

입체적 지형을 고려한 무인항공기의 실시간 촬영 영역 분석 알고리즘

박우민*, 최정훈°, 최성근*, 황남두**, 김환철***

Real-Time Shooting Area Analysis Algorithm of UAV Considering Three-Dimensional Topography

Woo-Min Park*, Jeong-Hun Choi°, Seong-Geun Choi*, Nam-Du Hwang**, Hwan-Chul Kim***

요약

본 논문에서는 PTZ(Pan Tilt Zoom) 카메라를 장착한 무인항공기의 항법장치 정보와 촬영지역의 입체적 지형 정보를 기반으로, 무인항공기가 촬영하는 지리적 위치를 실시간으로 파악하고 촬영 지역의 면적을 자동 신출할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 또한 제안한 알고리즘과 더불어 특정 지역의 촬영 가능 여부를 자동 판단할 수 있는 방안을 설명한다. 무인항공기가 원하는 특정지역의 촬영을 시도할 경우에는 항공기의 위치와 고도뿐만 아니라 해당 지역의 입체적 지형에 의하여 유효한 영상의 획득 가능여부가 결정된다. 본 연구의 결과를 적용하면 지상관제 센터에서 무인항공기가 촬영하는 영상이 원하는 지역의 정보인지 실시간으로 판단할 수 있으므로 정확한 실시간 원격 운항 제어가 가능하다. 그리고 제안한 알고리즘과 촬영가능여부를 판단하는 방안은 사전 모의 운항 및 운항 경로 설정에 유용하게 응용할 수 있다.

Key Words : UAV(Unmanned Aerial Vehicle), INS(Inertial Navigation System), GPS, PTZ Camera, Shooting Area Analysis Algorithm

ABSTRACT

In this paper, based on the information about navigation system of UAV with PTZ camera and 3D topography, algorithm able to show us in real-time UAV's geographical shooting location and automatically calculate superficial measure of the shooting area is proposed. And the method that can automatically estimate whether UAV is allowed to shoot a specific area is shown. In case of an UAV's shooting attempt at the specific area, obtainability of valid image depends on not only UAV's location but also information of 3D topography. As a result of the study, Ground Control Center will have real-time information about whether UAV can shoot the needed topography. Therefore, accurate remote flight control will be possible in real-time. Furthermore, the algorithm and the method of estimating shooting probability can be applied to pre-flight simulation and set of flight route

* 본 연구 중 UAV 관련 분야는 중소기업청 기업부설연구소 업그레이드 지원사업의 지원으로 수행중입니다.

** 본 연구 중 지능형 영상감시 시스템 분야는 연구개발특구진흥재단 연구개발특구육성사업의 지원으로 수행된 결과의 일부입니다.

° First Author : 한국산업기술대학교 대학원 전자공학과, pwm5555@daum.net, 학생회원

• Corresponding Author : 한국산업기술대학교 전자공학부, jhchoi@kpu.ac.kr, 중신회원

* 한국산업기술대학교 대학원 전자공학과, lostmayminds@nate.com, 학생회원

** 한국산업기술대학교 지식기반기술·에너지대학원, hwangnd@hanmail.net

*** (주)코메스타 사장, hkim@comesta.co.kr, 정회원

논문번호 : KICS2013-08-389, 접수일자 : 2013년 8월 31일, 심사일자 : 2013년 10월 27일, 최종논문접수일자 : 2013년 11월 12일

I. 서론

오늘날 카메라를 이용한 영상 감시 시스템은 교통, 운송, 도난, 화재 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 영상 감시 시스템은 실내와 실외 환경으로 구분된다. 실내의 경우 센서 네트워크를 통한 실내 객체 추적을 통해 카메라를 제어하거나 영상 분석을 통해 객체를 추적하는 시스템들이 제안되어져 왔다.^[1] 실외의 경우도 영상 분석이나 GPS를 이용하여 객체를 추적하거나 상황인지 분석 기술들이 적용되는 시스템으로 진화하고 있다.^[2]

하지만 실외 환경의 경우 설치된 대부분의 카메라의 위치와 높이가 고정되어 있으므로, 지속적으로 이동하는 객체의 원활한 영상 정보 획득과 지형지물에 대한 환경적인 요소로 인하여 유효한 영상 정보를 획득하기에는 한계가 발생한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 지상이 아닌 상공에서 UAV(Unmanned Aerial Vehicle), 즉 무인항공기에 카메라를 장착하여 위치와 높이에 따른 한계를 극복하고 원하는 지역을 촬영할 수 있는 기술의 연구 개발 및 시장이 확산되고 있다. 우리나라도 최근 국방 분야를 중심으로 군단 급은 물론 사단 급까지 무인항공기 도입이 적극적으로 추진되고 있다.

그러나 무인항공기를 이용한 영상 감시 시스템은 무인항공기가 고속 비행하면서 직면하는 새로운 촬영 환경이 발생하였다. 이러한 촬영 환경의 변화로 인해 영상정보의 고속 무선 송·수신 기술은 물론 무인항공기가 장착한 카메라의 원격조정을 통하여 촬영해야 하는 다양한 목표 지역에 대한 정확한 실시간 위치 파악 기술과 같은 새로운 연구개발 이슈들이 등장하게 되었다. 또한 기존 무인항공기 관련 연구 개발은 영상 분석 분야에 치중해 있으며 대부분의 관련 기술들이 군사용으로 개발되어 공개된 기술 또한 미흡한 상황이다.

본 논문에서는 무인항공기의 위치와 무인항공기가 촬영한 영상의 위치의 상이함으로 발생하는 문제점을 보완하기 위한 알고리즘을 제공한다. 무인항공기의 항법장치 정보, 장착한 카메라의 PTZ(Pan Tilt Zoom) 정보, 촬영지역의 입체적 지형 정보 등을 기반으로, 무인항공기가 촬영하는 위치를 실시간으로 파악할 수 있을 뿐만 아니라 촬영 지역의 면적을 자동 산출할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 또한 특정 지역의 촬영 가능 여부를 자동 판단할 수 있는 연구를 진행하고 방안을 설명한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련

기술 및 연구의 필요성, 3장에서는 알고리즘 설계, 4장에서는 알고리즘 구현, 5장에서는 제한한 알고리즘을 통한 수치적 실험결과를 제시하고, 6장에서는 결론을 맺는다.

