

UAV 기반 UGV 추적 및 GUI를 통한 무인 이동체 모니터링 시스템

이주현, 이재복, 김선우
한양대학교 융합전자공학과

{psorstroll, ok7393, remero}@hanyang.ac.kr

Ground Vehicle Tracking System using UAVs and GUI monitoring system

Joohyun Lee, Jaebok Lee, and Sunwoo Kim

Department of Electronic Engineering, Hanyang University

요약

본 논문에서는 군집 UAV(unmanned aerial vehicle)를 이용한 UGV(unmanned ground vehicle) 추적 시스템 및 무인 이동체 모니터링 시스템을 제안한다. UAV는 고정 앵커를 이용하여 자기 자신의 위치를 측위하고 UGV 간 거리측정을 지속적으로 반복한다. 각 UAV는 측위 좌표와 거리 측정값을 서버에 전송하고 서버는 수신받은 데이터를 바탕으로 UGV의 좌표를 측위하고 UAV들이 UGV 좌표를 중심으로 정N각형 편대를 형성하도록 각 UAV들이 이동해야 할 좌표를 송신한다. UAV는 서버로부터 전달받은 좌표로 비행하며 추적 시스템은 이 과정을 지속적으로 반복한다. 추적 시스템을 이용한 UGV 측위 성능과 고정 앵커를 이용한 UGV 측위 성능을 실험을 통해 비교하여 추적 시스템의 성능을 검증한다.

I. 서론

UAV(unmanned aerial vehicle)는 이동성과 유연성을 바탕으로 사람이 수행하기 힘든 작업을 대신 수행할 수 있도록 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있다 [1, 2]. [1]의 논문은 UAV에 LiDAR(light detection and ranging) 센서를 탑재하여 특정 지역을 매핑하는 방법을 제안하였다. [2]의 논문에서는 UAV에 카메라를 탑재하여 UGV(unmanned ground vehicle)를 추적하는 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 UAV 기반 UGV 추적 및 GUI를 통한 무인 이동체 모니터링 시스템을 제안한다. 다수의 UAV는 무선 신호를 기반으로 UGV를 측위 및 추적하며 UAV와 UGV를 GUI를 통해 모니터링할 수 있다. 시스템 검증을 위해 UAV로는 Crazyflie 2.1을 사용하고 UGV로는 ROS(robot operating system) 기반의 이동체를 사용하여 실제환경에서 실험을 진행하였다 [3, 4]. UAV로 측위한 UGV 좌표와 실제 UGV 좌표와의 RMSE(root mean square error)를 통해 추적 시스템의 성능을 검증한다.

II. 추적 시스템

본 연구에서는 그림 1과 같이 UAV 기반 UGV 추적 시스템을 구성하였다. 다수의 UAV가 군집 비행하여 UGV를 추적하는 시스템으로 군집 UAV는 UGV를 중심으로 정N각형 편대를 유지하면서 UGV를 추적한다. 시스템에 사용되는 UAV는 고정 앵커에서 송신하는 무선 신호를 받아 TDOA(time difference of arrival) 알고리즘으로 자기 자신의 위치를 측위하고 TWR(two way ranging) 알고리즘을 이용하여 UGV와의 거리를 측정하며 이 과정은 온보드 내에서 반복 수행된다. 각 UAV는 자기 자신의 위치 좌표와 거리 측정값을 서버로 전송하며 서버는 수신된 데이터를 이용하여 다변측량 알고리즘을 통해 UGV의 위치를 측위한다. TDOA, TWR과 다변 측량 알고리즘은 UWB(ultra wide band) 무선 신호를 이용하여 수행된다 [5, 6].

