UAV-UGV의 협업제어를 위한 향상된 Target Tracking에 관한 연구

Study on the Improved Target Tracking for the Collaborative Control of the UAV-UGV

최재영, 김성관*

(Jae-Young Choi¹ and Sung-Gaun Kim¹)

¹Department of Mechanical Engineering, Kongju National University

Abstract: This paper suggests the target tracking method improved for the collaboration of the quad rotor type UAV (Unmanned Aerial Vehicle) and omnidirectional Unmanned Ground Vehicle. If UAV shakes or UGV moves rapidly, the existing method generates a phenomenon that the tracking object loses the tracking target. To solve the problems, we propose an algorithm that can track continually when they lose the target. The proposed algorithm stores the vector of the landmark. And if the target was lost, the control signal was inputted so that the landmark could move continuously to the direction running out. Prior to the experiment, Proportional and integral control were used in 4 motors in order to calibrate the Heading value of the omnidirectional mobile robot. The landmark of UGV was recognized as the camera adhered to UAV and the target was traced through the proportional-integral-derivative control. Finally, the performance of the target tracking controller and proposed algorithm was evaluated through the experiment.

Keywords: collaborative control, UAV, UGV, target tracking

1. 서론

이동 로봇의 연구 분야는 아주 오래 전부터 연구되어왔고 사람이 수행하기 어렵거나 위험한 환경에서 많은 임무를 수행해 왔다. 최근 국내외에서는 군사용 로봇으로 견마로봇을 개발 및 운용하고 있으며 테러제압을 위해 무기를 장착하여 임무를 수행하거나, 방산능 능출이나 인간의 접근이 어려운 곳의 위험한 환경에서 인간을 대신하여 작업을 수행하는 특수목적용으로 이동로봇이 많이 사용되어 왔다. 하지만 최근에는 로봇이 수행해야 하는 임무와 종류 및 작업 환경이 한 가지에 국한되지 않고 다양해짐에 따라 요구되는 단일 로봇의 임무에 많은 부하가 생긴다[1].

이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)-UGV (Unmanned Ground Vehicle)의 협업제어에 관한 연구가 활발해 이루어지고 있다[2].

UAV-UGV의 협업은 크게 두 가지의 연구로 나뉜다. 첫 번째로 다수의 이동로봇(UGV)을 제어하기 위해 무인항공기(UAV)를 활용하는 방법이다. 지상에서만 이동하는 이동로봇은 시야가 지표면에 한정되어 있기 때문에 다수의 이동로봇을 제어 할 때 서로의 위치정보를 결정하기 어렵다. 하지만 공중에서 넓은 시야를 갖은 무인항공기를 함께 운용하면 이러한 단점을 보완하여 각각의 이동로봇이 경로를 찾거나 사각지대에 있는 장애물을 효과적으로 인지하고 빠르게 경로를 추정할 수 있는 장점이 있다. 또한 무인항공기에 장착된 카메라를 사용하면 여러 대의 이동로봇 편대를 보다 쉽고 정

확하게 위치 제어할 수 있어 환경에 따라 로봇들을 분할 또는 합치는 기술을 효과적으로 적용 할 수 있다[3,4].

두 번째는 협업을 통한 위치추정이다. 이동로봇이 임무를 수행할 때 미지의 환경에서 자신의 위치를 인식하는 것은 중요한 문제이다. 하지만 무인이동로봇은 자율주행 중에 발생하는 불확실성이 크기 때문에 정확한 위치를 추정하기 어렵거나 오랜 시간이 걸린다. 하지만 공중에서 무인항공기의 도움을 받으면 좀 더 빠르고 정확하게 위치추정을 할 수 있다[5,6].

UAV-UGV의 협업 기술은 각각의 로봇에 장점을 살리며 부족한 부분은 서로 보완하여 각자 임무를 수행했을 때 보다 빠르고 정확하게 임무를 수행할 뿐만 아니라 각각의 행동으로는 불가능했던 일들을 UAV-UGV의 협업제어를 통하여 극복 하는 것이 가능하다.

