

논문 2015-10-36

이동보안시스템에서 폐색영역에서의 소형무인비행체 위치 및 방향 추적

(Location and Direction Tracking of Small UAVs on Occlusion Area in Moving Surveillance System)

문 옹 호, 천 승 현, 하 석 운*

(Yong-Ho Moon, Seung-Hyeon Cheon, Seok-Wun Ha)

Abstract : In his paper, we propose the graphic-based direction tracking system that be able to detect the current location and direction of the flight object and virtually run the pointing to the flight direction when a small UAV is located in the occlusion area behind buildings or obstacles in the moving surveillance systems. Based on the experimental results about the simulation flight path extracted from the Mission Planner we found the proposed system operates the desired flight mission effectively in tracking.

Keywords : Moving surveillance, Occlusion area, Small UAVs, Location, Direction, Tracking

1. 서 론

최근 로봇이나 소형무인비행체(SUAV, Small Unmanned Aerial Vehicle)를 활용하는 감시 및 추적 시스템에 관한 연구가 활발하게 진행되어 오고 있다.[1-3] 두 대의 SUAV를 활용하는 시스템에서는 선두 비행체를 후방 비행체가 인식하고 추적하는 경우[4]와 각각 정찰과 감시 역할을 담당하는 경우[5]의 응용 예들이 있다.

두 대의 비행체를 활용하는 전자의 예는 카메라를 사용하여 선두 비행체를 촬영함과 동시에 선두 비행체의 특징을 추출하고 이를 기반으로 선두를 추적하는 방식으로 자율 편대 비행을 하는 시스템이며, 후자는 한 대의 비행체가 정해진 경로를 따라 정찰을 하는 동안 높은 곳에 위치하고 있는 다른 비행체가 정찰 비행체의 위치 및 상태를 감속하는

형태의 감시시스템이다.

후자의 경우는 정찰 비행체에 장착되어 있는 전방 카메라를 이용해서 비행경로 상에 있는 현 지점에서의 주변 상황을 파악하고, 감시 비행체가 가지고 있는 하향 카메라를 사용하여 정찰 비행체의 상태와 이동을 감속하고, 두 비행체로부터 전송되어 오는 비행정보를 로드 맵이나 위성영상 맵에 실시간으로 그 경로를 마크하거나, 영상정보를 영상뷰어에 나타내는 사용자 인터페이스를 구성함으로써 그 기능을 수행할 수 있게 된다. 하지만 정찰을 담당하는 비행체가 운행 도중에 건물이나 장애물의 뒤편 영역에 있게 될 때, 눈으로 볼 수 없게 되어 정찰 비행체의 위치나 지상제어스테이션에서 비행체까지의 방향 등을 가시적으로 파악할 수가 없게 된다.

감시비행체로부터 전송되어오는 정찰비행체를 촬영한 영상이나 위도, 경도 및 고도와 같은 비행정보만으로는 실제 정찰비행체의 위치나 지상통제 시스템에서 보는 방향을 파악하기는 매우 어렵다. 그러므로 대형 무인비행체에 대해서는 지상지향안테나를 사용하지만 본 연구에서 대상으로 하는 낮은 고도와 좁은 영역의 정찰에 대해서는 그래픽 기반의 방향지시시스템을 구현하여 적용하면 가시적으로 보는 것과 같은 효과를 낼 수가 있다. 즉 지상통제센터로부터 정찰비행체 방향을 가리키는 그래픽기반의 방향지시시스템이 적용되면 정찰 비행체

*Corresponding Author(swha@gnu.ac.kr)

Received: 2 July 2015, Revised: 17 Aug. 2015,

Accepted: 24 Aug. 2015.

Y.H. Moon, S.H. Cheon, S.W. Ha: Gyeongsang National University

※ 본 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(No.2014R1A1A2056434)

가 건물 뒤편이나 장애물에 의해 가려져 있어도 정찰비행체가 비행하고 있는 지점에 대한 현재 시점에서의 지향각(azimuth angle)과 고각(elevation angle)을 구하여 뷰어에 표시하면 정찰비행체의 현재 위치 및 방향을 추적할 수 있게 된다.

