

광범위 시야 정보를 위한 UAV와 UGV의 협업 연구

Cooperative UAV/UGV Platform for a Wide Range of Visual Information

이재근* · 정하민* · 김동현**†

Jae-Keun Lee, Hahmin Jung, and Dong Hun Kim†

*경남대학교 첨단공학과, **경남대학교 전기공학과

Dept. of Advanced Eng. and † Dept. of Electrical Eng., Kyungnam University

요 약

본 논문은 기존의 UGV(Unmanned Ground Vehicle)에서 얻을 수 없었던 광범위한 시야를 얻기 위하여 UGV와 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)를 함께 운용하는 플랫폼을 제안한다. UAV는 사용자 조종 없이 UGV 상단의 마커를 인식 한 후 UGV를 추적하며 광범위한 시야를 UGV 사용자에게 전달해 준다. UGV는 사용자가 직접 조정하며, 상단에 마커가 붙어 있는 넓은 알루미늄 판위에 UAV는 자동 이륙, 착륙 한다. UAV에는 2개의 카메라가 설치되어 있고, 하나는 마커 인식을 위해 다른 하나는 전방의 광범위한 시야를 위하여 사용된다. UAV가 UGV를 추적하는데 있어 인식의 정확도를 높이기 위하여 마커 인식을 사용하였고, 전체 시스템의 통신은 WiFi 통신을 사용하였다. 실험의 결과를 통해 제안된 방법이 광범위 시야 정보를 얻기 위하여 UAV/UGV의 협업 연구에 효과적으로 적용될 수 있음을 보여준다.

키워드 : UAV, UGV, 비전, 쿼드콥터, 궤적 추적

Abstract

In this study, a cooperative UAV and UGV platform is proposed to obtain a wide range of visual information. The UAV recognizes a pattern marker on UGV and tracks the UGV without user control. It can provide wide range of visual information for a user in the UGV. The UGV by a user is controlled equipped with an aluminum board. And the UAV can take off and land on the UGV. The UAV uses two cameras; one camera is used to recognize a pattern marker and another is used to provide a wide range of visual information to the UGV's user. It is guaranteed that the proposed visual-based approach detects and tracks the target marker on the UGV, and then lands well. The experimental results show that the proposed approach can effectively construct a cooperative UAV/UGV platform for obtaining a wide range of vision information.

Key Words : UAV, UGV, Vision, Quadcopter, Trajectory Following

1. 서 론

이동로봇에 대한 연구는 아주 오래 전부터 연구 되어 왔고 실제 산업 현장이나 실생활에 많이 사용되고 있다. 하지만 대부분의 이동로봇은 지상에서 움직이며 시야가 지상으로 한정되어 있기 때문에 행동에 많은 제약이 따른다. 많은

장애물이 존재하여 이동이 힘든 환경에서, 지표면에 한정된 시야로 인하여 자신의 위치를 파악하기 힘들고 사용자에게 폭넓은 시야를 제공하지 못하였다. 따라서, 공중에서 자유롭게 움직일 수 있는 쿼드콥터형 UAV를 모델링하는 연구와 자세 제어 방법에 대한 많은 연구가 이루어 졌다[1-7]. 하지만 공중에서 움직이는 UAV 또한 장애물에서 자유롭지 못하기 때문에 이를 극복하기 위한 여러 연구들 또한 진행 되었다[8].

최근에는 UAV와 UGV를 함께 이용하는 연구들이 활발히 이루어지고 있다. UAV는 UGV에서 이륙하여 UGV를 따라 움직인 후 UGV에 다시 착륙한다. 이러한 추적 과정에서 UAV가 UGV를 인식하는 방법은 일반적으로 영상 인식을 통해 이루어진다. 흰색의 둥근 원 혹은 검은색의 둥근 원을 UGV 상단에 위치시키고 UAV는 그 원을 보며 움직이는 방법이 있다[9][10]. 또 다른 연구로는 두 개의 LED를 UGV 상단에 위치시키고 UAV는 LED의 위치와 두 개의 LED 사이의 거리를 보며 위치를 결정하는 방법도 있다 [11]. 하지만, 이전에 제안된 연구[9-11]들은 검은 점과

접수일자: 2014년 3월 9일

심사(수정)일자: 2014년 4월 1일

게재확정일자: 2014년 5월 23일

† Corresponding author

감사의 글 : 본 연구는 2014학년도 경남대학교 학술연구 장려금 지원으로 이루어졌음.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

LED의 빛을 이용하여 추적하기 때문에 외부에서 검은 원 모양의 물체가 나타나거나 태양과 같은 빛이 비출 경우 UAV가 UGV를 제대로 추적 하지 못하는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 UAV가 UGV를 추적하며 UAV의 전방 카메라에서 광범위한 시야 정보를 사용자에게 전달해주는 시스템을 제안한다. UAV는 공중에서 지표면을 바라보기 때문에 시야의 제한이 거의 없기 때문에 정찰, 감시 임무에 적합하다. 하지만 UAV의 단점 중 하나인 짧은 운용 시간 때문에 목적지 까지 도달하여 영상 정보를 전달하는데 시간이 제약이 있다. 현재 시중에서 구할 수 있는 UAV의 운용 시간은 보통 20~25분이기에 사용자가 필요한 임무를 수행하는데 있어 시간이 짧을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위하여 UAV를 시야 정보가 필요한 곳 까지 UGV 위로 위치시킨 후 영상 정보를 사용자에게 전달한 후 다시 UGV에 착륙시켜 충전한다. 그 후 다시 UAV에서 제공하는 넓은 시야를 사용자가 원할 경우 서버(server) PC로 이륙 명령을 주면 UAV는 이륙하고 UGV를 추적한다.