본 논문에서는 위에서 언급한 첫 번째 방법으로 무인항공기를 이동로봇의 외부 센서 격으로 사용하여 이중로봇의 강인한 목표 추적알고리즘을 제안한다.

제안된 알고리즘을 실험하기 위해 메카넘휠을 사용하여 전방향으로 이동이 자유로운 UGV를 직접 제작하였다. 그리고 UGV 위에 헬기가 이/착륙 할 수 있도록 Helipad를 설치하고 그 위에 UAV가 비전센서로 인식 할 수 있도록 랜드마크를 부착하였다. UAV는 자세 안정화가 되어 있고, 접근성이 쉬운 Parrot사의 AR Drone 쿼드로터형 UAV를 이용하여 Helipad위에 위치한 Target의 위치와 형태를 인식하여 추적하도록 하였다.

기존의 Target 추적 방법에서는 UAV의 움직임이 클 때, 추적 대상을 잃는 문제점이 있다. Target을 잃는 문제는 대부분 UGV가 갑자기 출발하거나 정지하는 등의 급격한 속도 변화

* 책임저자(Corresponding Author)

Manuscript received February 20, 2013 / revised March 10, 2013 / accepted March 15, 2013

최재영: 공주대학교 기계공학전공(choijae88@gmail.com)

김성관: 공주대학교 기계자동차공학부(kimsg@kongju.ac.kr)

그림 2. UAV-UGV의 전체 시스템 구성.

Fig. 2. UAV-UGV system configuration.

로 인하여 UAV에 큰 관성이 작용하기 때문이다[7]. 그 결과 추적에 대한 명령어는 제대로 입력이 되어도 Target을 놓치는 경우가 발생한다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 Target의 움직임에 대한 명령어를 임시로 비행제어컴퓨터의 메모리에 저장 후 추적대상을 놓치는 경우 놓치기 직전의 명령어를 불러와 UAV가 UGV를 계속해서 Tracking 할 수 있는 알고리즘을 설계하였다. 마지막으로 제안된 알고리즘을 실험을 통해 검증하였다.

II. UAV-UGV의 구성

본 연구에서 제시한 UAV-UGV 협업로봇의 구성은 그림 1과 같이 전방향(omnidirectional)으로 이동이 자유로운 Mecanum Wheel을 장착한 UGV와 쿼드콥터형 UAV로 구성되어 있으며, UGV는 임베디드 되어 움직이고 UAV는 UGV에 장착된 컴퓨터를 통하여 제어알고리즘과 영상처리, Target Tracking 등의 임무를 수행한다.

그림 1. 실험에 사용된 메카넘휠을 이용한 전방향 이동로봇.

Fig. 1. Omnidirectional robot used in experiment.

1. UGV (전방향 이동로봇)의 구성

메카넘휠 UGV는 모든 방향으로 방향전환 없이 이동이 가능하다. 그래서 복잡하고 좁은 공간에서 효율적으로 이동할 수 있으며, 쿼드콥터형 UAV는 Roll, Pitch방향으로 평행이동하기 때문에 일반적인 차륜형이나 미끄럼형태의 바퀴들과 협업할 경우 움직임에 많은 제약을 받는다. 그래서 UGV에 메카넘휠을 장착하여 UAV가 이동하는 방향으로 유연하게 협업을 할 수 있도록 하였다. 하지만 4개의 바퀴에 벡터 합으로 이동하는 특성 때문에 고르지 못한 바닥을 주행할 경우 바닥과 바퀴가 닿지 않는 현상으로 인해 상당한 주행오차가 발생한다. 그래서 우리 연구실은 고르지 못한 바닥을 주행할 때 미끄러짐을 최소화 하기 위하여 각각의 바퀴마다 독립스프링을 장착하여 지면과 바퀴사이의 접지력을 향상시켰다. 메카넘휠 UGV의 이동방향은 4개의 바퀴의 회전 방향에 따라 결정이 된다. 표 1은 바퀴의 회전방향에 따른 로봇의 진행 방향특성 나타내었다.