본 연구에서는 폐색영역에 있는 소형무인비행체의 위치 및 방향을 추적할 수 있는 방향지시시스템을 그래픽으로 구현하고, 두 대의 무인비행체를 활용하는 폐색영역에서의 이동감시시스템의 추적 한계를 극복해보고자 한다. 2장에서는 방향지시시스템의 구성에 관하여 나타내고, 3장에서는 제안하는 이동보안시스템, 4장에서는 시스템의 구현 및 실험, 5장에서는 실험결과, 그리고 6장에서 결론을 맺는다.

II. 방향지시시스템

1) 방향지시시스템의 좌표 설정

비행체가 운항하고 있는 동안 그 비행체의 현재 위치와 방향을 측정하기 위해서 사용되고 있는 기존의 방향지시시스템[6]의 동작 원리는 다음과 같으며, 여기서는 GPS 데이터를 이용하는 GPS 방식을 적용한다. 이 방식은 무인비행체와 지상통제시스템의 GPS 장비를 이용해서 각각의 위도, 경도 그리고 고도에 관한 정보를 이용해서 무인비행체를 향한 지향각과 고각을 계산하기 때문에 지형지물로 인한 전파의 외란에 영향을 받지 않는다.

그림 1과 같은 구면좌표계로부터 무인 비행체와 지상통제시스템의 상대 위치를 기반으로 다음 식(1)과 식(2)을 이용하여 지향각(azimuth angle)과 고각(elevation angle)을 계산한다.

$$\begin{aligned} \Delta X &= (\lambda_V - \lambda_A) \times Scaler_{Lon} \\ \Delta Y &= (\phi_V - \phi_A) \times Scaler_{Lat} \\ AzimuthAngle &= \tan^{-1}\left(\frac{\Delta Y}{\Delta X}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

$$ElevationAngle = \tan^{-1}\left(\frac{h_V - h_A}{r_A \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}}\right) \quad (2)$$

여기서 λ_A, λ_V 는 각각 지상통제시스템과 무인비행체의 경도(longitude) 데이터, ϕ_V, ϕ_A 는 위도(latitude) 데이터, h_V, h_A 는 고도 데이터를 나타내며, r_A 는 지상통제시스템으로부터 무인비행체까지의 거리를 나타낸다. 그리고 $Scaler_{Lon}$ 과 $Scaler_{Lat}$ 는 위도의 변화에 따른 거리 환산치를 나타낸다. 계산된 지향각과 고각 값들을 사용하여 3차원 좌표공

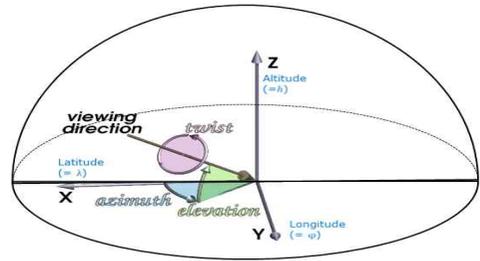


그림 1. 구면좌표계

Fig. 1 Spherical coordinate system

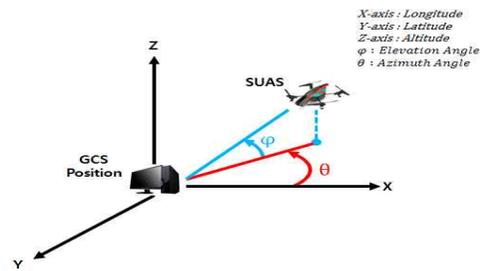


그림 2. 그래픽기반 방향지시시스템의 좌표 공간

Fig. 2 Coordinate space of the graphic-based direction pointing system

간에 나타내기 위해서는 회전변환을 이용해야 하며, 이는 그래픽 프로그래밍 도구인 OpenGL에서 제공하는 회전변환을 수행하기 위한 API를 이용한다.