서버에서는 측위한 UGV의 좌표를 기반으로 각 UAV에게 이동해야 할 위치를 전송하여 군집 UAV가 UGV 좌표를 중심으로 정N각형 모양을 형성하도록 명령하고 이때 N은 추적 시스템에 사용된 UAV의 개수를 나타낸다. 시간 t에서 $\mathbf{g}_t = [x_{g,t}, y_{g,t}, z_{g,t}]^T$ 는 측위한 UGV의 위치 벡터, $\mathbf{u}_t^i = [x_{u,t}^i, y_{u,t}^i, z_{u,t}^i]^T$ 는 i 번째 UAV의 위치 벡터, l은 UAV 배치를 결정하는 정N각형 모양의 중심으로부터 꼭짓점까지의 길이를 나타낼 때 서버에서 송신하는 각 UAV의 다음 좌표는 아래와 같이 표현된다.

$$\mathbf{u}_t^i = \begin{bmatrix} x_{g,t} + l \times \cos(360/N \times i) \\ y_{g,t} + l \times \sin(360/N \times i) \\ z_{u,t}^i \end{bmatrix}. \quad (1)$$

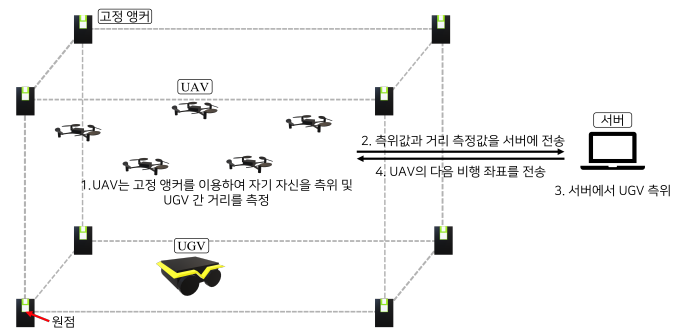


그림 1 UAV 기반 UGV 추적 시스템 구조

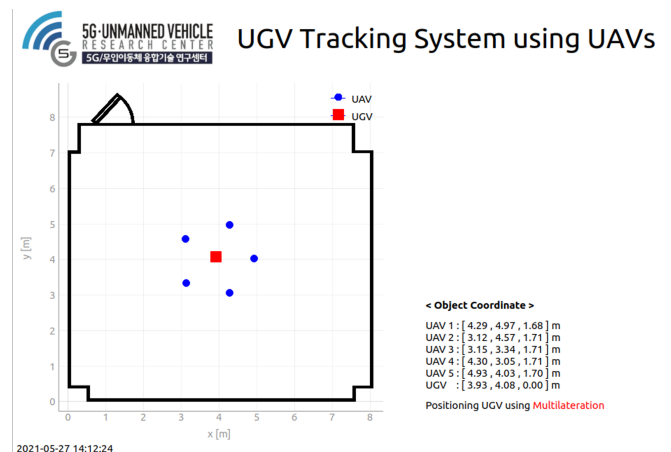


그림 2 UAV와 UGV의 위치를 확인할 수 있는 추적 모니터링 시스템 GUI

추적 시스템은 사용자가 설정한 t_{\max} 초 동안 언급한 과정을 반복한다. UAV, UGV의 위치 좌표와 군집 UAV가 이루고 있는 정N각형 형태는 그림 2와 같이 GUI 모니터링 시스템으로 확인이 가능하다. GUI 내 왼쪽에 위치한 지도에서 UAV와 UGV의 위치가 각각 파란점과 빨간 네모 모양으로 표시되어 실시간으로 업데이트되고, 오른쪽에는 각 로봇들의 실시간 좌표가 업데이트된다.