2. Mecanum Wheel 로봇의 운동학

본 논문에 사용된 메카넘휠 로봇의 구조는 그림 3과 같다. 이 메카넘휠 로봇은 4개의 바퀴로 구성되어 있으며, 바퀴마다 45도 각도의 롤러가 장착되어 있다[8].

v_i 는 4개 바퀴의 속도, r_i 는 롤러의 속도, V_x, V_y, ω 는 로봇 중심의 이동속도와 각속도이다.

아래와 같이 로봇 중심과 바퀴의 수직, 수평거리와 롤러와 바퀴의 진행방향의 각도를 정의 한다.

표 1. 바퀴의 전/후진에 따른 로봇의 진행 방향.

Table 1. The direction of the robot according to the wheel direction.

Direction	Wheel_1	Wheel_2	Wheel_3	Wheel_4
↑	Forward	Forward	Forward	Forward
↓	Backward	Backward	Backward	Backward
←	Forward	Backward	Backward	Forward
→	Backward	Forward	Forward	Backward
↖	-	Forward	Forward	-
↗	Forward	-	-	Forward
↙	Backward	-	-	Backward
↘	-	Backward	Backward	-

그림 3. 메카넴휠을 이용한 전방향 이동로봇의 운동학.
Fig. 3. Omnidirectional mecanum wheel robot kinematics.

$$\begin{aligned}
 i &= 1, 2, 3, 4 \\
 a_i &= \{a, a, -a, -a\} \\
 b_i &= \{b, -b, b, -b\} \\
 \alpha_i &= \{\pi/4, -\pi/4, \pi/4, \pi/4\} \\
 V_{XY} &= (V_X, V_Y)^T
 \end{aligned} \quad (1)$$

i번 바퀴($i=1,2,3,4$)를 로봇 좌표계에 대해 x, y 축 성분으로 분해하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 v_i + rv_i \cos(\alpha_i) &= V_X - b_i \omega \\
 rv_i \sin(\alpha_i) &= V_Y + a_i \omega
 \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)을 정리하면 다음과 같다.

$$v_i = V_X - b\omega - \frac{V_Y + a_i \omega}{\tan(\alpha_i)} \quad (3)$$

식 (3)에서 $\tan(\alpha_i) = \{1, -1, -1, 1\}$ 값을 가지므로 네 바퀴의 속도에 대하여 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned}
 v_1 &= V_X - V_Y - a\omega - b\omega, \\
 v_2 &= V_X + V_Y + a\omega + b\omega, \\
 v_3 &= V_X + V_Y - a\omega - b\omega, \\
 v_4 &= V_X - V_Y + a\omega + b\omega,
 \end{aligned} \quad (4)$$

이를 역기구학 행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -a-b \\ 1 & 1 & a+b \\ 1 & 1 & -a-b \\ 1 & -1 & a+b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \\ \omega \end{bmatrix} \quad (5)$$

3. 쿼드콥터형 UAV

연구에 사용된 쿼드콥터는 현재 연구용으로 많이 사용되는 Parrot의 AR Drone을 사용하였다. 이 쿼드콥터는 on-board 형태의 IMU(관성항법)센서, 전면카메라, 배면카메라로 이루어져 있다. AR Drone은 Wi-Fi 무선통신을 이용하여 스마트폰이나 컴퓨터로 제어가 가능하며 Roll, Pitch, Yaw, altitude에 대한 자세제어기가 장착되어 있어 컨트롤이 용이하다.

쿼드콥터형 무인항공기는 그림 4와 같이 4개의 로터회전

그림 4. AR drone의 각 로터에 따른 움직임.

Fig. 4. AR drone movements.

표 2. 실험을 통해 측정된 평균 속도값.

Table 2. Averaged velocity measured value.