2. 전체 시스템

본 연구에서 제안하는 UAV-UGV의 전체 플랫폼(platform)은 그림 1과 같이 UAV, UGV, 서버 PC로 구성된다. UGV는 4개의 바퀴를 가진 이동 로봇을 사용하였고 사용자가 직접 조종한다. UAV는 DJI사의 Phantom2의 프레임(frame)을 개조하여 사용하였다. UAV는 평상시에 UGV의 상단 알루미늄판에 위치하고 있고, 사용자가 서버 PC로 이륙(Take off) 명령을 주면 이륙하고 하단부의 카메라로 UGV 상단의 마커 방향 영상을 서버 PC로 전송한다. 동시에 전방 카메라에서도 사용자에게 광범위한 전방 시야를 제공한다. 서버 PC에서는 하단 카메라의 영상에서 마커를 인식하여 UAV가 움직여야 하는 목적 위치에 대한 데이터 패킷(packet)을 UAV에게 전달해준다.

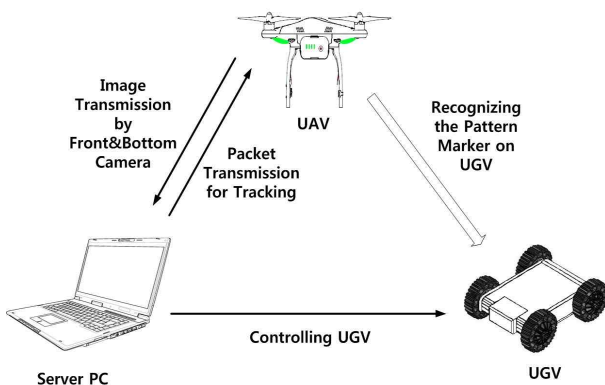


그림 1. 전체 시스템
Fig. 1. Overall System

전체 시스템의 제어 구조는 그림 2와 같다. UAV는 두 개의 마이크로 컨트롤러로 구성 되어 있다. NAZA-M은 Phantom2에 내장되어 있는 마이크로 컨트롤러로서 자이로 센서(Gyro Sensor), 컴패스 센서(Compass Sensor), GPS등을 이용하여 호버링(hovering) 및 자세제어를 해주고 각 모터에 관한 Bus신호가 입력되면 각 모터를 제어한

다. 본 연구에서는 마커의 위치에 따라 UAV가 움직여야 하기 때문에 마이크로 컨트롤러(Atmega128)를 추가하여 서버 PC로 부터의 패킷에 따라 PWM을 출력해 준다. PWM신호는 PWM to SBus Encoder를 거쳐 Bus신호로 변환되어 NAZA-M으로 입력된다. 두 개 카메라 영상은 서버 PC로 전송되어 하단 카메라는 640*480의 크기로 전송되고 마커 인식을 위해 OpenCV라이브러리로 처리되어 그 값을 바탕으로 UGV를 추적하기 위한 패킷을 UAV에 WiFi통신으로 전송한다. 전방의 카메라 영상은 광범위한 시야를 위해 사용자에게 제공된다. UGV는 서버 PC를 통해 사용자에게 WiFi통신으로 명령을 받아 움직인다.

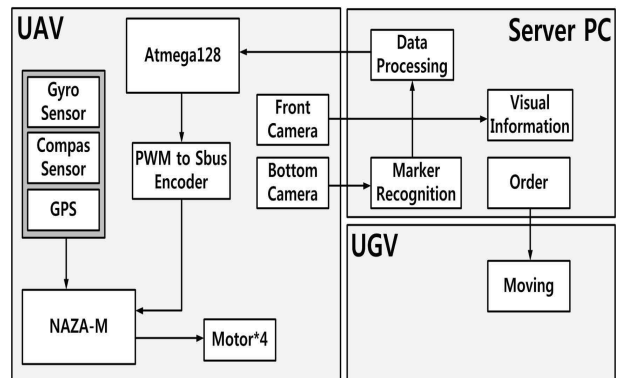


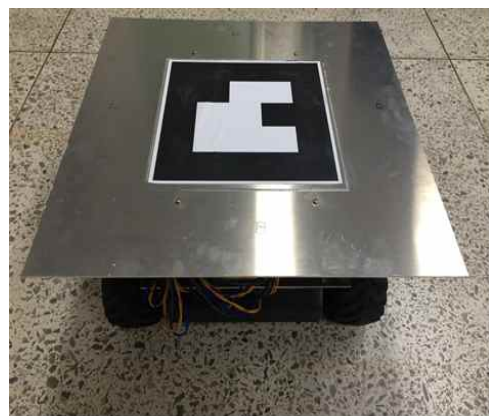
그림 2. 제어 구조
Fig. 2. Control Architecture