III. 실험 및 결과

본 실험에서는 UAV로는 그림 3 (a)의 Crazyflie 2.1이 사용되었고[3] UGV로는 그림 3 (b)의 Clearpath Jackal이 사용되었다[4]. Crazyflie 2.1은 대각선 직경이 92 mm인 작은 쿼드콥터로 실내에서 비행이 가능한

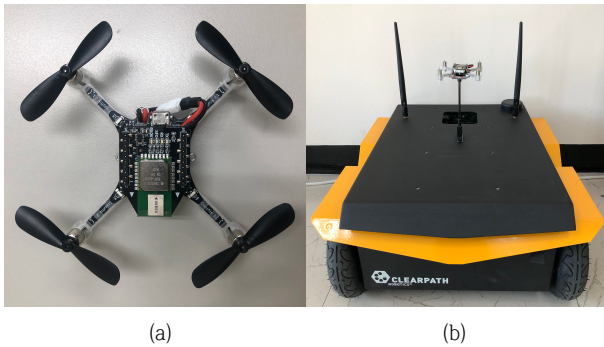


그림 3. 추적 시스템에 사용된 로봇 (a) Crazyflie 2.1, (b) Clearpath Jackal

UAV이며 UWB 통신을 위해 Decawave DWM 1000 모듈이 탑재되어 있다. 마이크로컨트롤러는 168 MHz CortexM4가 탑재되어 있어 높은 연산 능력으로 온보드에서 자기 자신의 위치를 연산할 수 있다. Clearpath Jackal은 Ubuntu 18.04 PC가 내장돼 있고 ROS를 이용하여 제어가 가능하다. UWB 통신을 위해 Jackal 위에 Crazyflie 2.1을 부착하였다.

제안하는 추적 시스템인 UAV 기반 UGV 추적 성능을 검증하기 위하여 비교군으로 고정 앵커를 이용한 UGV 추적 실험을 같이 진행하여 측위 오차 RMSE를 비교하였다. 진행한 실험은 UGV가 정지 상태일 때 i)UAV를 이용한 UGV 측위 실험, ii)고정 앵커를 이용한 UGV 측위 실험, 그리고 UGV가 정사각형 동선으로 주행할 때 iii)UAV를 이용한 UGV 측위 실험, vi)고정 앵커를 이용한 UGV 측위 실험으로 총 4 가지이다. 실험을 위해 $8\text{ m} \times 8\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ 크기의 공간을 구성하였으며 원점의 위치는 그림 1과 같이 설정하였다. UGV가 정지해 있는 경우에는 $[4\text{ m}, 4\text{ m}, 0\text{ m}]$ 좌표에 위치해 있고 주행하는 경우에는 $[3\text{ m}, 3\text{ m}, 0\text{ m}]$ 에서 $+x$ 축 방향으로 출발하여 한 변의 길이가 2 m 인 정사각형 모양의 경로를 따라 주행 후 다시 제자리로 돌아온다. UAV는 총 5 대가 사용되었으며($N=5$) 이륙 전 초기 위치로 UGV를 중심으로 정오각형 형태를 이루도록 하였다. UGV가 정지한 경우에 UAV는 초기 위치에서 1.7 m 높이로 이륙하여 정지 비행하고 UGV가 이동하는 경우에는 1.7 m 높이로 이륙 후 UGV 따라 추적하게 된다. 고정 앵커를 이용한 UGV 측위 실험 iii), vi)은 UAV 대신 고정 앵커를 사용하며 나머지 실험 방법은 i), ii) 와 동일하며 고정 앵커는 그림 1과 같이 8대가 실험 환경 모서리에 설치되어 있다.