	Control Signal s				
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
$v(m/s)$	0.4044	0.6284	1.4427	1.7587	2.2094
$\sigma_v(m/s)$	0.096	0.226	0.070	0.126	0.165
$\theta(deg)$	1.4654	2.9025	4.1227	5.7457	7.4496
$\sigma_\theta(deg)$	0.455	0.593	0.482	0.552	0.921

토크(τ_{1-4})에 따라 Roll, Yaw, Pitch, Throttle을 제어 할 수 있다. 하지만 AR Drone은 사용자가 모터의 토크를 직접 제어하지 않고 조종기 입력신호를 받아 방향이 제어가 되며, 이 신호에 대한 모터의 파라미터는 제공되지 않는다. 그래서 입력신호(control signal s)에 대한 기체의 속도를 실험을 통해 구하였고, 속도측정은 UAV에 장착되어있는 관성항법센서를 이용하였다. 그리고 각각의 신호마다 5번의 실험을 반복하여 표 2와 같이 UAV 모델의 평균속도를 구하였다[9].

Maximum Pitch $\theta_{max} \square 30^\circ$ 로 설정하고 control signal s는 최대 0.25로 설정하였다.

위의 표를 이용하여 control signal에 따른 속도를 식 (6)와 같이 선형 방정식을 만들었다.

$$v = 0.2967 \cdot s \cdot \theta_{max} \quad (6)$$

III. UAV-UGV 제어

1. UGV의 Heading 오차 보정

메카넴휠 로봇은 4개 바퀴의 전진, 후진 방향과 속도에 따라 로봇의 이동방향이 결정된다. 그렇기 때문에 각각의 바퀴가 정확한 속도와 방향으로 회전해야 로봇의 미끄러짐을 최소화 할 수 있다. 바퀴의 속력을 제어하고 UGV의 이동속도를 구하기 위해 메카넴휠 바퀴에 각각 엔코더를 부착하여 회전수 및 속력을 측정하였다. 그리고 측정된 데이터를 이용하여 MATLAB/ System Identification Tool과 PID Tuner를 이용하여 모터의 제어기 설계하고 Gain 값을 구하였다. 마지막으로 NI-cRIO Main Controller와 LabVIEW 소프트웨어를 통하여 각

그림 5. 모터 PI 제어기 설계.

Fig. 5. Motor PI controller.

(a) Straight driving.

(b) Diagonal driving.

(c) 90° direction driving.

그림 6. UGV의 heading 오차 보정.

Fig. 6. Heading error correction of UGV.

바퀴를 RPM을 독립적으로 제어 하였다.

메카넘휠 로봇의 미끄러짐 현상은 로봇에 장착된 IMU센서의 Yaw 값을 이용해서 측정할 수 있다. 메카넘휠 로봇이 평행이동 할 때 Heading 값이 변한다는 것은 미끄러짐이 발생하거나 각각의 바퀴 RPM이 다르다는 것을 의미한다. 그림 5의 PI제어 결과를 이용하여 컨트롤 전과 후의 Heading 값의 오차를 실험 하였다. 그 결과 그림 6과 같이 보정 전에는 최대 $\pm 25^\circ$ 의 오차범위를 갖는다. 하지만 보정후의 오차는 $\pm 5^\circ$ 이내로 제어가 되어 방향 오차가 상당히 감소된 것을 볼 수 있다. 그리고 보정후의 오차는 바닥과 바퀴의 미끄러짐으로 인하여 발생하는 것으로 사료된다.

2. Target Tracking 제어

비전 센서를 이용하여 Target과 UAV의 실제 거리를 측정하기 위해서 그림 7과 같은 기하학적 관계로부터 위치를 구하였다.

그림 7. 높이에 따른 실제 거리 측정.

Fig. 7. Real distance according to the height.

표 3. 실제거리 변환 실험.

Table 3. Real distance transform experiment.