그래픽기반의 방향지시시스템 구현에 있어서 3차원 좌표공간은 그림 2와 같으며, 3차원 좌표공간에서의 회전변환에 대한 수식은 식 (3), (4)와 같다. R_z 행렬은 지향각, R_y 는 고각을 나타내기 위한 변환 행렬이다. P 는 OpenGL상의 3차원 좌표를 의미한다. 여기서 θ 는 지향각을 나타내며, ϕ 는 고각을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \theta(AzimuthAngle), \phi(ElevationAngle) \\ R_z = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R_y = \begin{bmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} \\ ElevationLine = R_z * R_y * P \\ AzimuthLine = R_z * P \end{aligned} \quad (3)$$

OpenGL에서는 후위곱셈(Post-Multiplication)을 수행하므로, 식(3)에서 R_y 와 P 좌표를 먼저 계산한 다음, 그 결과 값을 R_z 와 계산한다. 즉, 그림 2를

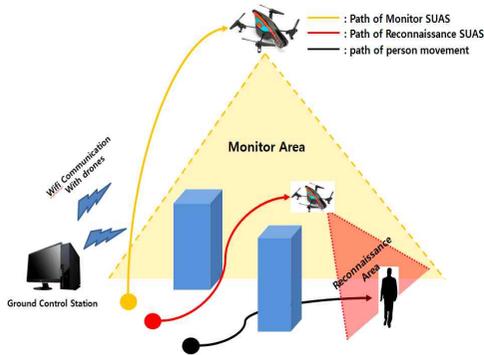


그림 3. 이동보안시스템의 구성도
Fig. 3 Structure of the moving surveillance system

보았을 때, Y축에 대해 먼저 회전변환을 수행한 후에 Z축에 대해 회전변환을 수행하게 된다.

위의 과정을 거쳐 계산된 지향 특성 값들을 사용하여 그래픽 기반의 3차원 공간상에서 정찰 무인비행체의 지향현상을 그리게 될 때, 3차원 좌표 방향으로의 지시 값들을 상대적으로 정규화할 필요가 있다. 비행시작위치(지상통제시스템)에 해당하는 위도, 경도 값과 현재 비행 중인 정찰 무인비행체의 위도, 경도 값의 차이 값을 이용하여 3차원 공간상의 위치를 나타내기 때문에, X, Y 좌표 값은 매우 작기 때문에 카메라 관측시점을 확대 해주어야 한다. 하지만 반대로 고도 데이터에 해당하는 Z좌표 값은 X, Y 좌표 값보다 크기 때문에, 카메라 관측시점의 가시영역에서 벗어나게 된다. 이를 해결하기 위해 Z좌표의 값을 적절한 상수 값으로 나누어 X, Y좌표의 값과 유사한 범위의 데이터로 변환시키는 과정을 거치면 방향지시시스템의 뷰어에서 정찰 무인비행체를 향한 지향특성을 적용적으로 확인할 수가 있게 된다.

III. 이동보안시스템

1. 시스템 구조

이동보안시스템의 구조는 감시(Monitoring) SUAV, 정찰(Reconnaissance) SUAV 그리고 GCS (지상제어시스템, Ground Control Station)으로 이루어져있다. 감시 SUAV는 정찰 SUAV가 비행하고 있는 현장을 포함하는 주변 영역에 대한 정보를 수집하는 역할을 한다. 정찰 SUAV는 보안이 필요한 특정 구역의 세부적인 정보를 수집한다. GCS는 감

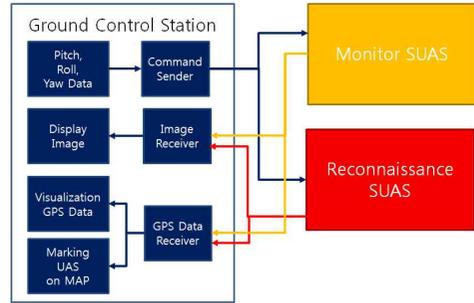


그림 4. 이동보안시스템의 임무수행과정
Fig. 4 Mission operation process of the proposed system



그림 5. AR. Drone과 Aducopter의 외형
Fig. 5 Appearance of AR. Drone and Aducopter

시 및 정찰 SUAV로부터 영상 및 GPS정보를 수신 받고, 정찰 및 감시 SUAV로 비행체에 명령을 전송하고 비행에 관련된 여러 정보들을 뷰어를 통해서 보여준다. 이동보안시스템의 구성은 그림 3과 같다.

2. 임무수행과정

이동보안시스템의 임무수행과정은 그림 4와 같다. 임무수행과정을 개략하여 설명하면 다음과 같다. 지상제어시스템인 GCS에서는 미션플래너에서 구한 시뮬레이션 비행데이터를 정찰과 감시의 두 SUAV로 전송한다. 두 SUAV에서는 영상 촬영데이터와 실제 비행데이터를 GCS로 전송한다. GCS에서는 영상 및 그래픽정보를 바탕으로 정찰 SUAV에 경로수정비행데이터를 전송한다. GCS에서는 두 SUAV에서 보내온 데이터를 활용하여 3D 지도와 영상 및 그래픽 뷰어를 동작시킨다.

