용하기 위해서는 조종 전문가가 요구되어 많은 운용비용이 소요되는 단점이 있다. 그리하여 최근에는 운용에 있어 적은 비용과 전문성이 요구되는 초소형 무인항공기를 활용하는 연구가 증가하고 있다.

초소형 무인항공기를 플랫폼으로 채택할 경우 대상

[†] This research was supported by a grant(14SCIP-B065985-02) from Smart Civil Infrastructure Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) of Korea government and Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA).

* Euiik Jeon, Master Student, Dept. of GeoInformatic, University of Seoul. dmlldr@uos.ac.kr

** Kyoungah Choi, Research Professor, Dept. of GeoInformatic, University of Seoul. shale@uos.ac.kr

*** Imyeong Lee, Professor, Dept. of GeoInformatic, University of Seoul. iplee@uos.ac.kr (Corresponding Author)

지역의 고해상도 센서 데이터를 저렴한 비용으로 획득할 수 있다는 큰 장점이 있다. 이러한 이유로 공간정보분야뿐만 아니라 농업, 수자원, 지적, 건설 등 다양한 분야에 초소형 무인항공기를 활용한 연구들이 이루어지고 있다. Tokmakidis[16]는 소형 무인 헬리콥터에 세미 메트릭(Semi metric) 카메라를 탑재하여 수동 비행으로 약 30~40m의 저고도에서 고고학적 유적지의 사진을 획득하고 약 10일 동안 수치 지형 모형(Digital Terrain Model)과 정사영상을 생성하였다. Ries[13]는 소형 무인 비행선을 플랫폼으로 하여 동일한 지역에 대하여 4년 동안 대축척 데이터를 획득하고 지형지물을 모니터링을 함으로써, 무인항공기 기반의 모니터링에 대한 가능성을 입증하였다. Eisenbeiss[4]는 자동 비행이 가능한 소형 무인 헬리콥터에 디지털 카메라, GPS/INS를 탑재하고, 사전에 계획한 비행경로를 따라 문화재 보존 지역에 대한 데이터를 획득하고 상용 소프트웨어를 이용하여 고해상도의 수치 표면 모형과 정사영상을 생성할 수 있었다. 그러나 소형 무인 헬리콥터가 자동 비행 과정에서 이·착륙을 할 때에는 안전과 조종의 문제로 숙련된 전문가가 필요하였다. Remondino[12]는 회전익 무인항공기를 이용하여 데이터 획득 후, 수치 표면 모형(Digital Surface Model)과 정사영상을 생성했을 뿐만 아니라 근적외선 카메라를 장착하여 농경지의 정규화식생지수의 값을 계산할 수 있었다.

초소형 무인항공기를 기반으로 하는 데이터 획득 시스템에 대한 연구가 활발히 진행됨에 따라 국내에서도 이에 대한 연구들이 수행되었다. Jang[6]은 카메라를 탑재한 무인 헬리콥터 시스템을 자율 비행 모드로 운용하여 소규모 지역에 대한 데이터 획득을 하고, 상용소프트웨어를 이용하여 생성된 지형표고자료의 정확도를 분석하였다. Kim[9]는 회전익 무인항공기를 기반으로 소규모 지역에 대한 데이터 획득을 하고 상용소프트웨어를 통한 공간정보 생성 결과를 분석하여 고가의 항공측량시스템의 대체가능성을 검토하였다. Kim[8]은 무인항공기로부터 획득된 데이터를 분석하고, 처리 결과를 바탕으로 재해지역 및 수시갱신에 대한 적용가능성을 검토하였으며, 국내 무인항공기를 이용한 영상지도제작 및 수치지도 작성 작업에 대한 측량 관련법에 대한 개선방안을 제시하였다.

이러한 초소형 무인항공기를 운용하여 데이터를 획득하는 것에 그치지 않고, 비행 계획 수립부터 데이터 처리까지 자체적으로 소프트웨어를 개발하거나 오픈 소스를 통하여 공간정보를 생성하는 연구도 증가하고 있다. Hernandez-Lopez[5]는 카메라의 사양과 요구되

는 공간해상도, 종·횡중복도를 고려하여 자동으로 비행 계획을 수립하는 소프트웨어를 개발하였다. 계획된 비행경로를 따라 실제 비행에 의하여 획득된 데이터의 중복도, 위치, 자세 등의 차이를 비교하는 연구를 수행하였다. Niethammer[11]는 초소형 무인항공기를 기반으로 산사태 지역의 데이터를 획득하고, 오픈 소스를 통해 수치 지형 모형과 정사영상을 생성하고, 이를 분석하여 산사태 전후의 지물의 이동 방향과 높이 변화를 분석하였다. Turner[17]는 자체적으로 개발한 GPS와 카메라 동기화 시스템을 초소형 무인항공기에 탑재하고 이를 운용하여 데이터 획득을 실시하였다. 획득한 데이터를 자체 개발한 번들 블록 조정 기반의 처리 소프트웨어에 적용한 결과와 상용소프트웨어 Photoscan과 Pix4D에 적용한 결과를 처리 시간과 정확도 측면으로 비교하였다. 그 결과 Photoscan이 Pix4D에 비해 처리 시간과 정확도 측면에서 상대적으로 우수한 결과를 나타내었다. Sona[14], Jeon[7]는 초소형 무인항공기를 통해 획득한 데이터를 PhotoMoeler, Erdas-LPS, Socet set와 같은 전통적인 사진 측량 소프트웨어와 저고도 무인항공기 영상 처리에 특화되어 있는 Pix4UAV, Photoscan, 그리고 자체 개발한 알고리즘에 적용하여 처리 단계별로 정확도를 비교·분석하였다. 사진 측량 소프트웨어들은 카메라 캘리브레이션이과 영상 매칭 등의 과정에서 작업자의 개입이 요구되었으나, Pix4UAV와 Photoscan은 데이터 입력을 제외하고는 모든 과정이 자동화되어 있었으며 출력물의 정확도와 가시적 품질이 더 우수하게 나타났다. 그 중에서도 Photoscan이 모든 측면에서 가장 훌륭한 결과를 산출하였다.