II. 연구 배경

2.1. 관련 기술

2.1.1. 지능형 영상 감시 시스템

지능형 영상 감시 시스템은 보안(Security), 안전(Safety), 관리(Management)를 수행 할 수 있으며, 객체 검출을 통해 정보를 디지털화하여 사전에 정의한 패턴에 따라 담당자에게 알려주는 기능을 수행한다.^[3] 또한 사건이 발생할 경우 빠르게 상황을 검색하고 효율적인 데이터 관리 기능을 수행함은 물론 최근에는 상황 인지 및 분석 기능을 통하여 사건 발생 전 예방 및 경고 기능에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

2.1.2. 위치 기반 서비스

위치에 대한 정보를 기반으로 다양한 서비스를 제공하는 기술을 위치기반 서비스(LBS, Location Based Service)라 하며 다양한 방식의 위치 측정 기술이 있다. 실내 위치 측정을 위해 사용가능한 무선 자원으로는 WLAN (Wireless LAN), Wibro, UWB(Ultra WideBand), RFID(Radio Frequency IDentification), ZigBee 등이 있다.^[4] 실외 위치 측정 기술에는 GPS(Global Positioning System), AOA(Angle Of Arrival), TOA(Time Of Arrival), TDOA(Time Difference Of Arrival), Cell-ID, FingerPrint DB 방식, RSSI(Received Signal Strength Indication) 기술 등이 있다.^{[5][6]}

2.1.3. 관성 항법 장치

관성항법장치인 INS(Inertial Navigation System)는 잠수함, 항공기, 미사일 등에 장착하여 객체의 위치 및 상태를 감지하여 목적지까지 유도하기 위한 자립형 항법시스템이다. 관성항법장치는 기준좌표계에 운반체의 각속도 및 가속도를 측정하는 관성 센서인 자이로와 가속도를 이용하여 관성공간상의 뉴턴 법칙에 운동량 누적 계산에 의하여 사용자에게 위치, 속도, 자세정보를 실시간으로 제공하는 항법장치로 외부의 도움이 필요 없이 항공기의 자세정보 및 기반정보를 획득할 수 있다는 장점을 가지고 있다.^[7]

2.1.4. 무인 항공 감시 시스템

무인항공기는 항공기에 탑승한 조종사 없이 원격 또는 자율적으로 동작하는 항공기를 말한다.^[8] 무인항공기는 유인비행기보다 위험한 어려운 임무에 적합하며 국방 분야의 정찰기, 공격기 등으로 중점적으로 활용되며, 민간용으로 농업, 측량, 전력선 모니터링, 고고학적인 장소모니터링과 같은 다양한 분야로 확산되고 있다.^[9]

2.2. 연구의 필요성

무인항공기는 2.1.4에서 서술한 바와 같이 다양한 분야에서 활용되고 있지만 환경적인 요인 또는 무인항공기 조종 미숙으로 인한 사고율이 유인 비행기에 비해 현저히 높은 편이다.

유인 항공기와 무인항공기 사고율을 비교하면 무인항공기의 사고율이 10~100배 이상 높은 수치를 보인다. 무인 항공기의 사고 원인은 동력 및 추진계통(35%), 조종계통(25%), 통신계통(11%) 등 기계적 결합에 의한 사고가 전체의 71%로 나타나고, 인적 요인에 의한 사고가 20% 정도로 나타나고 있다.^[10] 국내 무인항공기 운용 사례에 따르면 고가의 무인항공기 2~3대가 거의 폐기처분이 되는 등 야전에서 적절히 운용하고 있지 못하는 문제점이 부각되었고 무인항공기의 조종 미숙 및 정비 소홀에 대한 대책을 마련하기 위하여 국방부에서 재발 방지를 위한 시스템 구축 및 개선방안 마련을 위해 노력하고 있다.^[11]

해외 항공기 운용 사례 분석에서도 유사한 상황을 보이고 있다. 그림 1의 미군용 무인항공기 사고 통계에 따르면 무인항공기를 조종하는 사람 또는 지상 통제에 따른 무인항공기 파손율은 17%에 달하는 것으로 조사되었다.^[12]

중요한 점은 기계적 결합은 장치 기술 개발로 점차 개선하고 있지만, 무인항공기의 사고율 자체가 워낙 높으므로 인적 요인에 의한 사고의 경우에도 단순히 조정미숙으로 판단할 상황이 아니라는 점이다. 즉 사전 시뮬레이션 및 실시간 운항에 필요한 모니터링 시스템을 제공할 수 있도록 학계 및 연구소의 적극적 관심을 통한 연구개발로 극복해야 할 문제이다.

우선 운항 예상 경로나 예상 촬영지역에 대한 예측 알고리즘 등과 같은 기술 개발을 통하여 무인항공기의 운항경로 및 예상 촬영지역 가능여부를 지상관제센터에서 사전에 충분히 시뮬레이션할 수 있는 기술의 연구개발이 절대적으로 필요한 시점이다.

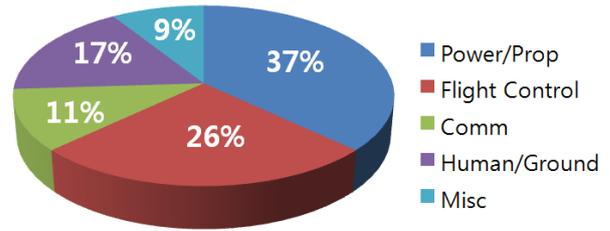


그림 1. 미군 UAV 사고 원인별 비율(10만 시간당)^[12]
Fig. 1. UAV accident ratio for U.S. military (based on 100,000 hours)

본 논문에서는 기존 무인 항공 영상 감시 시스템에서 얻을 수 있는 무인항공기의 위치 및 상태 정보는 물론, 무인항공기에 장착된 PTZ 카메라의 정보, 촬영지역의 입체적 지형정보 등을 기반으로 촬영지역을 자동 산출할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 추가적으로 무인항공기를 직접 운항하지 않고 예정된 항로에 따라 운항할 경우에 특정 지역의 촬영 가능 여부를 사전에 자동 판단할 수 있는 방법을 제안하였다.