Altitude (m)	Theoretical Value (m)	Experimental Measured (m)	Error (m)
1.3	0.36	0.41	0.05
1.5	0.23	0.26	0.03
1.7	0.41	0.54	0.04

실제 비전 센서로부터 얻어진 상대적 위치(174*144pixel)와 초음파 센서로 얻어진 고도(h)를 이용하여 Target과 UAV의 실제거리를 실험을 통하여 구하였다. 실제 사용될 1.5m범위의 고도부근을 고려하여 표 3과 같은 결과를 얻었다. 또한 실험 결과를 이용하여 픽셀거리를 실제거리로 환산하기 위한 환산계수(x_{sf}, y_{sf})를 구하여 식 (7)과 같은 1차 형태의 식으로 나타내었다. 도출된 결과 식을 이용하여 표 3과 같이 이론값과 실험값의 오차를 비교분석 하였고 그 결과 최대 0.05m 최소 0.03m의 거리오차가 발생하였음을 볼 수 있었고, 1.5m높이에서 약 2m²범위에서 Target을 추적하기 때문에 허용 가능한 오차범위라고 할 수 있다.

$$X = X_p \cdot x_{sf} \cdot h \quad (7)$$

$$Y = Y_p \cdot y_{sf} \cdot h$$

$$x_{sf} = 0.00509048, \quad y_{sf} = 0.0035714$$

Vision Camera를 이용한 Target Tracking을 위해 LabVIEW/Vision Development Toolkit을 사용하여 640x320 해상도의 AR Drone의 영상정보를 취득했다. 그리고 Detect Ellipses.vi 함수를 사용하여 타원형 Target의 x, y 평면에서 위치와 반지름을 추출했다.

UAV가 평면에서 이동하는 UGV를 Tracking하기 위해 그림 8과 식 (9)과 같이 원점에서부터 떨어진 거리를 상대벡터 오차(err)로 정의하였고 Tracking에서 가장 중요한 Roll, Pitch 값은 PID제어를 적용하여 빠르게 Tracking 할 수 있도록 하였다. 그리고 PID제어의 결과값인 조작변수(u)와 θ 값을 이용하여 식 (10)과 같이 각각 Roll_signal과 Pitch_signal 값에 대입하여 UAV에 입력신호를 전달하여 제어하였다.

$$err_i = \sqrt{x_{err}^2 + y_{err}^2} \quad (8)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y_{err}}{x_{err}}$$

그림 8. Target tracking을 위한 에러 및 변수 정의.
Fig. 8. Error and variable definitions.

$$u = Kp(err_i) + Ki \int (err_i) dt + Kd \frac{(err_i)}{dt} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} Pitch_signal_{input} &= \sin \theta * u \\ Roll_signal_{input} &= \cos \theta * u \end{aligned} \quad (10)$$

제어의 복잡함을 감소시키기 위하여 고도(T)와 Heading(Ψ_{err}) 값은 식 (11), (12)와 같이 단순 피드백 제어를 이용하여 제어하였다.

$$\begin{aligned} h_{err} &= 2m - h(m) \\ T_{input} &= h_{err}(m/s) \\ 1.3m < h_{err(m)} < 1.7m \\ \psi_{err} &= 270^\circ - \theta_{Target}(\circ) \\ \psi_{input} &= -\psi_{err}(\circ/s) \\ 268^\circ < \psi_{err}(\circ) < 272^\circ \end{aligned} \quad (11)$$

고도 오차(h_{err})는 $\pm 2m$, Heading 값 오차(Ψ_{err})는 $\pm 2^\circ$ 이내에서 제어 되도록 설계 하였다.

UAV가 Target을 놓치는 이유는 UGV의 갑작스러운 속도변화로 인한 UAV의 관성 때문이다. 그 결과 Tracking에 대한 올바른 값이 입력이 되어도 Target을 정상적으로 Tracking 하지 못하고 놓치게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 그림 9는 본 논문에서 제안된 향상된 Target Tracking 알고리즘을 간략히 나타낸다. 식 (8)에서 구한 UAV에서 측정된 UGV의 상태벡터(err) 값을 초당 30개씩 비행제어 컴퓨터의 Data

그림 9. 향상된 target tracking 알고리즘.
Fig. 9. Improved target tracking algorithm.