특히 정찰 SUAV는 임무수행 도중 현장의 장애물 및 건물에 부딪힐 수 있기 때문에, 감시 SUAV의 촬영영상과 정찰드론의 GPS정보를 시각화 처리한 정보를 참고하여 GCS에서 SUAV의 비행지시 및 비행경로를 수정해야 한다. 정찰 SUAV의 GPS 정보는 지도상에 정찰 SUAV의 위치 표시, 3차원의

표1. AR. Drone의 제원

Table 1. Dimension of AR. Drone

System Dimension	
Comm. Module	WiFi
Altitude Measure	Ultrasound Sensor
Down Camera	360p or 720p, 30fps
Up Camera	
GPS	Flight Recorder

표2. Aducoptor의 제원

Table 2. Dimension of Aducoptor

System Dimension	
Comm. Module	3DR radio (900 or 433MHz)
Board	ArduPilot 2.6
Processor	ATMega2560
Camera	768 x 492, 30fps (NTSC)
GPS Module	3DR uBlox GPS

그래픽 공간상에서 비행경로 생성 그리고 GCS로부터의 SUAV의 비행 위치를 지향하는 라인을 생성하는데 이용된다.

지도상에 감시 SUAV의 위치를 표시하는 이유는 경찰구역에 대한 전반적인 지리 및 건물정보를 확인하기 위해서이며, 경찰 SUAV의 비행경로와 비행 위치를 지향하는 라인을 생성하는 것은 그래픽기반의 방향지시시스템을 사용하여 경찰 SUAV의 상대적인 비행 위치와 방향을 파악하기 위함이다.

IV. 구현 및 실험

1. 이동보안시스템의 구현

1) 소형무인비행체

이동보안시스템에서 사용하는 두 대의 SUAV는 경찰용으로는 Parrot사의 AR.Drone 2.0[7]을, 감시용으로는 Arducopter[8]를 사용하였다. AR. Drone 2.0은 실외에서 바람의 영향을 많이 받고 있어 낮은 고도인 경찰용으로 사용하였으며, Arducopter는 건물 상층 주변의 높은 고도에서도 잘 비행하는 성능을 가지고 있어 감시용으로 사용하였다. 그림 5는 두 SUAV의 외형을 보여주며, 표1과 표2는 이들의 제원을 보여준다.

경찰임무를 수행하는 비행체는 일정 시간간격으로 특정 영역의 상공을 비행하며 전방이나 하향 카메라를 통해 현장을 촬영하고, 통제 센터로 촬영된 영상을 실시간으로 전송한다. 감시임무를 수행하는 비



그림 6. 미션 플래너에서 구현한 비행시뮬레이션 경로

Fig. 6 Simulated flight path implemented from Mission Planner

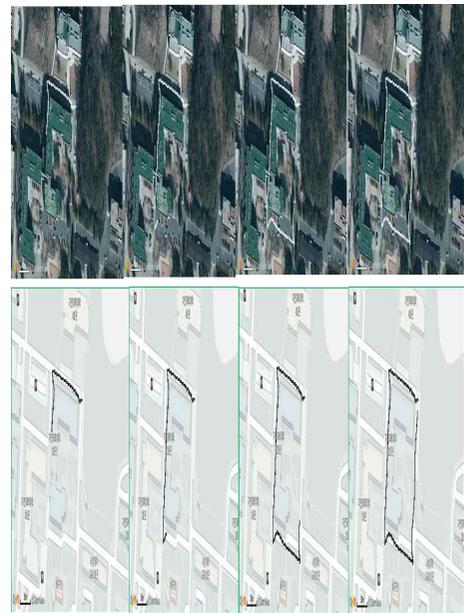


그림 7. 경찰 SUAV의 실제 경찰 비행 경로

Fig. 7 Real flight path of the reconnaissance small UAV

행체는 경찰비행체보다 높은 곳에서 정지비행을 하면서 경찰비행체의 위치와 상태를 파악하기 위한 영상을 획득하고, 이를 통제 센터로 전송한다. 통제센터에서는 경찰비행체로부터 전송되어오는 영상을 실시간으로 감시함으로써 위험한 상황이나 범죄 현장을 파악하고, 영상 및 비행정보를 기반으로 두 비행체의 이동 및 정지를 통제한다.