3. UGV-UAV 구조

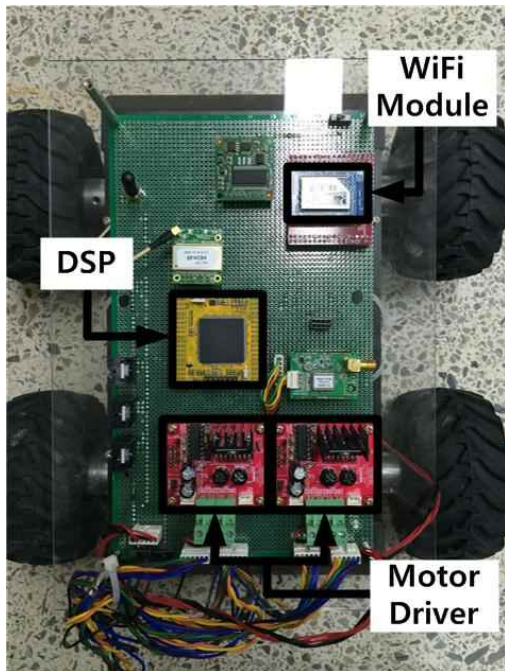
3.1 UGV 구조

UGV는 그림 3과 같이 구성되어 있다. 4개의 바퀴로 이루어진 구조이며, 각 4개의 바퀴는 4개의 모터로 각각 제어된다. 2개의 모터를 제어할 수 있는 모터 드라이버 2개를 사용하여 모터를 제어하였고, UGV의 통신과 모터제어 PWM출력을 위한 마이크로 컨트롤러는 DSP를 사용하였고, 서버 PC와 통신을 위해 WiFi모듈을 사용하였다.

UAV의 이·착륙을 하기 위해서 제어 보드 위쪽에 알루미늄 판을 부착하였고 그 판 중심에 마커가 위치한다. 알루미늄 판은 UAV가 쉽게 이·착륙 할 수 있도록 UAV 크기 보다는 크게 제작하였다.



(a)



(b)

그림 3. UGV 구조: (a)전체 구조 (b) 내부 구조

Fig. 3. Composition of UGV

(a) Overall composition (b) Internal composition

UGV는 서버PC를 이용하여 사용자가 직접 명령을 주어 구동한다. 서버 PC로부터 전달되는 패킷 명령은 표 1과 같다. 정확한 명령을 전달하기 위하여 시작 비트(Start Bits)는 FF와 AA이고, 움직임에 대한 패킷은 04~07이고, 마지막 패킷으로 패리티(Parity)를 검사하여 맞으면 UGV는 이동 패킷에 대한 움직임을 수행한다.

표 1. UGV의 전송 패킷

Table 1. Transmission packets of the UGV

Command	Start Bits		Communication Packet	Parity Bits
Front	FF	AA	04	52
Back	FF	AA	05	51
Left	FF	AA	06	50
Right	FF	AA	07	4F
Parity Bit = $\sim((0xFF+0xAA+(04\sim07))\&0xFF)$				