Storage에 저장하도록 하고 가장 최근에 저장된 값(Data_3)을 제어기 입력에 전달하여 UGV를 추적하도록 하였다. 그리고 UAV가 UGV Target을 놓치는 경우 놓치기 직전의 값(Data_2)을 Data Storage에서 불러와 제어기 입력에 전달하여 놓친 UGV를 추적하도록 하였다. 놓친 UGV의 추적이 완료되면 다시 최근 상태벡터값을 이용하여 추적하였다.

IV. 실험 결과

그림 10(a)는 UAV가 1.5m의 높이에서 정지상태의 Target을 Tracking한 결과이다. 그리고 그림 10(b)는 호버링 중에 Target을 중심으로 UAV가 벗어난 거리를 나타낸 것이다. 호버링 상태에서는 Target 중심으로 반경 0.2m 이내의 범위에서 제어가 되었다.

그림 11은 갑작스러운 속도변화나 외부의 힘에 의해 UAV가 Target을 잃었을 경우 제안된 알고리즘을 검증하기 위한 실험이다. Target이 UAV의 Pitch, Roll 방향으로 빠르게 이동하여 추적범위를 벗어난 경우에는 Error 값을 측정할 수 없으므로 0으로 표시가 되며 이때 Pitch, Roll의 입력 Control Signal 값이 0.3과 -0.3의 범위 내에서 UGV Target이 없어진 방향으로 그림 11(b), (d)와 같이 UAV로 입력되는 것을 볼 수 있다. 또한 Target을 잃고 난 뒤에 다시 정상적으로 Tracking이 되어 상황에 맞는 적당한 Signal이 입력되는 모습을 보이며 제시된 알고리즘의 타당성을 검증할 수 있었다.

그림 12는 UAV와 UGV의 협업제어를 위한 Target Tracking 결과를 나타낸 것이다. Target을 부착한 UGV가 $\pm 0.4m/s$ 범위 내에서 임의의 방향으로 가속, 감속, 등속운동을 하며 Tracking 성능을 검증하였다. 먼저 그림 12(a)는 등속도 운동과 가속도 운동에 따른 Target과 UAV의 오차 반경을 나타낸 것이다. 등속도 운동에서는 반경 0.2m 내의 오차로 호버링 상태와 비슷한 결과를 보였다. 그리고 감속, 가속 구간에서는 반경 0.4m 이내에서 제어되어 속도변화에도 비교적 잘 제어되었다. 또한 그림 12(b), (c)는 Target Tracking중에 UAV와 UGV의 속도변화를 나타낸 그래프로 UGV가 등속도 운동을 할 경우 UAV는 전, 후진을 반복하여 UGV를 Tracking 하였고 UGV가 가속도 운동을 할 때는 UAV도 감속과 가속운동을 하며 Tracking을 하는 모습을 보였다.

그림 10. 정지상태의 UGV tracking 결과.
Fig. 10. UGV tracking result of the state of stop.

그림 11. Target을 잃은 상황의 tracking 결과.

Fig. 11. Tracking result of the situation where it loses the target.

그림 12. Target tracking result.

Fig. 12. Target tracking result.

