

공중-지상 로봇 협동 기술과 그 응용 및 연구 방향

Air-Ground Cooperating Robots: Applications and Challenges

유 승 은, 김 대 은*
(Seung-Eun Yu and DaeEun Kim)

Abstract: Researches on air-ground robot cooperating system has been made recently. The cooperation among homogeneous robots focused on the architecture of the system, quality and influence of the communication. In contrast, the cooperation among heterogeneous robots such as aerial vehicle and ground vehicle robots has not been much handled. There are a couple of main points for those air-ground cooperating robots. One is using UAV (Unmanned Aerial Vehicle) as an extra sensor of UGV (Unmanned Ground Vehicle). This kind of application is usually used in situations such as guiding UGV to an appropriate path which could be better determined from the eye in the sky as UAV. The other main application of air-ground cooperating robot system is the localization. By combining sensor information from both UAV and UGV, the robot system as a whole can localize a target object or find features in the environment with better performance than UGV or UAV alone. Although these applications are recently studied in many different ways and devices, there are still a lot of possibilities in the field of air-ground cooperating robot systems. We introduce those research fields in this paper.

Keywords: UGV, UAV, cooperation, collaboration, air-ground, cooperating robots

I. 서론

이동 로봇은 그 움직임이 자유롭고 사람이 수행하기 어려운 일에 적합하다는 장점 때문에 수년간 로봇 관련 연구의 중심이 되었다. 하지만 최근에는 로봇들 간의 상호작용이 고려되고, 로봇이 수행해야 할 사람의 능력을 넘어서는 임무의 종류와 방향이 다양해짐에 따라 단일 로봇의 작업 수행뿐 만이 아닌 다개체 이동 로봇 시스템 및 이들 간의 협동 기술에 대한 연구가 중요해지고 있다[1]. 이는 로봇들의 작업 환경이 한정된 공간에 국한되지 않으면서 요구되는 단일 로봇의 능력을 넘어서는 다양하고 새로운 임무를 수행하기 위함이다. 로봇 간의 협동은 한 개의 로봇만으로 수행되지 못하는 임무를 여러 로봇들이 도와주어, 한 대의 로봇으로는 수행 불가능한 임무를 완수하거나 여러 대의 로봇에 의한 수행이 한 개의 로봇에 의한 수행보다 그 성능이 향상됨을 목표로 한다.

이렇듯 협동 로봇에 관한 연구가 많이 늘어가고 있음에도 불구하고 아직 무인 비행 로봇과 무인 차량 로봇 간의 협동을 다루는 연구는 많지 않은 것이 사실이다.

이러한 공중-지상 협동 로봇 기술은 각각의 로봇들의 능력의 특징을 살리며 부족한 부분을 서로 보완해 결과적으로는 각자 임무를 수행했을 때보다 월등한 성능을 보이거나, 각자 행동으로는 불가능한 임무를 수행 하는 것을 목표로 한다. 환경 조사와 관찰, 위험한 물질의 감시 및 처리, 그리고 넓은 영역의 감시와 정찰 등이 이런 기술의 주 응용분야가 될 수 있다. 현재 진행되는 공중-지상 협동 로봇

시스템의 일반적인 응용으로는 먼저, 무인 비행 로봇을 무인 차량의 외부 센서 격으로 사용하는 방식이 있고, 두 번째로 이 두 가지 로봇들을 이용해 로봇들 자신이나 특정 지표의 위치를 파악하는 방식이 있다.

본 논문에서는 먼저 공중-지상 협동 로봇 시스템이 응용되어온 연구 내용과 그 사례를 소개하고 이들을 종합해 앞으로의 연구 방향을 제시한다.

II. 구성요소

일반적으로 공중-지상 협동 로봇 시스템은 공중 로봇 한 개와 지상 로봇 다수, 혹은 공중 로봇 다수와 지상 로봇 다수의 구조를 이루며, 일반적으로 이들은 각 노드가 직접 통신하거나 중앙 처리 장치를 통해서 정보를 주고받는 구조로 이루어져 있다.

공중-지상 협동 로봇 시스템은 기본적으로 무인 차량 로봇 (UGV: Unmanned Ground Vehicle), 무인 항공기 (UAV: Unmanned Aerial Vehicle), 그리고 이들 간의 통신 및 정보 교환 구조로 구성되어 있다. 먼저, 이 장에서는 현재까지의 연구 내용을 바탕으로 협동 로봇 시스템의 구성 요소에 대해서 살펴보기로 한다.