위와 같이 다양한 분야에서 다양한 목적으로 무인항공기를 활용한 매핑 시스템의 도입을 검토하고 시범운용을 시도하고 있으나 여전히 지속적이고 일상적이고 실용적인 운용을 위해서는 많은 한계를 보이고 있다. 그러한 한계는 크게 (1) 무인항공기 플랫폼, (2) 무인항공기를 활용한 데이터 획득, (3) 획득된 데이터를 처리하여 공간정보를 생성하는 과정에 전반적으로 발견된다. 예를 들어, 무인항공기 플랫폼의 경우에는 크게 짧은 체공시간, 낮은 신뢰성, 날씨에 대한 종속성 등이 한계로 파악된다.

데이터를 획득하고 처리하는 과정도 활용 중심적인 시각으로 살펴보면 많은 한계를 가지고 있다. 이러한 한계는 활용분야의 전문가들은 최종적으로 생성된 공간정보를 활용하는 것에 관심이 많지만, 그러한 공간정보를 무인항공기를 활용하여 생성하려면 데이터 획득에서 처리하는 과정에 대한 깊은 이해와 지식이 필

요하다는 것에서 비롯된다. 특히, 사진측량학적 지식이 상당히 있어야지만 요구되는 매핑 수준에 적합한 비행계획을 수립하고, 획득된 데이터를 중간 결과를 확인하면서 여러 가지 변수와 임계값을 조정하면서 적절히 처리할 수 있다.

이에 본 연구는 기존의 시스템을 활용하여 무인항공기를 이용한 데이터 획득과 처리 과정에서 발견되는 다양한 한계를 극복하고, 특히 사진측량과 관련된 전문지식이 많지 않은 일반 사용자가 데이터 획득부터 공간정보 생성까지 신속하게 자동으로 수행하면서도 비용효율적인 시스템을 개발하고자 한다. 즉, 사용자는 대상지역의 범위와 요구되는 정사영상의 해상도를 입력하면, 시스템이 비행계획수립에서 데이터 취득 및 처리하여 정사영상을 자동으로 생성하는 중저가 시스템을 의미한다. 이를 위해 본 연구에서 제안된 시스템의 주요 특징은 아래와 같다.

무인기 운용의 용이성과 가격을 고려하여 적절한 초소형 무인항공기를 플랫폼으로 선정한다. 특정 플랫폼에 종속되지 않고 독립적으로 탑재되어 동작가능한 멀티 센서 탑재체를 개발한다. 멀티 센서 탑재체는 영상과 위치/자세 데이터를 정확하게 시간 동기화하여 수집하는데, 이는 지상기준점 없이 자동화된 후처리를 위해 반드시 필요하다. 대상지역과 요구되는 해상도를 고려해서 자동으로 최적의 비행경로를 수립하여 데이터를 취득한다. 취득된 멀티 센서 데이터는 초기위치자세를 활용하여 개선된 영상매칭을 통해 영상간의 신뢰성 높은 공액점을 고속으로 자동으로 추출한다. 추출된 공액점과 영상과 함께 취득된 위치자세 데이터를 확률제한조건으로 적용하는 번들블럭조정에 기반한 지오레퍼런싱 과정을 통해 영상의 외부표정요소를 정밀하게 추정한다. 최종적으로 추정된 외부표정요소를 활용하여 개별 영상을 기존의 DEM이나 평균고도면에 투영하여 적절한 품질의 정사영상을 고속으로 생성한다.

본 논문은 기존의 시스템과 대비하여 위와 같은 특

징 및 차별성을 통해 개발된 무인항공기 기반 자동/고속 매핑 시스템의 구성을 기술하고, 개발된 시스템을 대상지역에 실제로 적용하여 얻어진 결과를 바탕으로 정확도를 산출한 결과를 제시한다.

2. 시스템 구성

2.1 항공 부문

항공부문의 임무는 지상 부문에서의 설정에 따라 공중에서 센서 데이터를 획득하는 것이다. 항공부문은 초소형 무인항공기 플랫폼, 디지털 카메라, GPS, IMU로 구성된 센서부, 센서들을 제어하는 지원부로 구성된다.

2.1.1 플랫폼

현재 많은 종류의 초소형 무인항공기가 시장에 존재한다. UAV(Unmanned Aerial Vehicle) International association[18]에서 무게, 가동 범위, 비행 고도, 비행 시간 등을 고려하여 무인기의 등급을 분류하였으며, 일부분을 Table 1에 나타냈다. 무인기의 등급에서 제원이 높아질수록 구입비용, 운용비용 등이 기하급수적으로 증가하기 때문에, 본 연구에서는 초소형(Micro) 무인기를 선택하였으며, 초소형 무인항공기는 무게 5Kg이하, 가동 범위 10km 이내, 비행 고도 250m 이하, 비행시간은 1시간 이내의 제원을 갖는다.