제안한 알고리즘과 촬영가능여부를 판단하는 방안을 적용하여 무인비행체 운항 시뮬레이션 도구를 개발하면, 모의 운항을 통하여 촬영 목표 지역들을 원활하게 촬영할 수 있는 운항 경로를 사전에 설정할 수 있다. 또한 실제 무인항공기 운항시에는 카메라에 의해 중계되는 영상뿐만 아니라 지도상에서도 촬영지역을 실시간으로 동시에 확인할 수 있다. 따라서 지상 관제센터에서 무인항공기가 촬영하는 영상이 원하는 지역의 정보인지 실시간으로 판단할 수 있으므로 정확한 실시간 원격 운항 제어가 가능하다. 즉 무리한 운항이나 오판에 따른 무인항공기의 인적 요인에 의한 사고율을 저감시킬 수 있다.

III. 알고리즘 설계

본 논문에서 제안하는 입체적 지형을 고려한 무인항공기의 실시간 촬영 영역 분석 알고리즘에 필요한 기본 정보로는, 기존 무인항공 감시 시스템에서 제공하고 있는 관성항법장치 데이터에 추가적으로 촬영지역의 좌표 획득을 위한 PTZ 카메라 상태 정보 데이터가 필요하다. 물론 무인항공기에서 상기 정보들을 실시간으로 전송받기 위한 항법정보와 영상정보 전송 장치가 보장 되어야 한다. 표 1에 기본 정보를 정리하였다.

표 1과 같이 제안 알고리즘을 위한 기본 정보 중에서 무인항공기의 상태정보는 2.1.3에서 설명한 관성항

법장치를 통해 획득 할 수 있다. PTZ 카메라의 상태 정보는 촬영 예상 지점을 계산하기 위해서 반드시 필요하며 PTZ 값들의 정보를 기반으로 알고리즘에 적용하여 촬영 범위 및 유효정보 획득 여부를 판단하는데 사용한다. 지형 정보의 경우 GPS MAP 데이터를 통해 해당 지점의 지형 정보를 획득할 수 있으며 입체적 지형을 고려하기 위해 필요한 정보이다.

표 1. 제안 알고리즘을 위한 기본 정보
Table 1. Basic information for the proposed algorithm

UAV	Height, Position(GPS), Direction, Slope
PTZ camera	Direction, focal length, Ratio imaging, Value of Pan, Tilt and Zoom
Information of topography	Height of topography(Include 3D information)

본 논문에서 제안하는 입체적 지형을 고려한 무인항공기의 실시간 촬영 영역 분석 알고리즘은 다음과 같다. 무인항공기로부터 전송받은 데이터는 지상관제센터에서 선행 연구되었던 항공영상 촬영지역에 대한 실시간 예측 알고리즘²⁾을 적용하여 무인항공기가 촬영하는 위치를 실시간으로 파악하여 예상 촬영 지역의 GPS 데이터를 획득하고, 촬영 지역의 면적을 자동 산출하여 개활지 기준의 면적 정보를 획득한다. 또한 제안한 알고리즘과 운항 사전에 특정지역의 촬영 가능 여부를 자동 판단하는 방안은 사전모의 운항 및 경로 설정에 유용하게 응용할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 두 가지 알고리즘 순서도는 아래와 같다.

첫 번째 순서도는 관성항법장치와 PTZ 카메라의 상태정보를 기반으로 지상 관제센터에서 IV장에서 제시한 알고리즘에 따라 촬영지역의 위치와 촬영지역의 면적을 산출하면 실시간 원격운항제어가 가능함을 나타낸다. 두 번째 순서도는 사전에 무인항공기 운항 경로를 설정하고 입체적 지형정보를 통한 촬영 가능여부를 판단한다. 판단한 정보를 통해 운항 경로 중 촬영이 불가능한 지역이 발생할 경우 사전 운항 경로 재설정을 통해 원활한 실시간 원격운항제어가 가능하도록 한다.

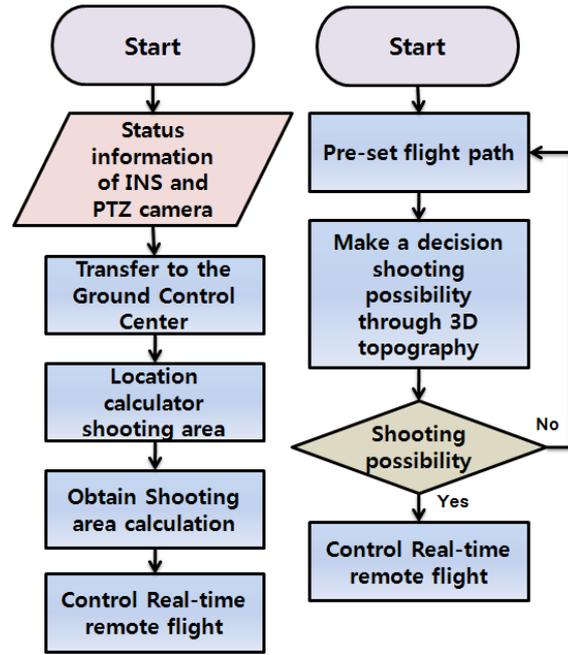


그림 2. 알고리즘 순서도
Fig. 2. Flow chart of algorithm

IV. 알고리즘 구현

본 논문에서 제안하는 입체적 지형을 고려한 무인항공기의 실시간 촬영 면적 알고리즘은 촬영 지역 예측 알고리즘을 통한 예측지역 연산²⁾, 촬영 지역의 면적 산출, 입체적 지형을 통한 촬영 지역 촬영 가능 여부 판별 연산을 수행한다. 촬영 지역의 면적 연산의 경우 카메라가 지상과 연직일 경우, 연직이 아닐 경우를 나누어 연산한다. 또한 카메라 비율에 따른 면적의 변화를 연산에 반영하였다. 구현된 면적 산출 알고리즘의 경우 촬영 지역이 평면인 것을 기준으로 산출 되었다. 무인항공기에서 촬영된 영상의 면적을 산출할 경우 지평선 윗부분을 포함하지 않는 것을 기준으로 산출 되었다.

4.1. 촬영지역 위치 파악

일반적으로 무인항공기가 촬영하는 위치를 알기 위해서는 카메라가 장착된 비행체의 위치(위도와 경도)를 촬영지역으로 생각하기 쉽다. 그러나 비행체의 고도 및 기울기, 비행체에 장착된 카메라의 방향과 기울기(PTZ) 등을 추가적으로 고려해주어야 한다.