1. 무인 차량 로봇(UGV)

현재 감시 로봇, 정찰 로봇 시스템에 가장 많이 사용되는 형태의 로봇은 무인 차량 로봇이다. 무인 차량 로봇은 사람이 탑승하지 않은 채 운행 되는 지상 로봇을 의미하며 그에 따라 인간이 직접 활동할 수 없는 지역의 야외의 넓은 영역에서 수행하기에 적합하다. 이러한 무인 차량 로봇은 힘들고 어려우며 위험한 작업을 수행하기 위한 군사용으로 활발히 개발되고 있다.

일반적으로 무인 차량 로봇(UGV)은 네 개의 바퀴로 전진, 후진, 그리고 회전이 가능하며 지상에서 빠르고 안정적인 이동할 수 있는 지상 로봇을 말한다. 로봇 협동 시스

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 11. 13., 수정: 2009. 12. 15., 채택확정: 2009. 12. 30.
유승은, 김대은: 연세대학교 전기전자공학부

(s.eun@yonsei.ac.kr/daeun@yonsei.ac.kr)

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0080661).

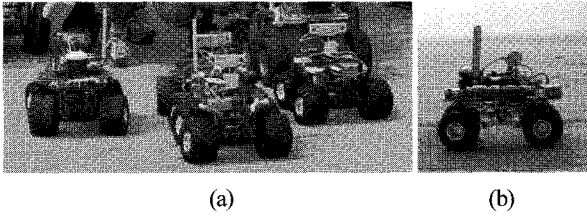


그림 1. 무인 차량 로봇 (Reprinted from [3](a), [8](b)).
Fig. 1. Unmanned ground vehicle.

템에서 사용 되는 무인 차량 로봇은 GPS, 자이로 센서를 이용해 현재의 위치와 자세를 판단, 레이더 초음파 센서 등을 이용해 환경을 탐지하며 탑재된 카메라를 이용해 전방 시야를 감시할 수 있다[2]. 이렇게 무인 차량 로봇으로부터 얻은 센서 정보는 이후 무인 항공기에서 얻은 정보와 합쳐져 임무 수행을 위한 효과적인 정보로 바뀔 수 있다.

1.1 무인 수중 차량(UUV: Unmanned Underwater Vehicle)

해양 로보틱스 기술은 최근 몇 년간 크게 발전해 왔다. 많은 수중 차량들이 시제품 수준에서 실질적인 과학적, 상업적, 군사적 목적으로 사용되는 데까지 발전해올 수 있었던 것은 수중 차량들 역시 전력 공급, 센싱, 그리고 정보 수집 및 처리에 있어서 어려움이 있지만 사람이 탑승한 잠수함 등에 비해 저렴하고 보다 효과적으로 임무를 수행할 수 있기 때문에 많이 선호되는 바이다. 이러한 자율 수중 차량은 주로 내비게이션에 그 목적을 많이 두고 있다. 무인 수중 차량 자체에서 얻은 산발 적인 정보들을 효과적으로 사용하기 위해서는 이러한 정보를 얻은 위치를 정확하게 파악해야만 한다[3]. 또한 수중 차량들에서는 해양 환경에 의한 음향의 전파가 독특한 문제로 나타나는데, 이러한 점은 수중차량과 다른 차량 및 로봇들 간의 통신과 협동을 어렵게 하는 주요인이기도 하다. 하지만 최근 몇 년간 많은 발전을 보인 수중 차량 분야의 전망은 다른 종류의 무인 차량 로봇이나 여러 수중 차량들 간의 협동을 통해 얻을 수 있는 능력의 확장 가능성이 무한한 만큼 앞으로도 그 발전이 많이 기대되는 바이다.

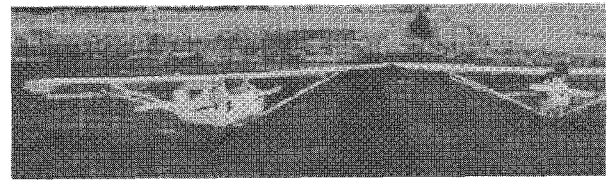
2. 무인 항공기(UAV)

무인 항공기는 활동 영역이 대기권 내의 공중인 비행체로 정의되며 무인 차량 로봇과 마찬가지로 사람이 탑승하지 않은 채 운행되는 로봇을 의미한다. 무인 항공기는 공중 정찰에 유용하며 그 크기와 종류가 작은 비행기, 헬리콥터 등에서부터 대형 비행선까지 굉장히 다양한 방면에 걸쳐 있는 것이 특징이다.