초소형 무인항공기는 크게 고정익과 회전익으로 구분된다. 고정익의 형태의 초소형 무인항공기는 가벼운 재질로 만들어지고 낮은 동력으로 인해 대략 1시간까지 비행이 가능하다. 초경량급 중에 상대적으로 긴 1시간의 비행을 통해 넓은 지역에 대한 데이터를 획득할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 동체의 무게가 가볍기 때문에 탑재 중량이 적어 선택할 수 있는 센서의 범위가 제한적이다. 그리고 비행기의 구조상 이륙 시에 활주로 역할을 할 수 있는 넓은 공간이 필요하고,

Table 1. UAV categories

UAV Classifications		Mass(kg)	Range(km)	Flight Alt(m)	Endurance(hour)
μ	Micro	< 5	< 10	250	< 1
Mini	Mini	< 25/30/150	< 10	150/250/300	< 2
CR	Close Range	25-150	10-30	3000	2-4
SR	Short Range	50-250	30-70	3000	3-6
MR	Medium Range	150-500	70-200	5000	6-10
LALE	Low Alt. Long Endurance	15-25	> 500	3000	> 4

Table 2. UAV specification

Model	DJI 900-6	Appearance
Dimensions	92cm×92cm×36cm	
Payload	Max. Payload=8000g	
Flight time	10~20 minute	

사용자가 지정한 지점에 정확히 착륙할 수 없다는 단점이 있다. 그렇기 때문에 높은 건물과 인구가 많은 도심지에서는 운용하기에는 어렵다. 회전익 형태의 초소형 무인항공기는 프로펠러가 4~8개정도 장착되어 있는 형태이다. 이러한 형태의 초소형 무인항공기는 다수의 프로펠러로 인하여 안정적인 비행이 가능하다. 수직 이·착륙도 가능하기 때문에 도심지에서도 사용이 수월하며, 고정익에 비해서 높은 동력을 공급할 수 있기 때문에 최대 탑재 중량도 상대적으로 크다. 그로 인해 탑재할 수 있는 센서의 범주가 고정익에 비하여 넓다고 할 수 있다. 그러나 프로펠러 구동으로 인해 비행에 많은 동력이 필요하기 때문에, 고정익 초소형 무인항공기에 비해 비행시간이 상대적으로 짧은 단점이 존재한다.

본 연구에서는 도심지에서도 사용이 가능한 회전익을 고려하여, DJI사의 900-6을 플랫폼으로 채택하였다. 이 플랫폼은 안전한 비행이 가능하도록 6개의 프로펠러가 장착되어 있으며, 최대 탑재 허용 중량은 8000g으로 초소형 카메라, GPS, IMU 등의 탑재가 가능하다. 또한 비행경로를 설정하면 자동으로 그 경로에 따라 이착륙을 포함한 비행을 수행한다는 장점이 있다. Table 2에서 주요 제원과 외형을 확인할 수 있다.

2.1.2 센서

초소형 무인항공기의 최대 허용 중량을 고려하여 경량의 센서들을 채택하였다. 디지털 카메라는 광학 레인지 파인더를 가지고 있지 않은 가벼운 카메라이며, 다양한 렌즈가 탈착될 수 있고 센서의 사이즈가 무게에 비하여 큰 카메라이다. GPS는 영상의 촬영 당시 카메라의 위치를 획득하기 위한 실시간 파싱(Parsing)이 가능하다는 특징이 있으며, 센서 시스템 전체의 시간 동기화가 가능하다. IMU는 미세전자기계시스템(Micro Electro Mechanical Systems)으로 GPS와 마찬가지로 실시간 데이터 획득이 가능한 형태이며, 무인기 플랫폼의 자세를 나타내는 Roll, Pitch, Heading 값을 제공한다. 이러한 특징을 가진 센서들의

Table 3. Sensor specification

Sensor	Model	Specification
Camera	A7R (Sony)	Effective pixels: 7360 × 4912 Pixel size: 4.89um Weight: 465g
Lens	Sonnar T*E 35mm F1.8 ZA(Sony)	Focal length: 35mm Weight: 225g
GPS	AKS6H (Ascen Korea)	Position accuracy: 3.0m Weight: 4g
IMU	AHRS-8 (Analog Device)	Attitude accuracy: 1 deg Weight: 48g

제원은 Table 3과 같다. 선택된 센서들의 총 무게는 약 600g으로써, 초소형 무인항공기의 탑재 허용 중량을 고려했을 때 적합한 무게이다.

2.1.3 센서 지원부

센서 지원부인 통합제어보드는 센서 제어 및 센서 데이터 저장, 시간 동기화를 담당한다. 통합제어보드는 비행 계획에 따라 설정된 사항을 전송 받아 데이터 취득 주기 등을 조절할 뿐만 아니라, 획득하는 영상과 위치/자세 데이터를 GPS 시간으로 동기화하여 저장하는 중요한 역할을 한다. 통합제어보드와 카메라, GPS, IMU가 무인기에 Figure 1와 같이 탑재되어 있다. 센서와 제어보드는 특정 무인기에 의존적이지 않고 다양한 무인기에 플러그인 방식으로 탑재가 가능하다는 장점이 존재한다.

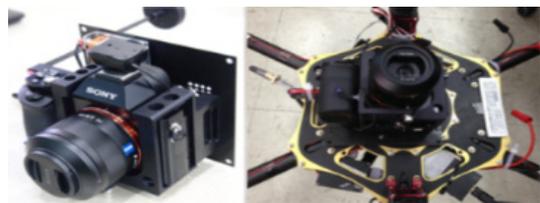


Figure 1. Control board for sensor integration and synchronization

2.2 지상 부문

지상 부문은 크게 비행 전과 후에 동작하는 모듈로 구분된다. 비행 전에는 사용자로부터 촬영 지역과 요구 공간해상도 값을 입력 받아 비행경로 자동 생성을 한다. 그리고 생성된 비행경로 정보로부터 데이터 획득 주기를 통합제어보드에 설정하게 된다. 생성된 비행 계획에 따라 비행을 완료하면, 획득한 데이터를 시

간동기화와 필터링을 수행하고, 필터링 후의 데이터를 입력으로 빠르게 3차원 공간정보를 자동으로 생성하기 위한 영상 지오레퍼런싱, 정사영상 생성이 이루어진다.