더구나 지상관제센터에서 무인항공기의 카메라의 Pan, Tilt, Zoom 값을 원격 조정하여 촬영지역을 조사하고자 하는 요구가 높아지는 상황이다. 따라서 본 논문에서와 같이 촬영지역을 산출하는 방법을 적용 하지 않고 비행경로를 설정 하였을 때 실제



그림 3. 비행체 방향과 카메라 방향에 따른 촬영지역 도출
 Fig. 3. Shooting area deduction based on the direction of UAV and camera

촬영 되는 지점을 실시간으로 알기가 힘이 들 뿐만 아니라 무인항공기 오조정의 원인이 될 수 있다. 이러한 문제점으로 인하여 촬영지역의 위치를 자동 예측할 수 있는 기술 연구는 무인항공기 분야에서 중요한 이슈중 하나이다. 즉 비행체의 높이, 위치 및 방향, 동체 기울기, 비행체에 장착된 카메라의 장착 방향 및 기울기를 기반으로 위치 및 상태정보에 대한 데이터를 수집한다. 이러한 상태정보 데이터를 알고리즘에 적용하여 Vincenty Direct formula^[13]를 이용하여 획득한 비행체의 위치정보와 예측지점과의 거리, 예측 지점과의 방위각을 기반으로 예측지역의 위치정보를 산출한다.^[2]

4.2. 촬영지역 면적 연산

4.2.1. 카메라가 지상과 연직일 경우

무인항공기에 장착된 카메라가 지상을 바라보는 각도가 연직일 때, 촬영되는 지상길이를 계산하여, 촬영 범위를 산출한다.

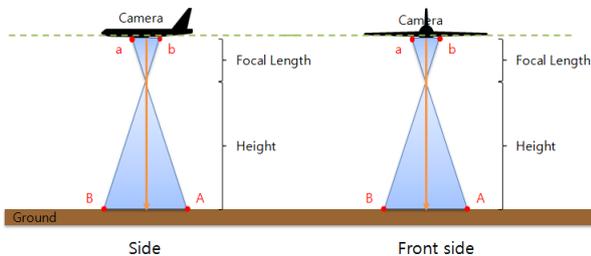


그림 4. 카메라가 지상과 연직일 경우 지상길이
 Fig. 4. The ground surface length, when the camera is perpendicular to the ground

$$S_p = \frac{F}{H} = \frac{\overline{ab}}{\overline{AB}} = \frac{1}{s_p} \quad (1)$$

$$\therefore \overline{AB} = \frac{\overline{ab} \times H}{F} \quad (2)$$

S_p = 축척, s_p = 축척 분모수
 F = 초점거리, H = 촬영고도
 \overline{ab} = 사진상의 길이, \overline{AB} = 지상길이

카메라로부터 획득한 정보와 무인항공기에 장착한 장비로부터 획득한 정보들을 이용하여 무인항공기에서 촬영한 지상길이를 산출한다.

무인항공기가 연직일 경우, 면적의 가로와 세로는 동일하게 지상길이를 산출한다. 따라서 촬영한 지역의 실제 면적은 식 3과 같다.

$$\therefore Area = (a \times s_p)(b \times s_p) = ab \frac{H^2}{F^2} \quad (3)$$

s_p = 축척 분모수
 F = 초점거리, H = 촬영고도
 a = 가로길이, b = 세로길이

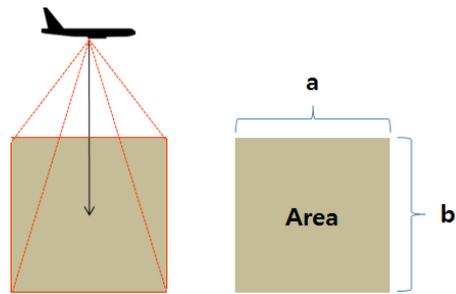


그림 5. 카메라가 지상과 연직일 경우 촬영면적
 Fig. 5. Superficial measure of shooting area, when the camera is perpendicular to the ground

4.2.2. 카메라가 지상과 연직이 아닐 경우

무인항공기가 연직이 아닌 각도로 지상을 촬영하는 경우에, 촬영되는 실제 면적의 모양은 사다리꼴이 된다. 그러므로 사다리꼴에 해당하는 지상길이를 계산하여, 촬영 범위를 산출한다.

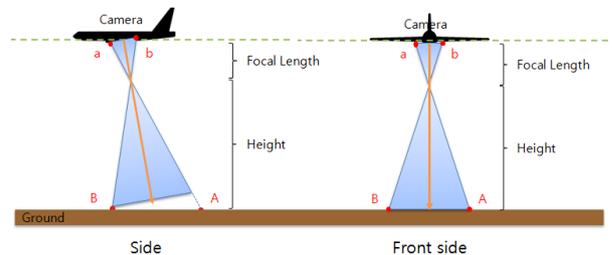


그림 6. 카메라가 지상과 연직이 아닐 경우 지상길이
 Fig. 6. The ground surface length, when the camera is not perpendicular to the ground

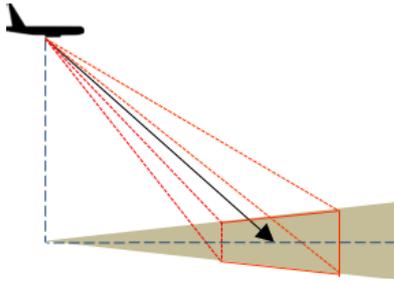


그림 7. 지상과 연직이 아닐 경우 촬영지역의 형태
Fig. 7. Shape of shooting area, when the Camera is not perpendicular to the ground

무인항공기가 연직이 아닐 경우, 측면의 지상길이를 구하는 연산과정은 식 4와 같다.

$$\begin{aligned} \therefore S &= (\tan(\theta + \tan^{-1} \frac{L}{2F})) \times H \\ &\quad - ((\tan(\theta + \tan^{-1} \frac{L}{2F}) \times \cos\theta \times F) \\ &\quad - (\sqrt{F^2 - (\cos\theta \times F)^2})) \\ &\quad - (\sqrt{F^2 - (\cos\theta \times F)^2}) \\ &\quad - (\tan(\theta - \tan^{-1} \frac{L}{2F})) \times (H - \cos\theta \times F) \end{aligned} \quad (4)$$

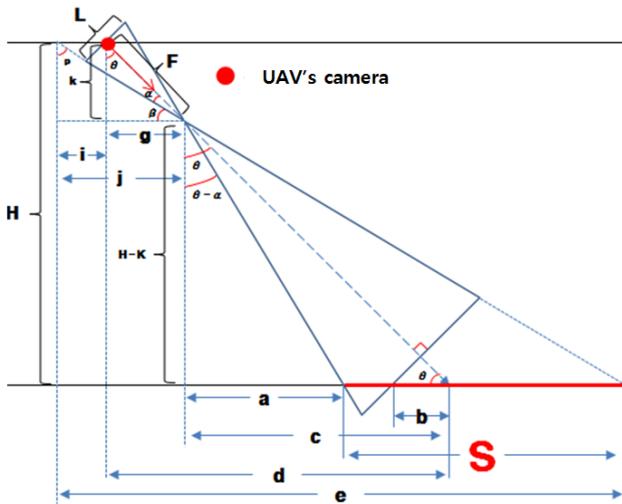


그림 8. 카메라가 지상과 연직이 아닐 경우 측면의 지상길이
Fig. 8. The length of the side surface, when the camera is not perpendicular to the ground

무인항공기가 연직이 아닐 경우, 정면의 지상길이를 구하는 연산과정은 그림 9와 같다.