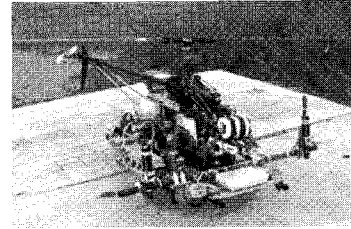
공중-지상 협동 로봇 시스템에 사용되는 무인 항공기는 고정 날개의 비행기[4], 소형 헬리콥터[2,5], 그리고 비행선까지[6-9] 그 크기와 종류가 굉장히 다양한 방면에 걸쳐 있다. 각각의 무인 항공기는 다양한 측면의 장점과 단점을 가지고 있다.

2.1 고정 날개 비행기

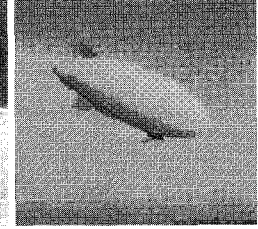
날개가 고정된 비행기의 경우 이륙하기 위해서는 지상에서 이동할 수 있는 직선 공간이 필요하고 공중에서 맴돌기 위해서는 일정 공간을 반복해서 움직여야 하는 단점이 있어 가장 드문 사용을 보이지만 다른 항공기들에 비해서 무



(a) Fixed wing UAVs



(b) Flying Eye (helicopter)



(c) GRASP air vehicle

그림 2. 무인 항공기 (a) 고정 날개 비행기 (b) 소형 헬리콥터 (c) 비행선 (Reprinted from [3](a), [2](b), [9](c)).

Fig. 2. UAV.

거운 장비 및 센서의 탑재가 가능하며 높은 위치에서 넓은 공간을 탐색할 때 유용하다는 점에서 협동 로봇 시스템에 사용되기도 한다.

2.2 헬리콥터

소형 무인 헬리콥터는 자율적으로 제자리에서 이륙하고, 공중에서 맴돌며, 다시 착륙하는 것이 가능하다. 소형 헬리콥터의 경우 그 가격과 휴대성, 군사용으로 적합한 비밀스러운 움직임이 가능하다는 점에서 선호 된다[5]. 이러한 작은 항공 로봇을 사용하는 데 있어서 주로 고려해야할 점은 로봇이 운반하는 센서의 수를 최소한으로 줄이는 것이다 [10].

2.3 비행선(blimp/airship)

비행선은 공기 주머니와 모터를 이용해 비행하는 항공기를 일컫는데 그 크기와 모양이 굉장히 다양하다. 이러한 비행선은 현재 실용적으로 사용되는 부분은 크지 않지만, 항공기 구조 중 가장 저렴하고 안전하며 공중을 맴도는 행동 등이 굉장히 낮은 속도에서 가능하기 때문에 가장 많은 경우에 응용되고 있다.

3. 통신 기술 방식

공중-지상 로봇 협동 시스템에 사용되는 통신 방식은 크게 무선 이더넷, 무선 애드혹 네트워크, 그리고 라디오 통신으로 나뉜다. 이러한 네트워크 방식 중 시스템이 사용되는 장소나 범위, 거리 등에 따라 적절한 방식을 채택해 사용할 수 있다.

3.1 블루투스 통신

블루투스의 경우 그 자체의 짧은 통신 거리와 그에 따른 통신 연결의 끊김으로 인해 안정성 문제가 있기 때문에[11] 넓은 영역을 탐사해야 하는 시스템에서는 사용되지 않는 것으로 보인다. 하지만 블루투스 통신은 8개의 slave 노드들을 한 개의 master 노드가 관리할 수 있는 통신 구조 특징을 가지므로 한 개의 로봇이 다른 여러 로봇을 관리하는 구조가 중심이 되는 시스템이라면 이러한 블루투스 통신 방식도 로봇 간 네트워크에 유용할 것으로 보인다.