2.2.1 비행계획 수립

자동비행이 가능한 무인기로 효과적인 데이터 획득을 수행하기 위해서는 미리 비행경로를 생성해야 한다. 그렇기 때문에 무인기 제조회사인 DJI, Mikrokopter에서는 자체적인 비행경로 생성 소프트웨어가 존재한다. 하지만 데이터 획득에서 중요한 공간해상도에 따른 비행경로를 하지 않고, 주로 비행고도를 중심으로 비행경로를 생성한다. 공간해상도는 카메라와 렌즈에 사양에 따라 결정되는 것이기 때문에, 본 연구에서는 공간해상도와 중복도를 입력받아 카메라와 렌즈의 사양에 따라 비행경로를 생성한다.

비행경로의 생성은 관심 지역에 대한 최소 경계 사각형(Minimum Bounding Rectangle)의 좌상단, 우하단 각각에 대한 지도상의 위치를 입력받으면 각 위치의 위도, 경도, 표고 값을 산출한다. 다음 과정으로는 (1) 비행고도를 계산하고, (2) 미션의 스트립의 수, 스트립 당 촬영 사진의 개수를 계산하고, (3) 비행경로의 3차원 위치좌표(Waypoint)를 결정하는 단계로 구성된다. 비행고도는 공간해상도와 카메라의 픽셀 크기, 렌즈의 초점 거리를 이용하여 계산된다. 공간해상도는 한 픽셀에 투영되는 지상 상의 길이로 정의되기 때문에 비행고도와 초점거리, 픽셀의 크기의 비례식으로 계산되며, 축척은 초점거리에 계산된 비행고도를 나눔으로써 계산된다. 두 번째 단계에서 미션의 스트립 수 및 스트립 당 사진의 수는 카메라 센서의 픽셀 개수와 크기, 관심 영역의 좌표, 사진의 중복도, 축척을 이용하여 계산한다. 마지막 세 번째 과정에서 초소형 무인항공기가 최소 경계 사각형의 좌상단에서부터 시작하는 것으로 설정하여 비행경로를 수립한다.

개발된 비행계획 소프트웨어는 사용자의 컴퓨터에 Google Earth가 설치되어 있으면 오프라인에서도 사

용이 가능하도록 하였으며 그래픽 사용자 인터페이스는 Figure 2와 같다. 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 WGS84(World Geodetic System 1984) 기준으로 지표면의 경도, 위도 좌표와 평균 해수면으로부터의 높이 값인 표고를 산출할 수 있다. 산출된 특정 지점의 좌표와 공간 해상도를 입력하면 초소형 무인항공기 자체 비행경로 관리 프로그램에 입력할 수 있는 파일과 비행 고도, 사진의 개수, 한 장의 사진의 커버리지, 비행 거리, 비행시간, 카메라 촬영 간격 등의 정보가 포함된 리포트 파일이 생성된다.

2.2.2 시간동기화 및 데이터 필터링

시간동기화를 위해 GPS는 제어보드와 직렬로 연결되어 데이터 수신이 가능하도록 하고, IMU는 통합 제어보드에 내장형으로 장착하여 데이터 수신 및 저장이 가능하도록 했다. 디지털 카메라는 제어보드에서 송출되는 신호에 따라 주기적으로 촬영을 수행하도록 하였다. 먼저 제어보드가 GPS 수신기로부터 시간 동기화가 이루어진다. 그와 동시에 GPS 데이터는 10Hz 간격으로 데이터가 저장이 되며, 제어보드로부터 디지털 카메라에 촬영 신호를 주면, 카메라가 촬영을 하면 플래쉬로부터 피드백 신호를 받게 된다. 피드백 신호를 받게 되면 다시 IMU로 데이터 획득 신호 명령을 전송하여 자세 데이터를 획득하게 된다. 하지만 제어보드에서 전송하고 서터가 완전히 개방된 상태에서 촬영을 하므로 1/200초 정도 지연시간이 발생한다. 하지만 무인기의 비행속도를 10m/s로 가정하면, 1/200초 동안 0.05m정도 움직이므로, GPS의 정밀도가 3m임을 감안하면 무시할 정도의 오차이다. 전체 시스템의 시간동기화 과정은 Figure 3에서 간략하게 보여준다.

Figure 4은 실제 획득한 데이터의 일부분이다. GPS 데이터는 획득 시간과 경도, 위도와 타원체고를 출력한다. 그리고 CAM_AHRS(Camera Attitude and Heading Reference System)가 IMU 데이터로서 획득 시간과 순번과 Roll, Pitch, Yaw 등의 자세 값을 차례대로 출력한다.