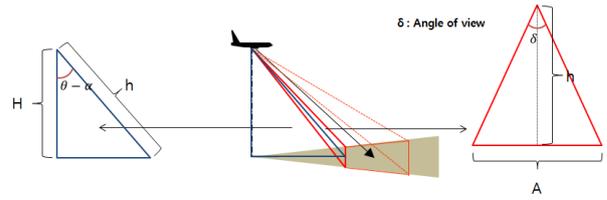


그림 9. 카메라가 지상과 연직이 아닐 경우 정면의 지상길이 A
Fig. 9. The length of the front surface(A), when the camera is not perpendicular to the ground

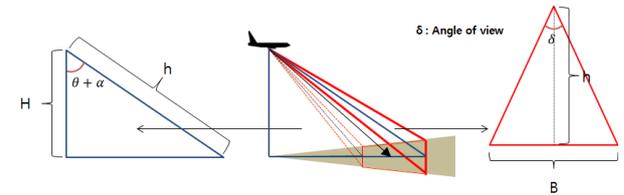


그림 10. 카메라가 지상과 연직이 아닐 경우 정면의 지상길이 B
Fig. 10. The length of the front surface(A), when the camera is not perpendicular to the ground

$$\begin{aligned} h &= \frac{H}{\cos(\theta - \alpha)} \\ \therefore A &= \tan \frac{\delta}{2} \times 2 \times \frac{H}{\cos(\theta - \alpha)} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} h &= \frac{H}{\cos(\theta + \alpha)} \\ \therefore B &= \tan \frac{\delta}{2} \times 2 \times \frac{H}{\cos(\theta + \alpha)} \end{aligned} \quad (6)$$

무인항공기에 장착된 카메라가 지상과 연직이 아닐 경우, 정면의 지상길이 A를 구하고, B 역시 동일한 방법으로 구할 수 있다. 따라서 촬영한 지역의 실제 면적은 식 7과 같다.

$$\therefore Area = \frac{(A+B) \times S}{2} \quad (7)$$

A = 정면 지상길이(말변) B = 정면 지상길이(윗변)
S = 측면 지상길이

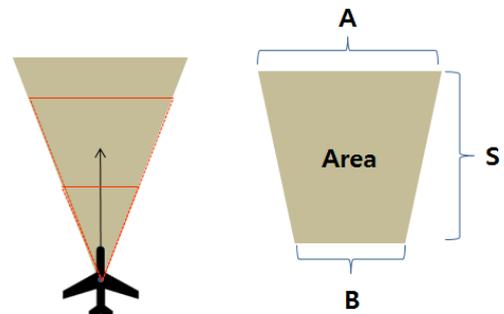


그림 11. 카메라가 지상과 연직이 아닐 경우 촬영면적
Fig. 11. Superficial measure of shooting area, when the camera is not perpendicular to the ground

4.2.3. 카메라 영상 비율에 따른 값 보정

사진 길이의 가로와 세로가 다를 경우, 지상길이
를 구하기 전에 각각의 화각을 도출해야 한다.
Distance는 무인항공기로부터 중점까지의 거리를 의
미한다. 사진 상의 가로, 세로길이에 대하여 화각
구하는 연산은 그림 12와 같다.

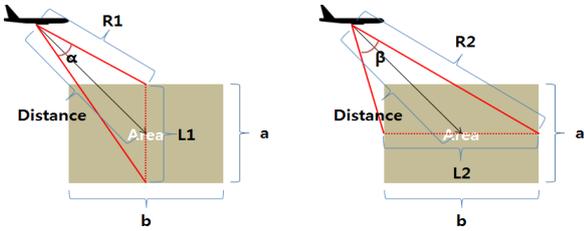


그림 12. 사진 상의 가로, 세로의 길이가 다를 경우 화각 계
산
Fig. 12. Camera angle calculation, when the horizontal
and vertical length is different from the photograph

$$R1 = \sqrt{(Distance)^2 + (\frac{a}{2})^2}, L1 = a = 2 \times R1 \times \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$\therefore \alpha = 2 \times \sin^{-1} \left(\frac{a}{2 \times \sqrt{(Distance)^2 + (\frac{a}{2})^2}} \right)$$

(8)

$$R2 = \sqrt{(Distance)^2 + (\frac{b}{2})^2}$$

$$L2 = b = 2 \times R2 \times \sin \frac{\beta}{2}$$

$$\therefore \beta = 2 \times \sin^{-1} \left(\frac{b}{2 \times \sqrt{(Distance)^2 + (\frac{b}{2})^2}} \right)$$

(9)

4.3. 지형에 따른 촬영 가능 여부 판별

무인항공기를 사용하여 특정 지역의 영상을 획득
하고자 할 때, 장착된 카메라의 방향에 따라 입체적
지형정보의 특징들로 인해 가리게 되어 유효정보를
획득하는데 어려움이 발생한다. 이러한 문제점으로
인해 입체적 지형 정보를 반영하여 특정 지역의 촬
영 가능 여부를 판별하고, 유효한 촬영 영상을 획득
하기 위해서 적절한 사전 운항 경로를 산출하는 방
안이 필요하다.