3.2 라디오 통신

공중-지상 로봇 협동 시스템에서 가장 많이 사용되는 통신 방식인 라디오 통신은 블루투스나 비교해 통신 거리의 문제가 없고, 연결도 안정된 통신 상태를 지닌다. 그에 따라, 라디오 통신의 경우 야외의 넓은 공간에서 장시간 통신해도 큰 무리가 가지 않지만, 로봇끼리 그룹을 설정하고 이들 간의 계층을 구성해 통신 구조를 만들기 위해서는 별도의 하드웨어와 소프트웨어적인 부가 기술들이 필요하다[11].

3.3 WLAN

라디오 통신 다음으로 많이 사용되는 통신 방식은 WLAN인데, 이와 같은 통신 방식의 경우 큰 이점이나 특징이 없이 로봇 플랫폼 간 통신이 가능하고, 특히 중앙 처리 장치가 관여되는 경우, 이 중앙 장치와의 통신에 유용하다는 점에서 이점을 지닌다.

4. 센서

로봇 협동 시스템에서는 서로 간의 통신 방법만큼이나 각 로봇이 사용하고 있는 센서의 값과 그 정확도가 중요한 요소로 작용한다. 본 고에서 다루는 공중-지상 협동 로봇 시스템에서는 각 로봇의 정보 획득에 가장 큰 영향을 주는 장비로 GPS와 카메라를 꼽을 수 있겠다.

4.1 GPS

GPS는 로봇이 자신의 위치를 파악하거나 이 정보를 이용해 다른 로봇과의 태형을 유지하고, 정보를 교환할 때, 가장 유용한 정보를 제공하지만 동시에 예측할 수 없는 오차 때문에 전적으로 신뢰할 수 없는 정보이기도 하다. 때문에 이전 연구에서는 GPS만 단독으로 사용하지 않고, 이와 함께 다른 센서, 카메라, 주행기록계 등을 결합해서 사용함으로써 그 오차를 줄이려는 노력을 보였다[9].

4.2 카메라

지상의 무인 차량 로봇과 통신해서 정보를 제공하는 무인 항공기의 가장 중요한 정보 획득 수단은 시각이다. 무인 차량 로봇에게 제공할 수 있는 가장 효과적인 정보는 무인 차량 로봇 자신이 볼 수 없는 영역의 정보를 미리 획득하는 것으로, 이 과정에서 지면을 향해 있는 무인 항공기의 카메라는 굉장히 중요한 역할을 한다.

III. 응용

본 논문에서 다루는 지금까지의 공중-지상 협동 로봇 시스템의 응용은 크게 두 가지로 구분 된다. 첫 번째는 무인 항공기를 무인 로봇 차량의 외부 센서처럼 사용하는 것인데 이는 전적으로 무인 로봇 차량들의 임무 수행을 수월하게 하기 위해 무인 항공기를 활용하는 형태이다. 두 번째는 임무 수행의 주체가 어느 한 쪽에 집중되어 있는 형태가 아닌 무인 차량 로봇과 무인 항공기 모두 동등한 위치에서 정보를 수집하고 이를 교환한 결과를 활용하는 형태의 응용이다. 본 장에서는 이 각각의 응용 방식에 대해 좀 더 자세히 언급하도록 하겠다.

1. 무인 로봇 차량의 외부 센서로서의 무인 항공기

공중-지상 로봇 협동 시스템의 가장 일반적인 응용은 무인항공기를 무인 차량 로봇의 외부 센서 격으로 사용하는 것이다. 지상에서만 이동하는 무인 차량 로봇의 경우 그 시

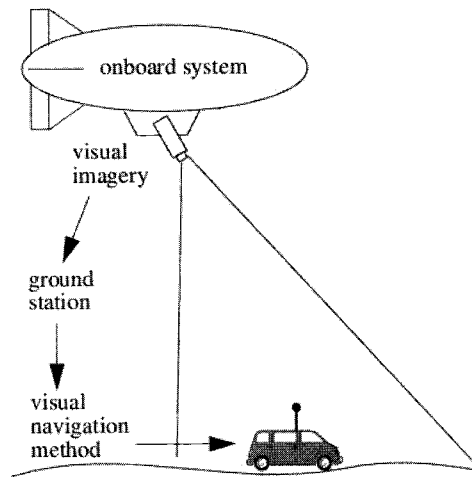


그림 3. UAV와 UGV의 협동 시스템을 통한 경로 설정 (Reprinted from [7]).

Fig. 3. Path planning with visual navigation through UAV and UGV cooperation system.