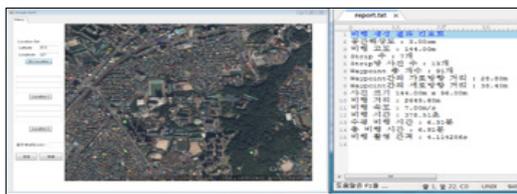


Figure 2. The GUI and a report file of the flight planning software

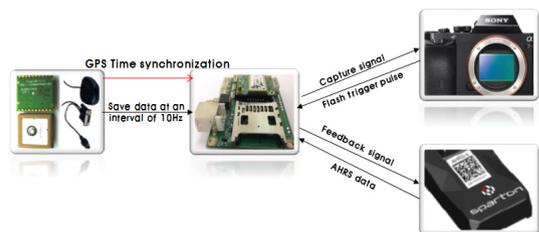


Figure 3. Time synchronization

```

2044 GPS, 03:30:35.500, 1, 3548.548400, 12828.745300, 196.800000
2045 GPS, 03:30:35.600, 1, 3548.548100, 12828.745100, 196.700000
2046 GPS, 03:30:35.700, 1, 3548.547900, 12828.744900, 196.700000
2047 CAM_AHRS, 03:30:35.818, 63, 5.400000, -5.700000, 316.700000
2048 GPS, 03:30:35.800, 1, 3548.547700, 12828.744700, 196.700000
2049 GPS, 03:30:35.900, 1, 3548.547500, 12828.744600, 196.700000
2050 GPS, 03:30:36.000, 1, 3548.547300, 12828.744400, 196.700000
    
```

Figure 4. Output of control board

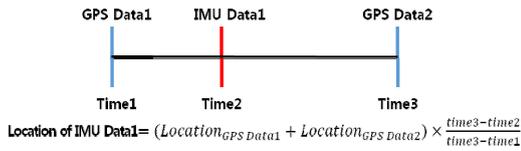


Figure 5. Linear interpolation

하지만 IMU 데이터의 획득 시간이 정확히 GPS 데이터와의 시간일치가 이루어지지 않기 때문에, 초기 외부표정요소를 결정하기 위해서는 IMU 데이터가 획득된 시간의 위치 값에 대한 선형보간이 필요하다. 선형보간을 함으로써 IMU 데이터의 위치를 더욱 정밀하게 계산이 가능하며, 선형보간법에 대한 간단한 설명은 Figure 5에서 보여준다.

실제 데이터 획득 시에는, 데이터 획득 주기 등을 설정하고 GPS/IMU 데이터와 영상이 문제없이 들어오는 것을 확인하고 초소형 무인항공기가 이륙하게 된다. 그렇기 때문에 초소형 무인항공기가 이륙, 착륙하는 동안 공간정보 생성에 부적합한 데이터가 획득된다. 또한 비행하는 동안 강한 바람에 의해서 초소형 무인항공기의 비행속도가 늦춰짐으로써 필요이상으로 과중복된 영상이 획득될 수 있을 뿐만 아니라 초소형 무인항공기가 기울어진 상태에서 데이터가 획득되는 경우가 발생한다. 이와 같은 공간정보 생성에 부적합한 데이터를 자동으로 제거하는 필터링 알고리즘을 개발하였다. 우선, 이·착륙하는 동안 획득되는 데이터를 제거하기 위하여 GPS 데이터를 활용하였다. 비행 중 획득된 GPS 데이터 중 최대 고도 값에 GPS 오차범위를 고려하여 최대 고도 값으로부터 20m 이상의 차이를 갖는 GPS 데이터와 이때 촬영된 영상을 제거한다. 다음으로 IMU 데이터를 활용하여 연직 영상을 촬영하는 것으로 설계되었으나 그 기울기가 10도 이상일 때 영상과 GPS/IMU 데이터를 제거한다. 또한 비행 전 설정한 사진 간의 중복도를 고려하여 사진 간의 거리의 거리가 너무 가까운 영상과 이에 상응하는 GPS/IMU 데이터를 제거한다.

2.2.3 영상 지오레퍼런싱

영상 지오레퍼런싱은 공액점을 추출하는 영상 매칭과 외부표정요소를 결정하는 번들 블록 조정 단계로

구성된다.

영상 매칭은 번들 블록 조정의 입력 데이터 중 하나인 공액점을 추출하는 과정으로, 자동으로 연속된 여러 장의 영상에서 동일한 객체를 나타내는 영상점의 쌍을 찾아 추출하는 과정이다. 고속으로 공간정보를 생성하는 지상 소프트웨어의 요구 사항에 따라 영상 매칭 과정 역시 빠른 처리 속도가 요구된다. 따라서 처리 속도 면에서 우수한 성능을 보이는 KLT(Kanade Lucas Tomasi) feature tracker 알고리즘을 기반으로 영상간의 이동 및 회전량이 크더라도 신뢰도 높은 결과물을 산출할 수 있도록 영상의 외부표정요소를 활용하는 개선된 KLT 알고리즘 채택하였다[15].

번들 블록 조정은 다수의 영상으로부터 공액점을 관측하고, 전체 영역에 대해 소수의 기준 데이터를 활용하여, 공선조건식에 기반을 두어 영상의 외부표정요소와 공액점에 상응하는 지상점의 좌표를 결정하는 과정이다. 본 연구에서는 지오레퍼런싱 결과로부터 대상지역의 공간정보를 고속으로 자동 생성하는 것을 목표이기 때문에 자동처리를 위하여 번들 블록 조정 과정에 지상기준점의 사용 없이 GPS/IMU 데이터로부터 산출되는 영상의 초기 외부표정요소를 확률제약 조건으로 활용하는 번들 블록 조정 알고리즘을 채택하였다[2].

2.2.4 정사영상 생성

3차원 공간정보생성 소프트웨어는 영상 지오레퍼런싱을 통해 정밀하게 결정된 영상의 외부표정요소를 전달받아 영상으로부터 지도와 동일한 좌표체계를 갖는 수치 표고 모형, 정사영상과 같은 공간정보를 출력한다.