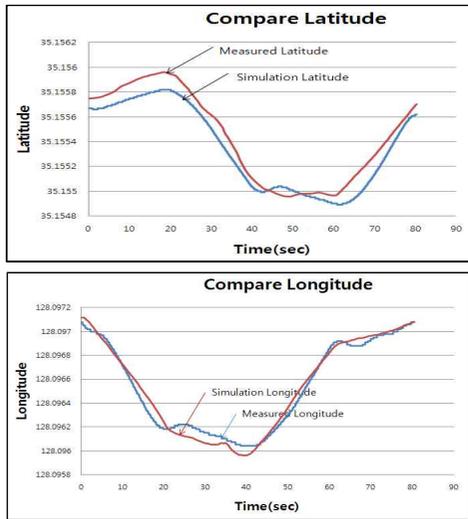


그림 8. 시뮬레이션과 실제 비행 데이터의 위도 및 경도 비교 결과

Fig. 8 Comparison result of the simulation and the real flight data in latitude and longitude

2) 지상통제시스템

지상통제시스템(GCS, Ground Control System)에서 사용하는 뷰어의 기능은 SUAV의 영상 수신, 비행지시 명령 송신, GPS정보를 시각화 및 지도상의 SUAV 위치를 마킹하는 것이다. 그리고 감시 비행체로부터 전송되어오는 영상을 통해 경찰비행체의 상태를 살피고 건물이나 장애물과의 충돌이 우려되는 경우에는 회피를 위한 경로변경 제어 신호를 전달한다.

2. 이동보안시스템의 실험

1) 시뮬레이션 경로 설정

두 대의 SUAV와 그래픽기반의 방향지시시스템을 사용하여 이동보안시스템의 미션 수행을 실험하기 위해서는 먼저 실험을 위한 시뮬레이션 경로를 설정하여야 한다. 이것은 Microsoft사에서 제공하는 Xplane과 연동되어 비행체의 미션 플랜을 시뮬레이션할 수 있는 미션 플래너(Mission Planner)를 사용하였다. 그림 6은 미션 플래너에서 waypoint install 기능을 활용하여 구성한 시뮬레이션 경로를 나타내고 있다.

2) 미션수행 및 결과

그림 7은 미션 플래너에서 구성한 시뮬레이션 경로에 대한 운행 데이터를 사용하여 그 경로를 따라

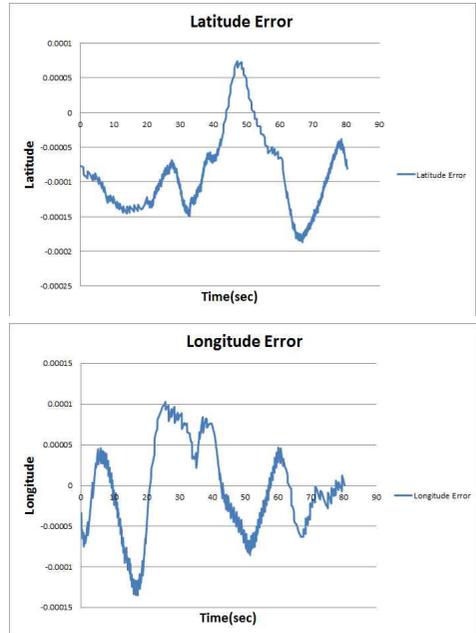


그림 9. 실제 비행에서의 위도 및 경도 오차

Fig. 9 Errors of latitude and longitude in real flights

두 대의 SUAV를 운행한 결과, 경찰 SUAV의 실제 운행 경로를 다음 포털에서 제공하는 3D 위성 지도 및 도로 지도상에 그려본 것이다.

그림 8은 미션 플래너에서 구성한 시뮬레이션 비행 데이터와 경찰 SUAV의 실제 비행 데이터를 비교 결과를 위도와 경도에 대해 나타내었다.