야가 지표면에 가까운 부분으로만 한정되기 때문에 자신이 속한 환경을 넓은 시각에서 보지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 다른 센서나 또 다른 지상 로봇이 아닌 공중에서 정보를 지원해줄 수 있는 무인 항공기로 보완하는 것이 공중-지상 협동 시스템의 첫 번째 유형이다.

1.1 한 개의 UAV와 한 개의 UGV

무인 차량 로봇이 바닥의 구멍이나 도랑 등의 장애물은 감지하기 힘들다는 점을 무인 항공기를 이용한 공중의 추가로 시각 센서를 두는 것으로 보완할 수 있다. 이렇게 함으로써 무인 차량 로봇의 속도가 줄어드는 것을 방지하고 좀 더 효과적인 경로를 찾을 수 있다는 것이 실험을 통해 보여진 바 있다[2].

이 경우 무인 항공기는 자신이 속해있는 무인 차량 로봇에게 가능한 경로의 위치, 언덕이나 구멍, 도랑 등의 장애물의 크기와 방향 등 훌륭한 퀄리티의 정보를 제공함으로써

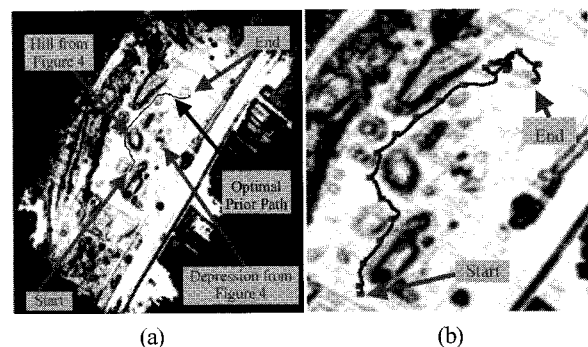


그림 4. (a) UAV가 계산한 지도의 장애물과 가능한 경로 (b) UAV로부터 받은 데이터를 이용한 UGV의 최종 경로 (Reprinted from [2]).

Fig. 4. (a) Course computed with Flying Eye(helicopter) (b) Path of UGV with onboard sensors and prior data from Flying Eye.

써 무인 차량 로봇이 좀 더 효과적인 경로를 찾아 임무를 수행하도록 돕는 역할을 한다. 이런 방식의 협동 로봇 시스템은 차량 로봇들이 지상에서 수행하는 임무의 안전성과 효율성을 높일 수 있는 효과적인 방법이 된다.

1.2 한 개의 UAV와 다수의 UGV

앞서 공중-지상 로봇 협동 시스템은 한 개의 무인 항공기와 다수의 지상 로봇 차량으로 구성되기도 한다고 언급했는데, 이러한 시스템이 가장 효과적으로 기능하는 것은 무인 항공기와 지상 로봇 무리(swarm)와의 협동에서 나타난다. 한 연구에서는 무인 항공기가 한 그룹의 지상 로봇들을 관리하며 이들을 적절한 위치로 배치해 특정 대형을 만드는 실험을 통해, 대형을 전체적으로 모든 지상 로봇들을 관찰 하는 한 개의 무인 항공기가 로봇 무리(swarm)를 효과적으로 합치고 분리해 목표 영역을 탐사하도록 경로를 설정할 수 있음을 보인 바 있다[6]. 위와 같이 무인 항공기가 단순히 위치로 배치해 임무를 더 효과적으로 수행하기 위한 추가적인 센서의 역할을 하는 경우에는 종종 무인 항공기가 지상 로봇이 도움을 필요로 할 경우에만 공중에 떠 있도록 해 시스템 상의 복잡도를 낮추고 자원을 절약하는 방식을 사용할 수도 있다.

1.3 시스템 구조

이렇게 무인 항공기가 획득한 정보를 이용해 지상 차량 로봇의 경로 설정을 돕는 경우, 그 시스템 구조는 그림 5와 같다. 먼저 무인 항공기가 카메라를 통해 얻은 이미지를 수학적으로 분석한다. 이 경우 어느 위치에 현재 지상 로봇이 위치해 있고, 이와 관련한 장애물의 위치와 크기 등을 판단하게 된다[7]. 이러한 정보를 바탕으로 지상 차량은 자신이 기존에 지니고 있던 경로의 정보와 이 계산된 정보를 종합해 최종 경로를 설정하고 이를 바탕으로 움직이게 된다. 이와 같이 계속적인 무인 항공기의 관찰과 계산 결과를 이용해 지상 차량 로봇은 장애물을 피하거나 목표 지점으로 향하는 운동을 지속할 수 있는 것이다.