일반적으로 수치 표고 모형은 처리 시간이 많이 소요되는 정밀 매칭(Dense matching)에 의해 지상의 밀도 높은 3차원 점집합을 계산하고 이로부터 생성된다. 본 연구에서는 신속한 수치 표고 모델, 이를 입력으로 하는 정사영상 생성을 위하여 평균 고도면의 수치 표고 모형을 생성한다. 평균 고도의 값은 비행 계획 수립 과정에서 산출되는 사용자의 관심영역에 대한 최소 경계 사각형의 경계점 좌표로부터 결정될 수 있다. 정사영상이란 중심투영으로 생성된 영상 상에 포함된 기복변위를 제거하여 지도와 동일한 좌표체계로 변환된 영상을 의미한다. 본 시스템의 최종 산출물인 정사영상을 생성하기 위해서는 기복변위를 제거하는 편위 수정 과정이 중요하다. 영상점과 투영 중심, 지상점이 한 직선 위에 존재한다는 공선조건식을 기반으로 하여 정사영상의 밝기 값을 원영상에서 가져오는 미분

편위 수정을 방법을 채택하였다. 미분 편위 수정을 통해 생성된 정사영상의 밝기 값을 결정할 때 정사영상의 격자에 상응하는 원영상의 위치로 가서 주변 밝기 값을 내삽하여 영상 재배열을 수행한다. 이때 고속 처리를 위하여 가장 가까운 거리에 있는 원영상의 밝기 값을 그대로 쓰는 최근린내삽법(Nearest neighbor)을 채택하였다.

3. 데이터 획득 및 정확도 평가

3.1 데이터 획득

개발된 시스템의 정확도 분석을 위해 데이터 획득을 수행하였다. 2014년 10월 1일에 경기도 광명시 하안동 인근에서 약 400m × 300m 넓이를 가진 지역에 대한 공간해상도 3cm, 중중복도 80%, 횡중복도 60%로 비행계획을 수립하였다. 그 결과 생성된 비행경로는 Figure 6의 왼쪽과 같으며, 비행 고도는 144m, 스트립의 수는 5개, 스트립 당 사진의 수는 11개로써, 예상 획득 영상의 개수는 55장이며, 영상간의 거리는 28.80m이다. 비행 속도는 초소형 무인항공기에 김발이 없는 것을 고려하여 가능한 연직사진 획득이 수월하도록 7m/s하여, 영상간의 거리를 반영하여 4초에 1장씩 촬영되도록 설정하였다. 비행 속도는 사진 한 장 당 커버하는 지상의 넓이는 144m × 96m이며, 그 결과 9분가량의 비행을 통해 총 134개의 영상과 GPS/IMU 데이터를 획득하였으며, 비행경로는 Figure 6의 오른쪽과 같다. 134개의 영상 중에 불필요한 77장의 영상을 제거하고, 데이터 처리에 57장의 영상과 이에 상응하는 GPS/IMU 데이터를 정확도 평가 시험에 활용하였다. 이는 비행계획 수립 단계에서 산출된 예상 데이터 획득 개수와 유사한 것을 알 수 있다.

3.2 처리 시간

개발된 각각의 모듈에 57장의 영상으로 데이터 처리를 수행하였다. 그 결과 영상 매칭에서는 57장의 영

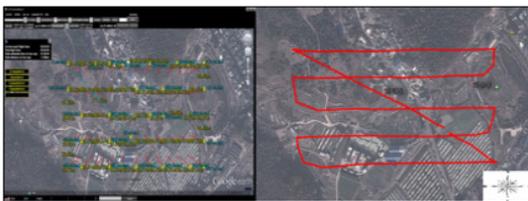


Figure 6. The established flight plan and the real flight path

상으로부터 404초 동안 4863개의 공액점을 추출하였다. 그리고 번들 블록 조정에서는 964초의 처리 시간에 의하여 영상의 외부표정요소를 결정하였으며, 정사영상 생성에서는 367초의 처리 시간을 거쳐 57장의 개별 정사영상을 생성했다.

그리고 비교를 위해 Photoscan[1]을 이용하여 획득 데이터와 지상기준점을 입력으로 데이터 처리를 수행한다. 먼저, Photoscan에서의 처리는 Align Photos, Build Dense Cloud, Build Mesh, Build Texture 순으로 진행된다. Align Photos가 영상 지오레퍼런싱 단계로 공액점 추출을 위한 영상 매칭과 번들 블록 조정 과정이 수행되며, 나머지 3개의 단계는 정밀 매칭, 메시 생성, 텍스처 작업 등의 3차원 공간정보를 생성하는 과정이다. 각각의 단계에서 처리 결과의 품질을 사용자가 결정할 수 있다. 영상 지오레퍼런싱 단계에서는 지오레퍼런싱의 정확도에 따라 상, 중, 하, 정밀 매칭 단계에서는 생성되는 점들의 개수에 따라 최상, 상, 중, 하, 최하, 메시 생성에서는 생성되는 표면의 개수에 따라 상, 중, 하, 텍스처 작업은 다양한 매핑 방법을 선택할 수 있다. 본 연구에서는 정확한 기준데이터가 필요하기 때문에 영상 지오레퍼런싱 단계에서 가장 높은 정확도, 정밀 매칭 단계에서는 최상의 품질로 선택을 하게 되면 너무 긴 처리 시간이 필요하기 때문에 상의 품질, 메시 생성 단계에서는 상으로 선택하여 데이터 처리와 동시에 처리 시간을 측정하였다. 그 결과 영상 지오레퍼런싱 단계에서 62분, 정사영상 생성은 413분으로 총 475분의 긴 처리시간이 필요로 했다. 자체소프트웨어와 비교했을 때, 영상 지오레퍼런싱 단계에서는 2.7배, 정사영상 생성에서는 68.8배로써, 전체 처리 과정의 처리 시간을 비교하면 약 16배정도로 많은 시간이 필요로 한 것을 확인할 수 있었다. 처리 과정에서 사용한 컴퓨터의 사양과 단계별 처리 시