그림 9는 위도 및 경도 데이터에 대한 오차를 나타내고 있다. 비행경로에서 위도 데이터는 35.1549도에서 35.1559도 사이에 있으며, 경도 데이터는 128.0959도에서 128.0971도 사이에 있다. 따라서 위도와 경도의 최대 간격은 각각 0.001도와 0.0012도이며, 시뮬레이션 비행데이터와 실제 비행 데이터와의 비교 결과, 위도 데이터는 최대 0.00018도 즉 1.8%, 경도데이터는 최대 0.00013도 즉 10.8%의 오차를 나타내었다.

경도데이터에서 최대 10.8%의 오차가 있는 것은 실제 비행시에는 바람과 같은 주변 환경과 GPS 데이터의 시간에 따른 변화 등에 기인한 것이다.

경찰 드론이 비행하는 중에 전송해 오는 위도, 경도, 고도 정보를 바탕으로 계산한 지향각과 고각을 기반으로 그래픽기반 방향지시시스템의 시현에 알맞게 데이터를 수정하고 이를 사용하여 그래픽상의 뷰

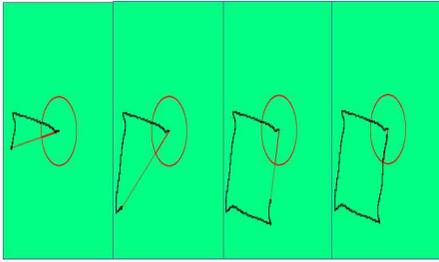


그림 10. 방향지시시스템의 방향지시 결과
 Fig. 10 Direction pointing results of the graphical direction pointing system



그림 11. 방향지시시스템의 지시 특성
 Fig. 11 Pointing process of the system

관점을 개선한 뒤에 그래픽기반 방향지시시스템 뷰에 그린 결과이다.

그림 10은 지상통제시스템으로부터 정찰 UAV의 현재 위치 방향으로의 지시 상태를 보여준다. 방향지시 결과는 실제 정찰 UAV의 비행경로와 거의 일치하며, 정찰 UAV가 건물 뒤편에 있는 상황에서도 그 방향으로의 지시가 실제 위치와 일치하는 것을 보여주고 있다. 방향지시시스템의 지시는 정

찰 UAV에서 전송해오는 비행 정보를 그대로 사용하고 정찰 UAV가 위치하는 방향으로 얼마나 잘 지시하는지를 나타내기 때문에 그림 7에서 보여주는 정찰 UAV의 비행경로와 일치하게 나타난다. 그래픽시스템의 뷰 과정에서 실제 비행경로와 일치하게 보여 지도를 변환과 데이터 스케일 조정 과정을 거친 결과이다.

V. 실험 결과

그림 11은 본 논문에서 구현한 그래픽기반의 방향지시시스템의 지시 성능을 보기위해 정찰 UAV의 비행경로와 방향지시시스템의 지시 특성을 보여준다. 실제 비행경로 데이터를 사용하여 실제 비행위치와 동일하게 지시하도록 그래픽 과정을 구현하였기 때문에 지시 특성은 육안으로 파악할 수밖에 없다. 정찰 UAV가 건물 뒤편에 위치해 있어 가시권을 벗어나 있는 경우에도 방향지시시스템은 정찰 UAV의 방향을 지시하고 있어 현재 위치를 지도를 통해 마치 보고 있는 것과 같은 결과를 얻을 수 있다.

방향지시시스템을 포함하여 전체 시스템의 운영 정보를 그래픽과 영상, 그리고 지도를 통해 보여주는 통합 플랫폼을 그림 12에서 보여주고 있다.

VI. 결론

SUAV들을 활용하는 이동형보안시스템에 있어서 SUAV들이 가시영역을 벗어나 그 위치나 방향을 파악할 수 없는 상황에서 가장적인 가시권을 확보하기 위해 비행데이터와 그래픽을 활용하는 방향지