V. 결론

본 논문은 UAV-UGV의 협업을 위해 강인한 Tracking 알고리즘을 제안하였고 제안된 알고리즘을 실험을 통하여 증명하였다. 이를 위해서 기존의 차륜형이나 미끄럼 바퀴보다 이동의 자유도가 높아 UAV와의 협업에서 장점을 갖는 전방향 UGV를 제작하였고 상용 플랫폼 AR Drone UAV를 이용하였다. 실험에 사용된 메카넘휠 UGV는 주행 중 모터의 속도오차로 인한 Heading 오차를 보정해 주기 위해 각각의 모터에 PI제어기를 설계하였다. 그리고 UAV가 전방향으로 이동하는 UGV Target을 Tracking 하기 위해 UAV의 입력 Signal에 대한 속도의 특성을 모델링 하였다. 제안된 강인한 Tracking 알고리즘은 UGV가 빠르게 이동 하여 UAV가 Target을 놓친 경우 UGV가 이동했던 방향으로 UAV가 이동할 수 있도록 Control Signal을 입력 해주었고, 그 결과 등속운동에서는 Target의 반경 0.2m, 가속운동에서는 0.5m 반경 내에서 제어가 되었다. 또한 Target을 잃은 상황에도 UGV와 계속 협업미션을 수행하는 결과를 도출하였다.

본 시스템은 UGV가 빠르게 움직이거나 UAV의 움직임이 심하여 Target을 잃었을 경우에도 강인하게 Tracking 할 수 있어 향후 실내에서의 UAV와 UGV의 협업에서 유용하게 사용될 것으로 사료된다. 하지만 Tracking시에 오차가 0으로 수렴하지 않고 계속 진동하는 경향이 나타났다. 이는 UAV모델의 부정확성과 비전센서의 영상처리 속도가 비교적 느리기 때문으로 사료되어 향후 UAV의 정확한 모델링과 영상처리 속도를 향상시키는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] S.-E. Yu and D.-E. Kim, "Air-ground cooperating robots: applications and challenges," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 16, no. 2, pp. 101-106, Feb. 2010.
- [2] J. S. Jeong, Y. W. Lim, S. H. Kang, and D. H. Kim, "Cooperation of heterogeneous robot team for localization and map building," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 17, no. 2, pp. 102-107, Feb. 2011.
- [3] M. Saska, T. Krajník, and L. Preucil, "Cooperative μ UAV-UGV autonomous indoor surveillance," *Proc. of the 9th International Multi-Conference on Systems, Signals and Devices*, vol. 1, pp. 141-146, Mar. 2012.
- [4] N. Mathews, A. L. Christensen, R. O'Grady, and M. Dorigo, "Spatially targeted communication and self-assembly," *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2678-2679, Oct. 2012.
- [5] N. Frietsch, O. Meister, C. Schlaile, and G. F. Trommer, "Teaming of an UGV with a VTOL-UAV in urban environments," *Position, Location and Navigation Symposium, 2008 IEEE/ION*, pp. 1278-1285, May 2008.
- [6] J.-H. Kim, D.-W. Lee, K.-R. Cho, S.-Y. Jo, J.-H. Kim, and D.-I. Han, "Vision based estimation of 3-D position of target for target following guidance/control of UAV," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 14, no. 12, pp. 1205-1211, Dec. 2008.
- [7] M.-G. Yoo and S.-K. Hong, "Target tracking control of a quadrotor UAV using vision sensor," *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 40, no. 2, pp.

118-128, Feb. 2012.

- [8] J. J. Park, S. D. Kim, J. M. Kim, and S. S. Kim, "Driving control of mobile robot with mecanum wheel using fuzzy inference system," *International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 2519-2523, Oct. 2010.
- [9] P.-J. Bristeau, F. Callou, D. Vissière, and N. Petit, "The navigation and control technology inside the AR.Drone micro UAV," *Proc. of the 18th IFAC World Congress*, pp. 1477-1484, Aug. 2011.

최 재 영

2011년 공주대학교 기계자동차 공학부 기계공학전공 졸업. 2012년~현재 공주대학교 대학원 기계공학전공 석사과정 재학중. 관심분야는 이동로봇의 위치추정, 협업제어.

김 성 관

1992년 KAIST 기계공학과(공학사). 1995년 KAIST 자동화 및 설계 공학과(공학석사). 2003년 GIST 기전 공학과 (공학박사). 2005년~현재 공주 대학교 기계자동차공학부 교수. 관심 분야는 지능제어, 지능형 기전시스템, 로봇틱스, 분자동역학.