Table 4. Processing time

Classification	Processing time	
	Photoscan (min)	Home grown software (min)
Image matching	62	7
Bundle block adjustment		16
Orthoimage generation	413	6
Total	475	29
Hardware	OS : Window 7, RAM : 8 GB CPU : Intel i7 940	

간을 Table 4에서 확인할 수 있다.

3.3 정확도 평가

처리 소프트웨어의 정확도 검증을 위해 데이터 획득 지역에서 1.5cm의 정밀도로 19개의 지상기준점 측량을 수행하였다. 측량된 지상기준점의 분포는 Figure 7와 같다. Photoscan의 영상 지오레퍼런싱 과정에서 11개의 지상기준점을 입력하고, 8개의 검사점을 통해 평균 제곱근 편차(Root Mean Square Deviation)의 수평 위치는 2~7cm, 수직 위치는 13cm로 나타나는 것을 확인했다. 그리고 1.66 픽셀의 오차를 가진 588,508개의 공액점과 198,146개의 지상점 좌표가 산출되었다. 생성된 정사영상과 수치표고모델은 Figure 8와 같다.



Figure 7. Ground control point

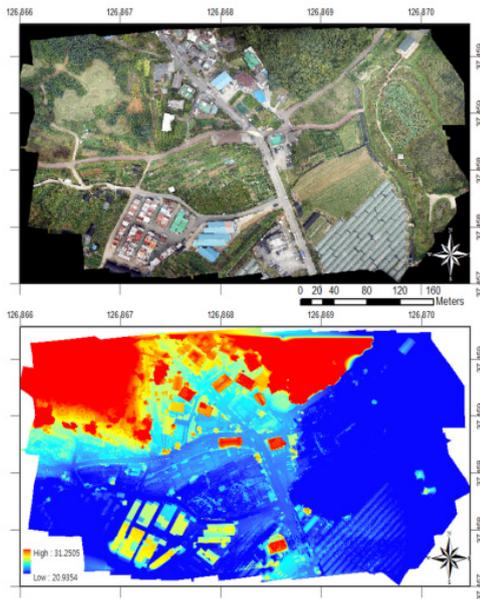


Figure 8. Orthoimage and DEM

개발된 영상 매칭 과정에서 57장의 영상으로부터 4863개의 공액점을 추출하였다. 이는 381개의 지상점에 상응하는 것으로 Figure 9에서 일부를 보여주고 있다. Figure 10은 Figure 9의 특정 영역을 확대한 것으로 매칭 오차가 3~4픽셀 이내인 것을 확인할 수 있다. 그러나 57장의 영상 중 8장의 영상으로부터는 공액점 추출이 불가능하였다. 공액점 추출이 이뤄지지 않은 영상을 살펴본 결과 밝기 값이 급변하는 구간이거나 스트립이 바뀌는 지점에서 획득된 영상들이었다. 향후 이와 같은 한계를 극복하기 위한 추가 연구가 필요한 것으로 판단된다.

변들 블록 조정 과정에서 결정된 외부표정요소를 Photoscan의 결과와 비교하여, 그 차이의 평균, 표준편차, 평균 제곱근 편차를 Table 5에서 요약하였다. 위치에 대한 오차는 약 2~7m, 자세에 대한 오차는 약 1~3°로 나타났다. 이러한 오차의 요인은 탑재된 센서 자체의 정밀도와 개별 센서 및 시스템 캘리브레이션을 수행하지 않은 것 등이 있을 수 있다.



Figure 9. Extracted tie-points



Figure 10. Enlarged tie-points photo

Table 5. Comparison accuracy of exterior orientation

	X(m)	Y(m)	Z(m)	ω (deg)	ϕ (deg)	κ (deg)
Mean	5.03	-0.79	5.96	-2.67	-2.57	-1.77
STDEV	1.47	2.70	3.19	1.26	1.01	0.75
RMS	5.24	2.80	6.74	2.97	2.78	1.93



Figure 11. Original image and generated orthoimage



Figure 12. Compare to the edges of some buildings with Photoscan(right)



Figure 13. Generated orthoimage & detail in the edges of some buildings

정사영상 생성에서는 57개의 영상과 외부표정요소를 입력으로 개별 정사영상을 생성하였다. 생성된 개별 정사영상의 샘플은 Figure 11와 같다. 가시적 품질을 구체적으로 확인하기 위하여 Photoscan으로 생성된 정사영상과 동일한 영역에 대하여 Figure 12와 같이 비교하였다. Photoscan으로 생성된 정사영상 상에서는 건물의 외곽선이 뭉개지는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 건물 경계에서 수치 표고 모형은 건물의 지붕과 바닥의 높이를 평균 내어 고도를 산출하기 때문이다. 본 연구에서는 평균 고도의 수치 표고 모형을 이용하여 정사영상을 생성하기 때문에 위치 정확도 측면에서 다소 부정확할 수 있지만 가시적 품질은 상대적으로 좋다. 또한 엄밀정사영상이 아님에도 불구하고

하고, 저고도에서 영상을 획득하고 카메라의 화각이 좁아 건물에 의한 기복변위가 크게 나타나지 않는다.