표 2. UGV의 사양

Table 2. Specifications of the UGV

	Body	Including aluminium board
Length	340 mm	410 mm
Width	340 mm	410 mm

Height	160 mm	220 mm
Weight	4.3 kg	
Actuation time	90~100 min	

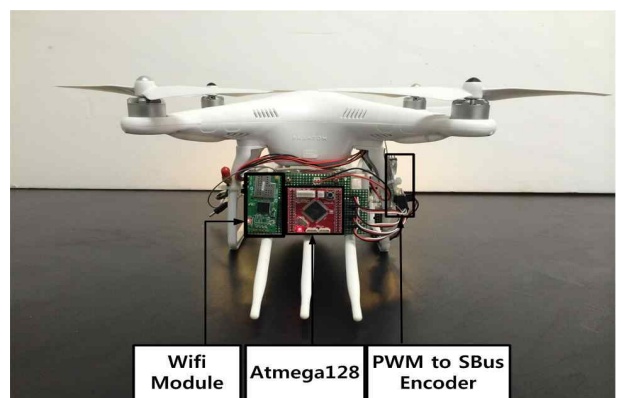
3.2 UAV 구조

UAV의 프레임과 모터는 DJI사의 Phantom2를 사용하였다. UAV의 자율적인 추적을 위하여 그림 4와 같이 제어기 및 기타 장치들을 장착하여 개조하였다. 마이크로 컨트롤러(Atmega128)는 서버 PC로부터 UAV의 움직임에 관한 패킷을 전송 받아 패킷에 따른 PWM신호를 PWM to SBus 인코더에 전송한다. UAV의 컨트롤러는 Bus신호를 입력받아 움직이기 때문에 PWM 신호를 Bus신호로 바꾸어 주는 PWM to SBus 인코더가 필요하다. 서버PC와 마이크로 컨트롤러 사이의 통신을 위해 WiFi 모듈을 장착하고, UGV의 마커를 인식하기 위해 IP카메라를 하단에 장착하였다. IP카메라의 영상이 원활하게 전달되도록 IP카메라와 공유기간의 통신은 유선으로 구성하였고 공유기 또한 UAV 하단에 장착하였다. 운용시간은 내장 배터리 1개 기준 20~25분 사용할 수 있지만 본 실험에서는 추적을 위한 장치들을 추가로 부착하여 약 15분 정도 비행이 가능하다.

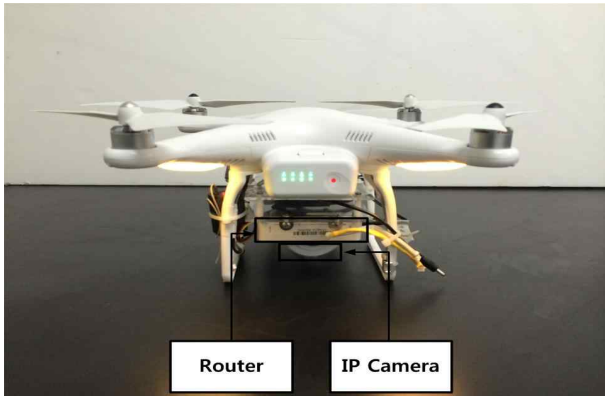
표 3. UAV의 사양

Table 3. Specifications of the UAV

	Except propeller	Include propeller
Length	285 mm	490 mm
Width	285 mm	490 mm
Height	180 mm	
Weight	2.6 kg	
Actuation time	10~15 min	



(a)



(b)

그림 4. UAV 구조: (a)전면부 (b)후면부

Fig. 4. Composition of UAV

(a)Front composition (b) Rear composition

4. 추적 방법

UAV가 UGV를 추적하는데 있어서 신뢰도를 높이기 위하여 마커 인식 방법을 사용한다. 마커 인식 알고리즘은 서버 PC에서 Visual Studio 기반의 프로그램에서 OpenCV 라이브러리를 이용하여 처리된다. 패턴 마커의 위치에 따라 4개의 자세 제어 값을 구하고 WiFi통신을 이용하여 전송한다.

UAV는 4개의 자세 제어 값인 롤(Roll), 피치(Pitch), 요우(Yaw), 높이(Height)로 움직인다. 그림 5.(a)와 같이 영상의 중심점이며 UAV의 중심점인 Q^c 와 패턴의 중심점이며 UGV의 중심점인 M^c 를 이용하여 위치 오차 e 를 구한다.

$$M^c = \begin{pmatrix} M_x^c \\ M_y^c \end{pmatrix} \quad Q^c = \begin{pmatrix} Q_x^c \\ Q_y^c \end{pmatrix} \quad (1)$$

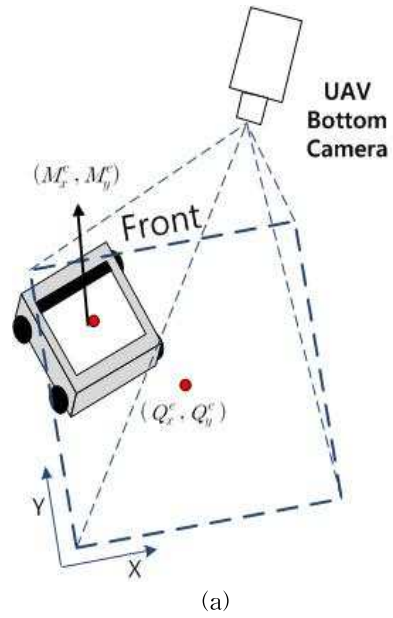
$$e = \begin{pmatrix} e_x \\ e_y \end{pmatrix} = M^c - Q^c$$

그림 5.(b)에서처럼 UAV를 기준으로 UGV의 방향이 뒤 틀린 각도를 구하기 위하여 전송된 영상을 전체 좌표로 정하고 x 축과 UGV의 각도차를 θ_m 으로 정의 한다. θ_m 에서 90° 를 빼주면 UAV와 UGV 사이 각도 θ_e 를 얻을 수 있다.