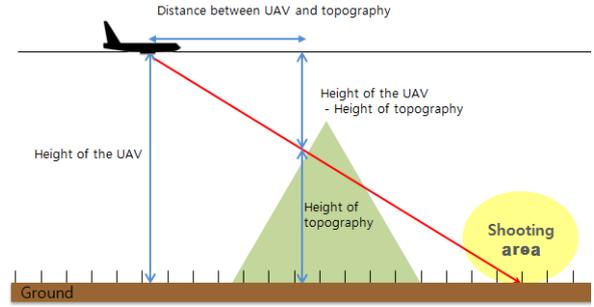


그림 13. 촬영 지역이 지형에 가려 촬영할 수 없는 상황
Fig. 13. Impossible case to shoot, because of the
topography

그림 13과 같이 큰 산과 같은 자연적인 지형 물
로 인하여 무인항공기가 원하는 지역의 촬영이 어
려운 상황이 발생할 수 있다. 따라서 사전에 특정
지역의 촬영 가능여부를 판단하여 항로를 설정할
수 있는 방안이 필요하며, 본 논문에서는 아래와 같
은 방안을 제시한다. 먼저 무인항공기로부터 측면
지상길이의 마지막 지점까지의 거리를 구한다.

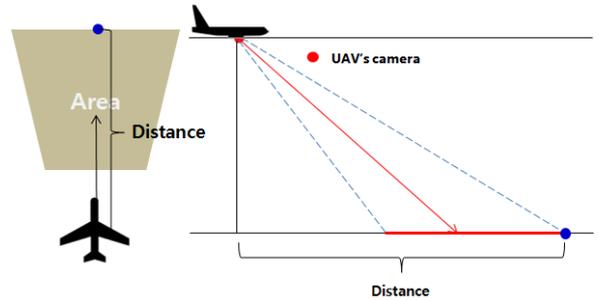


그림 14. 무인비행기로부터 측면 지상길이의 마지막 지점까
지의 거리
Fig. 14. The length of the side surface upto the
endpoint of the UAV's shooting area

앞서 측면 지상길이를 산출한 그림 8의 변수로
무인비행기로부터 측면 지상길이의 마지막 지점까
지의 거리를 산출하면 식 10과 같다.

$$\therefore Distance = e - i$$

$$= S + a + g$$

$$= (\tan p \cdot H) - (\tan p \cdot k)$$

$$- (\sqrt{F^2 - (\cos \theta \cdot F)^2})$$

(10)

점A~E까지의 점들은 촬영역역의 지점(point)들을
일정간격으로 나눈 것으로 지점들이 많으면 많을수
록 그만큼 정밀한 값을 산출할 수 있다.

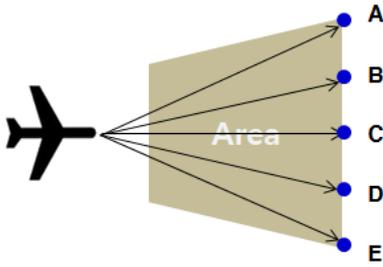


그림 15. 무인비행기 촬영 지점 분할
Fig. 15. Division of the UAV's shooting area

무인항공기가 촬영한 지역의 정면지상길이(윗면)를 알고, Vincenty direct formula^[13]를 이용하여 점 A~E의 GPS 정보를 산출할 수 있다. 그리고 점 A와B, B와C, C와D, D와E의 간격이 동일하고, 간격의 거리는 정면 지상길이를 4등분으로 나누었기 때문에 점들의 간격도 쉽게 구할 수 있다. 예를 들어, 점C의 경우로 지형을 고려한 유효정보 획득 가능 여부를 산출하면 그림 16과 같다.

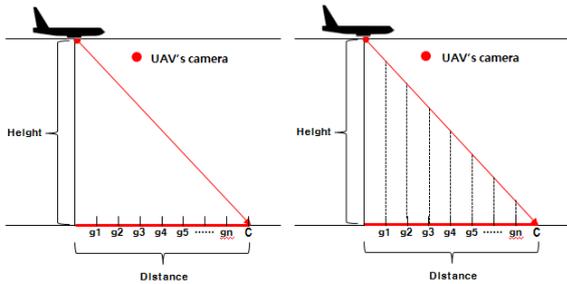


그림 16. 무인비행기에 장착된 카메라가 점C를 촬영한 경우
Fig. 16. When UAV's camera is shooting the point C

그림 16에서 Distance를 산출하여 무인항공기의 위치에서 점C까지의 거리를 알 수 있다. 그리고 점 C까지의 거리를 n등분하여 각 점들까지의 간격을 거리로 산출할 수 있다. 무인항공기의 위치, 각 점들까지의 거리, 방위각의 정보를 알기 때문에, 앞서 언급한 Vincenty direct formula^[13]를 이용하여 n등분한 점들의 GPS 정보를 구하여 각 지점들의 지형 정보를 외부데이터로부터 획득할 수 있다.

외부로부터 획득한 지형정보와 촬영영역 높이와 비교한다. 비교하기 전에 우선 K를 구해야 한다.

$$\begin{aligned} \text{무인항공기 고도} &= K + L, \quad K = \text{무인항공기 고도} - L \\ L &= \frac{\text{gn점까지의 거리}}{\tan\theta} \\ K - H &= P \\ (P > 0 \text{ 일 경우, 유효정보 획득가능}) \\ (P \leq 0 \text{ 일 경우, 유효정보 획득불가능}) \end{aligned}$$

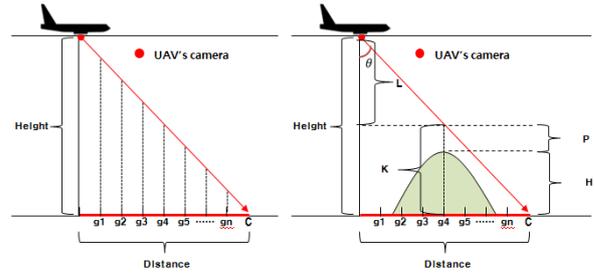


그림 17. n등분한 점들의 지형정보와 촬영영역 높이 비교
Fig. 17. Comparison of n shooting area division and topography height information

$$\therefore \text{무인항공기 고도} - \frac{\text{gn점까지의 거리}}{\tan\theta} = P \quad (11)$$

나머지 A, B, D, E점들도 같은 방법으로 지형의 높이를 비교하여 촬영가능여부를 판단한다. 각 점들에 대한 모든 비교 과정이 완료되면 지형정보를 고려하여 판단할 수 있다. 예를 들어 그림 18과 같이 지형정보와 점들과의 비교가 도출되는 경우, 총 5개의 점 중에 점C만 지형정보에 의해 가려지게 되므로 80%의 수치가 도출되어, 전체적으로 유효정보를 획득 가능하다고 판단할 수 있다.