실험 i)~vi)의 결과는 그림 4와 표 1에 나와 있다. 그림 4는 iii)과 vi)실험에서 주행하는 UGV를 추적한 동선과 실제 이동 경로를 나타낸 그래프이고 표 1에는 각 실험에 대하여 실제 UGV 좌표와 측위한 UGV 좌표와의 오차 RMSE를 표시하였다. 모든 UGV 상태에 대하여 UAV보다 고정 앵커를 사용한 경우에 측위 오차의 RMSE가 약 2 cm 더 낮게 측정되었다. 이는 UGV를 측위하기 위하여 기준으로 사용되는 앵커가 고정 앵커의 경우엔 위치가 고정되어 있어 정확한 위치를 알고 있는 반면, UAV의 경우엔 공중에서 비행 중인 UAV의 측정된 좌표를 이용해야하며, 이 때, 측정된 UAV의 좌표에는 측위 오차가 포함되어 있어 결과적으로 UGV 측위 정확도를 하락시킨다. 이러한 단점이 존재하지만 UGV가 정지한 경우에 측위 성능 차이는 1.8 cm , UGV가 이동하는 경우에 측위 성능 차이는 0.69 cm 수준임을 확인하였고, 이를 통해 UAV를 이용한 측위 및 추적 시스템이 유효함을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 UAV 기반 UGV 추적 및 GUI 모니터링 시스템을 제안한다. 추적 시스템은 군집 UAV를 이용하여 UGV를 측위하고 정N각형 편대를 유지하면서 UGV를 추적하며 UAV와 UGV의 실시간 좌표는 GUI를 통해 실시간으로 확인이 가능하다. 제안한 추적 시스템과 고정 앵커를 이용한 UGV 측위 성능을 비교하는 실험을 진행하였고 실험 결과, 제안한 추적 시스템과 고정 앵커를 이용한 UGV 측위 성능 차이는 2 cm 미만인 것을 확인하였다. 이를 통해 제안하는 UAV 기반 UGV 추적 시스템이

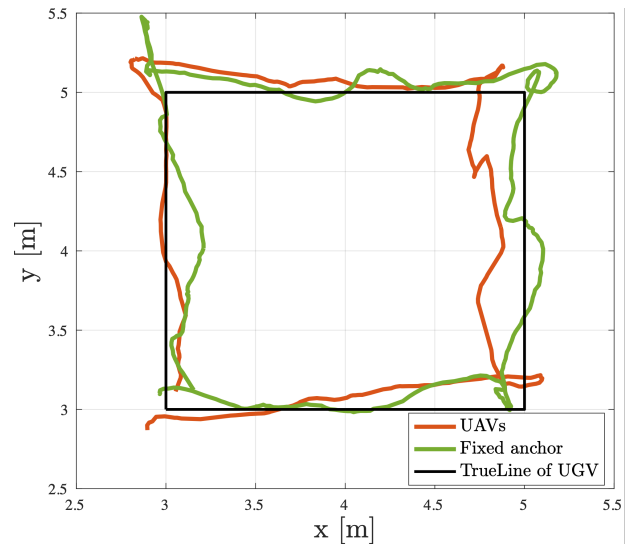


그림 4 iii), vi) 실험에서 측위한 UGV의 동선과 UGV의 실제 동선

표 1 UGV 상태와 사용 앵커에 따른 UGV 측위 오차

UGV 상태	사용 앵커	측위 오차 (RMSE)
정지	i) UAV	0.0675 m
	ii) 고정 앵커	0.0494 m
이동	iii) UAV	0.2154 m
	vi) 고정 앵커	0.2085 m

유효함을 검증하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2021-2017-0-01637)

참 고 문 헌

- [1] M. P. Christiansen, M. S. Laursen, R. N. Jørgensen, S. Skovsen, and R. Gislum, "Designing and testing a uav mapping system for agricultural field surveying," *Sensors*, vol. 17, no. 12, 2017.
- [2] C. Teulie're, L. Eck, and E. Marchand, "Chasing a moving target from a flying uav," in *2011 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems(IROS)*, 2011.
- [3] J. F"orster, "System identification of the crazyflie 2.0 nano quadcopter," Bachelor's Thesis, ETH Zurich, 2015.
- [4] "Jackal", Clearpath Robotics, accessed May 2021, <https://clearpathrobotics.com/jackal-small-unmanned-ground-vehicle/>.
- [5] Y.Jiang and V.C. Leung, "An asymmetric double sided two-way ranging for crystal offset," in *2007 Int. Symp. on Signals, Systems and Electronics*, 2007.
- [6] A.H. Sayed, A.Tarighat, and N.Khajehnouri, "Network-based wireless location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 22, no. 4, 2005.