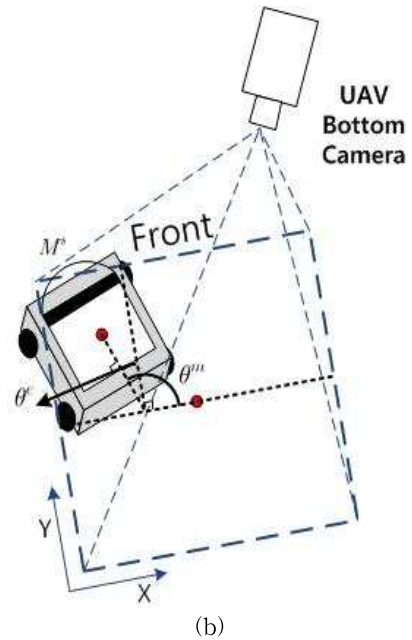
$$\theta_e = \theta_m - 90^\circ \quad (2)$$

마커의 상단 길이는 M^s 로 정의한다. M^s 는 UAV의 높이를 제어하기 위하여 사용된다. 실제 실험에서 약 2m 높이를 유지하며 추적할 수 있도록 사전 카메라 영상 실험을 통하여 마커와 UAV 사이 2m 거리가 존재할 때 마커 길이 값을 얻고 M^d 로 정의한다. 기준 마커의 길이 M^d 와 실제 영상에서 측정된 마커의 길이 M^s 의 오차 e_z 를 구한다.

$$e_z = M^d - M^s \quad (3)$$



(a)



(b)

그림 5. 마커 인식을 이용한 추적:

(a)Roll, Pitch (b)Yaw, Height

Fig. 5. UGV Tracking with UAV Collaboration

(a)Roll, Pitch (b)Yaw, Height

앞에서 구한 네 개의 변수들을 PD제어기를 이용하여 Q^m 을 구한다.

$$Q^m = \begin{pmatrix} Q_r^m \\ Q_p^m \\ Q_h^m \\ Q_y^m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_c + k_p e_x + k_d e_x' \\ P_c + k_p e_y + k_d e_y' \\ P_c - h_p e_z - h_d e_z' \\ P_c - k_p \theta_e - k_d \theta_e' \end{pmatrix} \quad (4)$$

롤, 피치, 높이, 요우 네 개의 자세 제어 값은 UAV에 패킷으로 전송되기 위하여 CH1~4로 정한다. 각 채널 값은 최소 62부터 최대 124까지의 범위를 가진다. 영상에 마커가 정중앙에 위치하고 미리 지정한 높이에 있다면 Q^m 의 4개 값이 모두 0이 되면서 기준 값인 93이 전송되고 UAV는 기존의 자리를 유지한다. 마커의 위치가 정중앙에서 벗어나면 Q^m 은 0이 아닌 값을 갖게 되고 기준 값에서 더하거나 빼 값을 전송한다. 채널 값의 증감에 따라 UAV의 이동 속도가 결정 되기 때문에 실험에서는 안전을 위하여 범위를 78~108으로 제한한다.

표 4. UAV의 전송 패킷

Table 4. Transmission packets of the UAV

FF	BB	CH1	CH2	CH3	CH4	P
Start Bits		78~108				Parity Bits
Parity Bit = $\sim((0xFF+0xBB+CH1+CH2+CH3+CH4)\&0xFF)$						

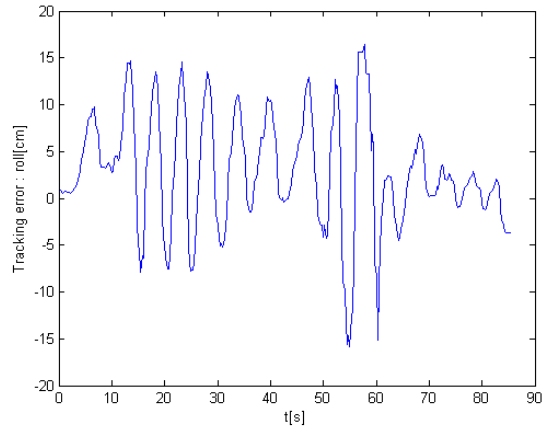
패킷은 표와 같다. 처음 시작 비트(Start Bit)인 FF, BB를 차례로 보내고 각 채널별 값을 순서대로 보낸다. 마지막 Parity Bit를 이용해 정확한 채널 값이 전송되었는지 검사한다. 마이크로 컨트롤러에서는 전송 받은 채널 제어값에 해당되는 PWM신호를 출력한다. 하지만 UAV의 컨트롤러는 Bus신호로 움직이므로 마이크로컨트롤러에서 출력되는 PWM신호를 인식하지 못한다. 따라서 마이크로컨트롤러에서 출력되는 주기 20ms의 PWM을 Bus신호로 바꾸어 주는 PWM to SBus 인코더를 사용하여 UAV의 컨트롤러에 Bus신호를 보낸다.