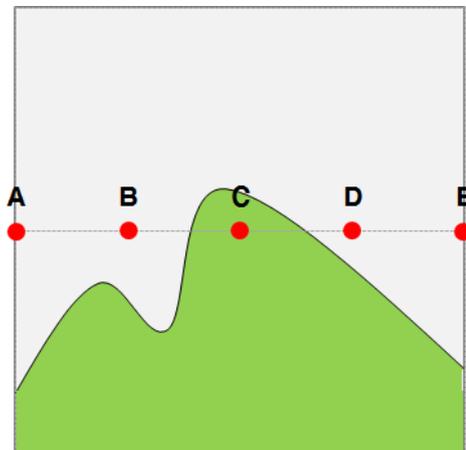


그림 18. 전체 지형정보와 A~E 점과의 비교
Fig. 18. Comparison of A to E shooting area division and topography information

V. 제안 알고리즘 검증 및 효율성 분석

5.1. 알고리즘 검증을 위한 시스템 구성

본 논문에서 제안한 알고리즘의 검증을 위하여 다음과 같은 시험환경을 구축하였다. 먼저 무인항공기의 역할을 수행하기 위하여 쿼드콥터를 사용하고,

카메라와 위치 및 상태 정보를 획득할 수 있는 안드로이드 스마트폰을 사용하여 구성하였다. PTZ 카메라를 지면과 수평을 이루어 줄 수 있는 항공 촬영용 짐벌을 사용하여 주변 환경에 따라 급격하게 변하는 쿼드콥터의 기울기 정보는 배제 하였다.

또한 안드로이드 스마트폰에서 촬영한 영상과 위치 및 상태 정보를 수집하여 전송하기 위한 가상 무인 항공기의 안드로이드 어플리케이션과 알고리즘이 적용된 지상관제시스템을 구현하였다.



그림 19. 알고리즘 검증을 위한 지상관제시스템
Fig. 19. Ground Control System for the Algorithm verification

지상관제시스템은 쿼드콥터에 장착된 스마트폰 내 카메라 및 GPS 및 자이로 센서를 통해 획득한 영상, 위치 및 상태 정보를 이동통신망을 통해 서버로 실시간 송신하고, 수신된 영상 및 상태 정보를 사용하여 실시간으로 촬영지역을 예측하고 촬영한 영상의 면적을 연산하였다.

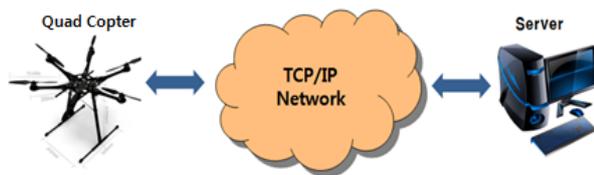


그림 20. 알고리즘 검증을 위한 시스템 구성도
Fig. 20. System configuration for the algorithm verification

5.2. 알고리즘 시험 결과 및 분석

먼저 각기 다른 3곳의 촬영 장소에서 쿼드콥터를 이용하여 촬영된 영상, 위치 및 상태정보를 실시간 서버로 전송하여 데이터를 저장하였다. 다음은 수신된 데이터를 기반으로 촬영 위치 및 촬영 예측지역의 촬영 면적을 실제로 측정하였다. 추가적으로 촬영위치에서 장착된 카메라의 기반정보와 무인항공기 기반정보를 바탕으로 본 논문에서 제안한 알고리즘을 적용하여 촬영 예측 지역 면적의 오차율을 산출

하였다. 더불어 선행 연구되었던 무인항공기와 예측 지역의 중점까지에 대한 거리^[12]를 산출하여 상호비교를 통하여 오차율을 검증하는 방식으로 테스트를 진행하였다.

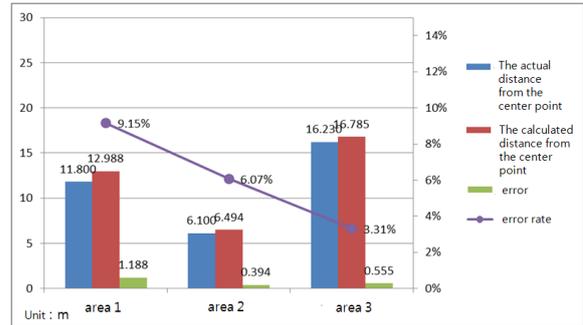
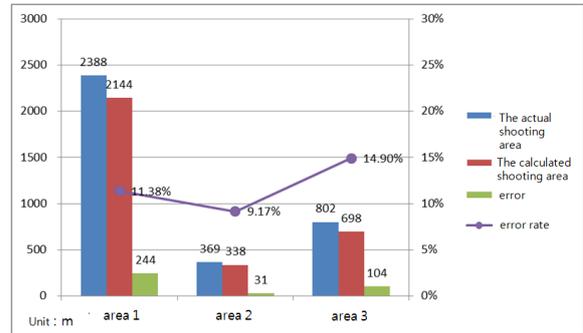


그림 21. 실제 및 계산된 촬영면적·중점거리 오차 및 오차율 분석
Fig. 21. Analysis of superficial measure and length between actual and calculated shooting area

알고리즘을 통해 산출된 예측 값과 실제 측정된 값의 비교를 위해 실제 촬영 영상에서 중점의 위치를 실측하여 촬영 위치와의 거리를 측정하였다. 촬영 면적의 경우 영상의 모서리 부분의 위치를 실측하였다. 실측한 면적의 각 변의 길이와 대각선 길이를 통해 실제 면적을 산출하여 예측 촬영 면적과의 오차를 산출하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 PTZ(Pan Tilt Zoom) 카메라를 장착한 무인항공기의 항법장치 정보와 촬영지역의 입체적 지형 정보를 고려한 무인항공기 실시간 촬영 영역 분석 알고리즘을 제안하였다.