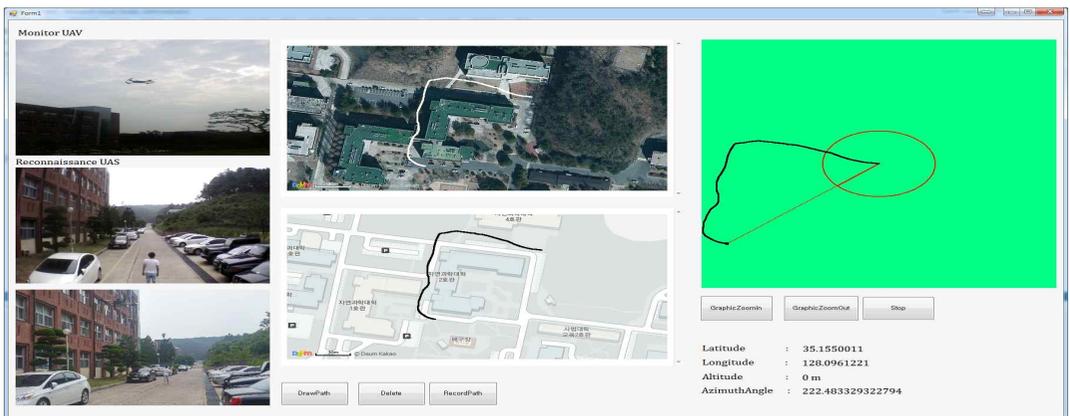


그림 12. 방향지시 시스템을 포함하는 시스템 플랫폼
 Fig. 12 Overall System Platform

시 시스템을 구현하였다. 계획된 비행경로를 바탕으로 실제 비행하는 실험을 한 결과 구현한 방향지시시스템을 통해 폐색영역에 있는 정찰 SUAV의 위치와 그 쪽으로의 방향을 짐작할 수 있었으며, 지도와 영상 데이터를 포함하는 전체 플랫폼에서 가시적 역할을 담당할 수 있었다.

References

- [1] E.S. Ko, C.W. Lee, "Implementation of lane tracking system using a autonomous RC toy car," IEMEK J. Embed. Syst. Appl., Vol. 8, No. 5, pp. 249-254, 2013 (in Korean).
- [2] G. Chmaj, H. Selvarai, "Distributed Processing Applications for UAV/drones: A Survey", Advances in Intelligent Systems and Computing. Vol. 330, pp. 449-454, 2015.
- [3] D.S. Cho, W.S. Rha, "Development of tracking system for high maneuvering vehicle," Journal of The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences , Vol. 36, No. 4, pp. 399-406, 2008 (in Korean).
- [4] H. S. Shin, and M. J. Thak, "Nonlinear model control for multiple UAVs formation using passive sensing", International Journal of Aeronautical Space Science, Vol. 12, No. 1, pp. 16-23, 2011.
- [5] S. W. Ha, Y. H. Moon, and S. H. Cheon, "An effective surveillance system in narrow area using two small UAVs", Proceedings of World Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics, 2015.
- [6] Y.J. Seo, D.W. Lee, "Test of UAV tracking antenna system using Kalman filter based on GPS velocity and acceleration," Journal of The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 39, No. 9, pp. 883-888, 2011 (in Korean).
- [7] <http://gauth.fr/2011/09/introduction-to-the-ar-drone-sdk/vdrone-master>.
- [8] <http://www.buildyourowndrone.co.uk/arducopter-quad-v1-1-kit-full-electronics.html>.

Yong-Ho Moon (문 용 호)



He received the Ph.D. degree in Electronics Engineering from Busan National University, Busan, Korea, in 1998. He was a senior researcher in DM

Institute of Samsung Electronics Co. from 1998 to 2001 and he was a visiting researcher in University of California, Santa Barbara in 2012. He is currently a associate professor in Department of Aerospace and Software Engineering at Gyeongsang National University, Jinju, Korea. His research interest includes image processing, SoC, moving image coding.

Email: yhmoon5@gnu.ac.kr

Seung-Hyuon Cheon (천 승 현)



He received the B.S. degree in Department of Information Science, Gyeongsang National University, Jinju, Korea, 2015. He is currently a M.S. student in

Department of Aerospace Engineering at Gyeongsang National University, Jinju, Korea. His research interest includes image processing, aerospace embedded system, and autonomous flight computing.

Email: seunghyeonc@gnu.ac.kr

Seok-Wun Ha (하 석 운)

He received the Ph.D. degree in Electronics Engineering from Busan National University, Busan, Korea, in 1995.

He was a visiting researcher in VISLab.

in University of California, Riverside in 2002 and he is currently a professor in Department of Aerospace and Software Engineering at Gyeongsang National University, Jinju, Korea. His research interest includes signal processing and embedded system software.

Email: swha0197@gmail.com