5. 실험 결과

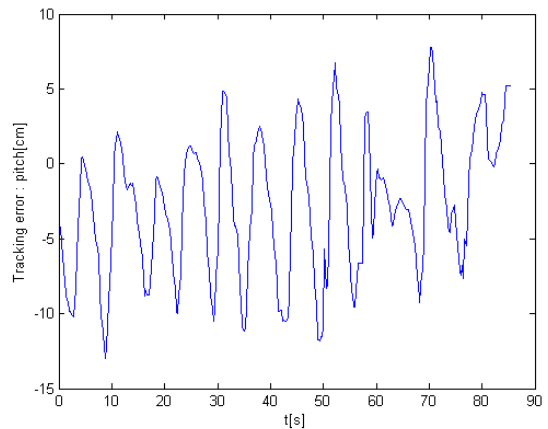
제안된 플랫폼을 검증하기 위해 제작한 UAV와 UGV를 이용하여 실험하였다. 그림 6은 UAV의 UGV 추적 중 각 자세 제어 값 롤, 피치, 높이를 거리 단위[cm]로 변환한 그래프이다. 각 제어 값은 식 (5)를 통해 구한다.

$$\begin{pmatrix} E_r \\ E_p \\ E_h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_p e_x + k_d e_x' \\ k_p e_y + k_d e_y' \\ h_p e_z - h_d e_z' \end{pmatrix} \quad (5)$$

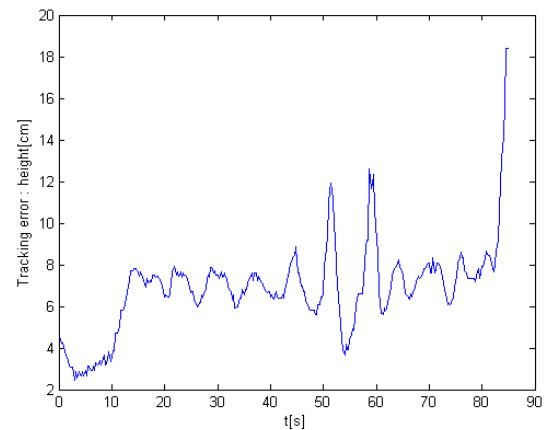
각 자세 제어 거리 값 롤은 $E_r = \pm 20 [cm]$, 피치 값은 $E_p = \pm 13 [cm]$, 높이 값은 $E_h = 0 \sim 18 [cm]$ 의 오차를 보인다. 이는 야외 환경을 고려할 때 비교적 안정적인 추적을 했다는 것으로 고려된다. 추적에는 영상을 사용하기 때문에 롤과 피치의 오차가 커지면 대각선으로 마커를 인식 하기 때문에 오차가 커지게 된다. 따라서, 실제 추적 중에는 UGV의 대각선 위에 UAV가 위치하며 추적한다. 또한, 야외 실험의 경우 바람의 영향을 UAV가 받기 때문에 오차가 커지지만 UAV의 추적은 문제없이 이루어지는 것을 그림 7에서 확인 할 수 있다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 추적 중 각 변수 : (a) 롤 (b) 피치 (c) 높이
Fig. 6. Each tracking value (a) roll (b) pitch (c) height

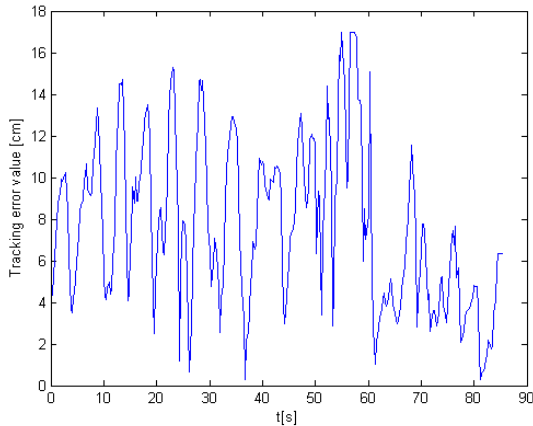


그림 7. 추적 중 오차 값
Fig. 7. Error value in tracking

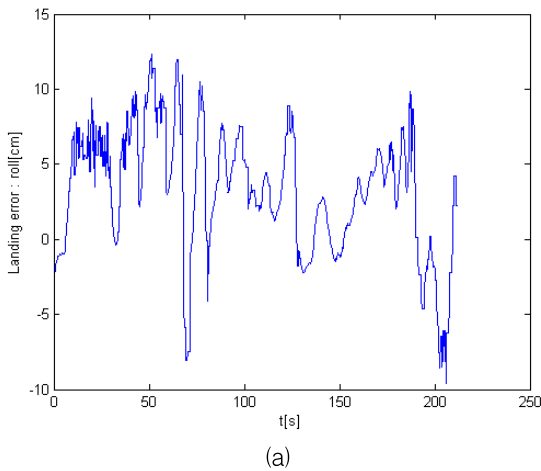
그림 7은 추적 중 오차 값 그래프이다. 오차 값 E_t 는 추적 중 에러 값이므로 롤과 피치에 대해 에러 값을 구하였다. E_t 는 식 (6)을 통해 구한다.