제안한 입체적 지형 정보를 고려한 촬영 영역 분석 알고리즘을 적용하면, 지상관제센터에서 무인항공기가 촬영하는 영상이 원하는 지역의 정보인지 실시간으로 판단할 수 있으므로 정확한 실시간 원격 운항 제어가 가능하다. 더불어 제안한 알고리즘과 촬영가능여부를 판단하는 방안은 3D 지도와 같

은 지형정보와 결합하면 사전모의 운항 및 운항 경로 설정에 유용하게 응용할 수 있다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 검증을 위하여 쿼드코터와 카메라, GPS 및 각종 센서, 등의 시험 환경을 구축하여 측정하여 본 결과, 알고리즘을 적용한 결과와 실제면적에 관한 오차율은 평균 11.82%로 예상 오차보다 낮았다. 또한 촬영 지역을 예측하기 위해서 촬영지역의 중점거리를 측정한 결과의 오차는 평균 6.18%로 분석되어 제안한 알고리즘을 실제 지상관제센터에서 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

본 논문의 촬영 면적 산출 알고리즘은 촬영 지역이 평면이라는 가정 하에 제안되었다. 이는 일반적으로 사용 가능한 지도가 평면 지도이기 때문에 평면을 대상으로 알고리즘을 구현 하였고, 추후 촬영 지역의 비탈면 정보를 반영하여 알고리즘을 개선하여야 할 것이다. UAV 카메라 촬영 영상이 PTZ 카메라의 각도로 인해 지평선 위를 촬영 하는 경우에 대한 촬영 면적 보완이 필요할 것이다. 지형에 따른 촬영 가능여부 판별 알고리즘의 경우 정밀한 3D 맵의 고도 정보를 통해 촬영 가능 여부를 판별할 수 있다. 추후 정밀한 3D 맵을 통한 알고리즘 시험 결과 및 분석이 필요하다.

GPS와 측정을 위한 각종 센서 및 장비들은 외부 환경요소에 의해 영향을 많이 받아 정확한 데이터를 획득하는데 오차가 발생한다. 기후 변화와 주변 전파 상황에 따라 오차가 발생하여 정밀한 위치를 측정하기 어렵기 때문에, 향후 연구에는 영상 촬영 지역의 예측 기술이 가지는 이러한 오차범위를 개선할 수 있는 방안이 필요하다. 또한 보다 광범위한 지역의 데이터를 구축하여 알고리즘을 개선하고, 지상관제센터의 무인항공기의 경로 설정에 적용하는 연구가 필요할 것이다.

References

- [1] J. Park, J. Choi, M. Park, S. Hong, and H. Kim, "A study on intelligent video security surveillance system with active tracking technology in multiple objects environment," *Int. J. Security Its Applicat. (IJSIA)*, vol. 6, no. 2, pp.211-216, Apr. 2012.
- [2] H. M. Kim W. M. Park, and J. H. Choi, "A study on real-time prediction algorithm of aviation imaging shooting area," in *Proc. KICS Winter Conf.*, pp. 181-182, Yongpyeong, Korea, Feb. 2013.
- [3] J.-H. Park, "A study in intelligent multiple object tracking and recording for video security surveillance system based on ubiquitous sensor network," Ph.D. dissertation, Graduate School of Knowledge-based Technology and Energy, Korea Polytechnic Univ., Siheung-si, Korea, June 2012.
- [4] Y. Gu, A. Lo, and I. Niemegeers, "A survey of indoor positioning systems for wireless personal networks," *IEEE Commun. Survey Tutorials*, vol. 11, no. 1, pp. 13-32, First Quarter 2009.
- [5] Y. U. Lee, "A study on the inertial navigation system technology," *J. Inform. Security*, vol. 8, no. 2, pp. 87-94, June 2008.
- [6] I. K. Ha, Z. Zhang, H. J. Park, and C. G. Kim, "Analysis of Wi-Fi signal characteristics for indoor positioning measurement," *J. Korean Inst. Inform. Commun. Eng. (KIICE)*, vol. 16, no. 10, pp. 2177-2184, Oct. 2012.
- [7] C. Kim, H. Park, and J. Yu, "Inertial navigation system fault detection techniques technology trends," *J. Inst. Control, Robotics, Syst. (ICROS)*, vol. 17, no. 4, pp. 21-26, Dec. 2011.
- [8] F. Kamarani, "Using on-line simulation in UAV path planning," M.S. Thesis, Dept. Electron. Comput. Syst., Kungliga Tekniska högskolan, Stockholm, Sweden, Dec. 2007.
- [9] H. Chen, X.-M. Wang, and Y. Li, "A survey of autonomous control for UAV," in *Proc. Int. Conf. Artificial Intell. Comput. Intell. (AICI '09)*, pp. 267-271, Shanghai, China, Nov. 2009.
- [10] J.-W. Kim and D.-H. Kim, "Challenges; interoperability of UAV in the NAS," *Current Ind. Technol. Trend Aerospace*, vol. 8, no. 2, pp. 136-144, Dec. 2010.
- [11] The National Assembly of The Republic of Korea, *Report of the National Audit - National Defense Committee*, Feb. 2013.
- [12] U.S. Military and Department of Defense, *21st Century Unmanned Aerial Vehicles(UAV)*

Reliability Study - Predator, Pioneer, Hunter, UAS - Power, Propulsion, Flight Control, Communication, Human Factors, Progressive Management, 2010.

[13] T. Vincenty, "Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with application of nested equations," *Survey Review*, vol XXII, no. 176, pp. 88-93, Apr. 1975.

박 우 민 (Woo-Min Park)



2013년 한국산업기술대학교 전자공학과, 컴퓨터공학과 (학사)
2013년~현재 한국산업기술대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 무인항공기, 위치 추적, 영상처리, 센서네트워크, 모자이크컬처, PES, SMMD

최 정 훈 (Jeong-Hun Choi)



1987년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
2003년 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)
2000년~현재 한국산업기술대학교 전자공학부 교수
2004년~현재 디지털융합기술연구센터 책임교수

<관심분야> 통신방송융합, 지능형 영상보안감시, USN, 디지털 사이니지

최 성 근 (Seong-Genu Choi)



2013년 한국산업기술대학교 전자공학과(학사)
2013년~현재 한국산업기술대학교 전자공학과 석사과정
<관심분야> 위치추적, 센서네트워크, 모자이크컬처, 저작도구

황 남 두 (Nam-Du Hwang)



2010년 한국산업기술대학교 전자공학과(학사)
2013년 한국산업기술대학교 지식기반기술·에너지대학원(공학석사)
<관심분야> 무인항공기, 위치추적, 통신 프로토콜, SIP

김 환 철 (Hwan-Chul Kim)



1986년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
1986년~2000년 10월 한국전자통신연구원 팀장(책임연구원)
2000년 11월~현재 (주)코메스타 사장

<관심분야> 디지털 방송통신, USN, 보안감시, 국방통신