초소형 무인항공기가 스트립 간에 이동할 때 강한 바람의 영향을 많이 받게 되면, 의도하지 않게 경사 영상이 촬영되는 경우가 있다. 이러한 경우 영상 상에는 Figure 13와 같이 건물의 옆면이 보이고, roll, pitch의 값이 10° 이상 크게 나타난다. 처리한 57장의 영상 중 2장에 이러한 현상이 나타났다. 대부분이 데이터 자동 정렬 과정에서 제거되지만 여전히 남은 경우이다.

4. 결 론

본 연구를 통해 초소형 무인항공기 기반의 긴급 매핑 멀티센서 시스템 구축하였다. 효율적인 데이터 획득을 위한 비행 계획 소프트웨어와 비행 계획에 따라 획득한 데이터를 시간 동기화 후 필터링을 수행하고, 필터링 된 데이터를 입력으로 영상매칭, 영상 지오레퍼런싱과 정사영상 생성을 수행하는 데이터 처리 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어로 생성된 공간정보를 상용 소프트웨어의 결과물과 비교·분석함으로써 성능을 검증하였다. 상용소프트웨어의 결과를 기준으로 영상의 외부표정요소 중 위치는 2~7m, 자세는 1~3°의 차이를 나타냈다. 생성된 개별 정사영상에 있어서도 심한 경사 영상을 입력으로 한 경우를 제외하면, 가시적 품질이 우수한 정사영상을 생성할 수 있었다. 영상 매칭에서부터 정사영상 생성까지 총 데이터 처리 시간이 약 29분 정도 소요되었으며, 상용 소프트웨어의 처리시간이 약 475분인 것에 비해 상당히 빠르게 처리된 것을 알 수 있었다. 향후 센서 및 시스템 캘리브레이션을 수행하여 정확도를 개선한다면, 재난·재해와 같이 신속한 평가 및 대응이 요구되는 분야에 효율적으로 활용될 것이다.

References

- [1] Agisoft. 2015, Agisoft Photoscan Professional, Accessed 22 February 2015. <http://www.agisoft.com>
- [2] Choi, K. A; Lee, I. P. 2009, Image Georeferencing using AT without GCPs for a UAV-based Low-Cost Multisensor System, Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography, 27(2):249-260.
- [3] Choi, K. A; Lee, J. H; Lee, I. P. 2011, Development of a Close-range Real-time Aerial Monitoring

- System, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 19(4):21-31.
- [4] Eisenbeiss, H; Lambers, K; Sauerbier, M; Zhang, L. 2005, Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using an autonomous model helicopter, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(5):238-243.
- [5] Hernandez-Lopez, D; Felipe-Garcia, B; Gonzalez-Aguilera, D; Arias-Perez, B. 2013, An Automatic Approach to UAV Flight Planning and Control for Photogrammetric Applications, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 79(1):87-98.
- [6] Jang, H. S. 2008, Process of Digital Elevation Model Using RC Helicopter Surveying System. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, 26(2): 111-116.
- [7] Jeon, E. I; Choi K. A; Lee I. P. 2014, Data Acquisition, Processing, and Evaluation using a Micro UAV Based Multi-Sensor System, Paper presented at the International Symposium on Remote Sensing, Busan, April 16-18.
- [8] Kim, D. I; Song, Y. S; Kim, G. H; Kim, C. W. 2014, A Study on the Application of UAV for Korean Land Monitoring, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, 32(1):29-38.
- [9] Kim, S. G; Sung, Y. D; Kim, G. O. 2012, A study on methods of utilizing unmanned aerial vehicle (UAV) in the area of spatial information, *Journal of the Korean Society of Cadastre*, 6(1):169-178
- [10] Kim, T. H; Kim, K. H; Nam, G. N; Shim, J. H; Choi, W. J; Cho, M. H. 2010, Development of Natural Disaster Damage Investigation System using High Resolution Spatial Images, *Journal of Korea Spatial Information Society*, 12(1):57-65.
- [11] Niethammer, U; Rothmund, S; Schwaderer, U; Zeman, J. and Joswig, M., 2011, Open source image-processing tools for low-cost UAV-based landslide investigations, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Zurich, September 14-16.
- [12] Remondino, F; Barazzetti, L; Nex, F; Scaioni, M; Sarazzi, D. 2011, UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(1): 25-31.
- [13] Ries, J. B; Marzolf, I. 2003, Monitoring of gully erosion in the Central Ebro Basin by large-scale aerial photography taken from a remotely controlled blimp, *Catena*, 50(2): 309-328.
- [14] Sona, G; Pinto, L; Pagliari, D; Passoni, D; Gini, R. 2014, Experimental analysis of different software packages for orientation and digital surface modelling from UAV images. *Earth Science Informatics*, 7(2):97-107.
- [15] Tanathong S; Lee. I. P. 2014, Using GPS/INS data to enhance image matching for real-time aerial triangulation, *Computers & Geosciences*, 72: 244-254.
- [16] Tokmakidis, K; Scarlatos, D. 2002, Mapping excavations and archaeological sites using close range photos, Presented at the International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Corfu, September 2-6.
- [17] Turner, D; Lucieer, A; Wallace, L. 2014, Direct georeferencing of ultrahigh-resolution uav imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(5):2738-2745.
- [18] UVSIA. 2011, UAV Categories, Unmanned Vehicle Systems, International Association, Accessed February 20. <http://www.uav-info.com>

Received : 2015.03.26
Revised : 2015.06.22
Accepted : 2015.06.26