$$E_t = \sqrt{(E_r^2 + E_p^2)} \quad (6)$$

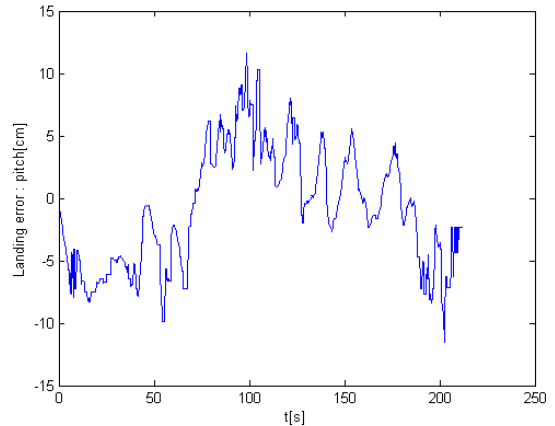
그림 8은 UAV가 UGV 상단에 착륙 할 때의 자세 제어 값 롤, 피치, 높이를 거리로 각각 환산한 그래프이다. 그림 8 (a)와 (b)의 롤, 피치 거리 값은 추적 중 거리 값에 비해 안정됨을 알 수 있다. 착륙 시에는 정지 되어 있는 UGV 상단의 마커를 인식하기 때문에 추적 할 때보다 거리 값 진동 범위가 줄어들고 착륙이 완료 되기 전에는 오차가 0에 가깝게 수렴하는 것을 알 수 있다. 그림 8 (c)의 그래프는 추적 중에 유지되는 높이 값을 유지하며 롤, 피치가 일정 오차 범위 내에 수렴하면 천천히 착륙하다 1[m] 높이에서 롤, 피치의 오차가 $\pm 1.5[cm]$ 내에 들어오면 빠르게 하강하여 착륙한다.

그림 9의 그래프는 식 (7)을 통해 구한 착륙 중의 오차 값 E_l 을 나타낸 것이다.

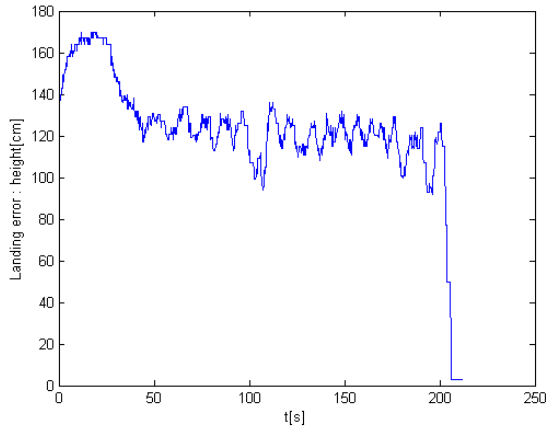
$$E_l = \sqrt{(E_r^2 + E_p^2 + E_h^2)} \quad (7)$$



(a)



(b)



(c)

그림 8. 착륙 중 각 변수 : (a) 롤 (b) 피치 (c) 높이
Fig. 8. Each landing value (a) roll (b) pitch (c) height

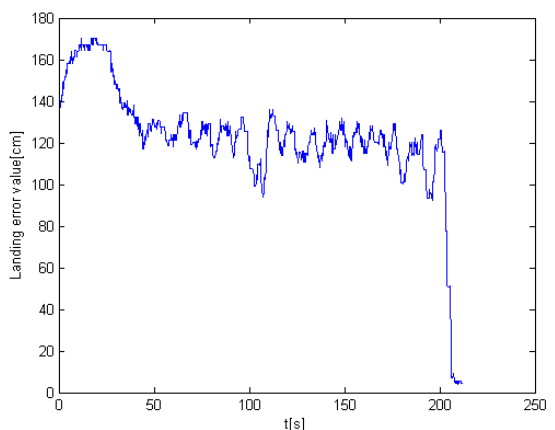


그림 9. 착륙 중 오차 값
Fig. 9. Error value in landing



그림 10. UAV의 GV 추적 실험
Fig. 10. Experimental tracking of UGV by UAV

착륙을 완료 하는 시점에서 오차 값이 0에 가깝게 수렴 하는 것을 볼 수 있다.

그림 10은 야외에서 UAV가 UGV를 추적하고 착륙하는 실험 결과이다. 영상은 최대 초당 30 fps 수신 할 수 있으나 통신 상태가 고르지 못할 경우 초당 20~25fps정도 유지된다. 추적 알고리즘의 샘플링(sampling) 시간은 0.25[s]으로 설정했다. 제안된 UAV와 UGV의 협업 연구 실험 결과는 동영상으로 [12]에 있다.

6. 결론

본 연구에서는 UGV와 함께 UAV가 운용되면서 원거리 영상 정보를 UGV 사용자에게 제공하는 플랫폼을 제안하였다. 결과적으로 UAV는 UGV를 추적하며 전방의 영상을 UGV에게 전달해 주고 사용자는 전달받은 넓은 영상으로 장애물 회피 혹은 앞으로 있을 상황을 예측하여 좀 더 안정적이고 계획적인 주행을 할 수 있다. UAV 단독으로 정찰 임무를 수행 할 경우 사용시간이 짧기 때문에 지속적인 정찰이 힘들지만 UGV와 함께 운용 될 경우 이러한 단점이 극복 가능하다. 또한 패턴 마커를 이용함으로써 외부의 빛이나 사물체에 영향을 적게 받아 신뢰도 높은 추종이 가능해진다. 본 논문에서 제안된 시스템은 UGV가 자동차로 활용될 경우 전방향 경로를 필요로 하는 특수 차량, 전 방향 영상 촬영을 필요로 하는 방송국 특수 차량, 군 지휘 차량등 여러 방면에 응용되어 활용이 가능할 것으로 예상된다.

References

- [1] Jaehong Lee, Changmin Lee and DaeEun Kim, "Attitude Control of Quadrotor with On-Board Visual Feature Projection System," *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2426-2431, Nov. 2013.
- [2] Fernando, H.C.T.E., De Silva, A.T.A., De Zoysa, M.D.C., Dilshan, K.A.D.C., Munasinghe, S.R., "Modelling, Simulation and Implementation of a Quadrotor UAV," *IEEE 8th International Conference on Industrial and Information Systems*, pp 207-212, Dec. 2013.
- [3] Markus Ryll, Heinrich H. Bulthoff, and Paolo Robuffo Giordano, "Modeling and Control of a Quadrotor UAV with Tilting Propellers," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp 4606-4613, May. 2012.
- [4] Angelica Torres Gaitan, Yolanda Bolea, "Modeling and Robust Attitude Control of a Quadrotor System," *2013 10th International Conference on Electrical Engineering, Computing Science and Automatic Control (CCE)*, pp 7-12, Oct. 2013.
- [5] Atheer L. Salih, M. Moghavvemi, Haider A. F. Mohamed and Khalaf Sallom Gaeid, "Modelling and PID Controller Design for a Quadrotor Unmanned Air Vehicle," *2010 IEEE International Conference Automation Quality and Testing Robotics (AQTR)*, pp 1-5, May. 2010.
- [6] Seungho Jeong and Seul Jung, "Design, Control, and Implementation of Small Quad-Rotor System Under Practical Limitation of Cost Effectiveness," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent System*, vol. 13, no. 4, pp 324-335, Dec. 2013.
- [7] Anastasia Razinkova, Byung-Jun Kang, Hyun-Chan Cho and Hong-Tae Jeon, "Constant Altitude Flight Control for Quadrotor UAVs with Dynamic Feedforward Compensation," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent System*, vol. 14, no. 1, pp 26-33, Mar. 2014.
- [8] M A Olivares-Mendez, P Campoy, I Mellado-Bataller and L Mejias, "See-and-avoid

quadcopter using fuzzy control optimized by cross-entropy," *WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence*, pp 1-7, Jun. 2012.

- [9] Jae-Young Choi and Sung-Gaun Kim, "Study on the Improved Target Tracking for the Collaborative Control of the UAV-UGV," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 19, no. 5, pp 450-456, May. 2013.
- [10] Cheng Hui, Chen Yousheng, Li Xiaokun and Wong Wing Shing, "Autonomous Takeoff, Tracking and Landing of a UAV on a Moving UGV Using Onboard Monocular Vision," *Chinese Control Conference*, pp 5895-5901, Jul. 2013.
- [11] Wei Li, Tianguang Zhang and Kolja Kuhnlenz, "A Vision-Guided Autonomous Quadrotor in An Air-Ground Multi-Robot System," *International Conference on Robotics and Automation*, pp 2980-2985, May. 2011.
- [12] <http://cafe.naver.com/isarku> PROJECTS>Video Clips (Cooperative UAV/UGV Platform for a Wide Range of Visual Information)

저 자 소 개



이재근(Jae-Keun Lee)
 2013년 : 경남대학교 전기공학과 졸업
 2013년~현재 : 동 대학교 대학원
 첨단공학과 석사 과정

관심분야 : 스웸 시스템, 지능제어&로봇, 디지털 신호처리, 영상처리
 E-mail : laughaway_@nate.com



정하민(Hahmin Jung)
 2009년 : 경남대학교 전기전자 공학부 졸업
 2011년 : 동 대학교 대학원 첨단공학과 석사
 2011년~현재 : 동 대학교 대학원 첨단공학과 박사과정

관심분야 : 스웸 시스템, 지능제어&로봇, 디지털 신호처리, 영상처리
 E-mail : zerofull@naver.com



김동현(Dong Hun Kim)
 2001년 : 한양대학교 전자공학과 (공학 박사)
 2001년~2003년 : 미국 듀크 대학교 연구원
 2003년~2004년 : 미국 보스턴 대학교 연구원
 2004년~2005년 : 일본 동경대학교 박사 후 과정

2012년~2013 : 영국 에식스대학교 방문교수
 2005년~현재 : 경남대학교 전기공학과 교수

관심분야 : 스웸 시스템, 이동로봇 경로계획, 지능 로봇 제어, 비선형 적응 제어
 Phone : +82-55-249-2629
 E-mail : dhkim@kyungnam.ac.kr
 Home Page : cafe.naver.com/isarku