2. 협동을 통한 위치 추정 (localization)

위치 추정은 무인 로봇을 사용함에 있어서 중요한 임무가 된다. 임무를 수행함에 있어서 다른 로봇과의 협동과 정보 교환을 하고 인간에게 정보를 제공해야 하는 무인 로봇은 주어진 환경에서만뿐만 아니라 미지의 환경에서도 주행 중인 자신의 위치와 자세를 인식할 수 있어야 한다. 그에 따라, 이동 중인 무인 로봇의 주행에서 발생하는 불확실성을 해결함으로써 로봇의 위치를 추정할 수 있어야 하는데, 공중-지상 협동 로봇 시스템에서는 이러한 위치 추정 임무를 지상의 무인 로봇들의 정보와 공중의 무인 항공기에서

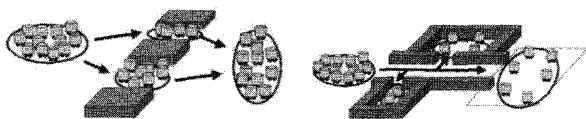


그림 5. 장애물을 피하고 환경을 탐사하며 로봇들이 합치고 분할되는 계획 (Reprinted from [6]).

Fig. 5. Scenarios where groups of robots perform split and merge behaviors for avoiding obstacles and exploring environments.

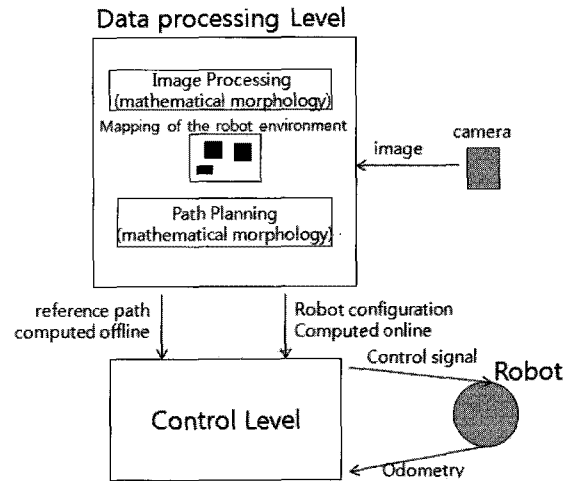


그림 6. 수학적 지형 인식을 바탕으로 한 경로 추정 시스템 구조 (Modified from [7]).

Fig. 6. Mathematical morphology-based robot navigation framework.

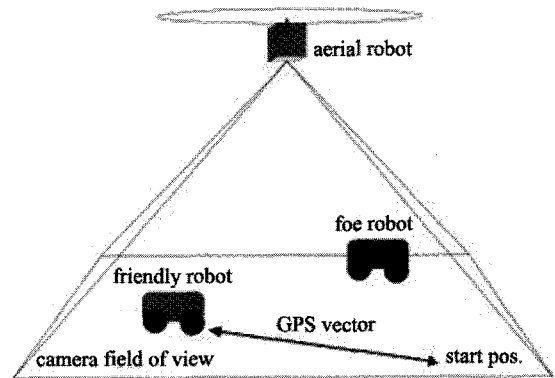


그림 7. UAV와 UGV의 협동 계획: UAV는 정보를 교환하는 UGV의 GPS 정보를 이용해 원하는 다른 로봇이나 지표의 위치를 파악한다. (Modified from [5]).

Fig. 7. Cooperating UAV/UGV scenario; UAV gets the position of the robot or other landmark using GPS information of UGV.

얻는 정보를 함께 활용하여 좀 더 정확한 위치 추정 결과를 얻게 된다.

2006년 GRASP Lab에서 진행한 공중-지상 로봇의 협동을 통한 지표 위치 추정 실험에서는 무인 지상 차량과 무인항공기에 GPS와 관성 측정기가 융합된 센서 플랫폼을 이용하여 지표의 위치를 추정하였다. 이 결과에서 무인 항공기 단독으로 지표의 위치를 확실히 측정하는 데에는 80분, 무인 차량 로봇 단독으로 측정하는 데에는 30분이 걸린 데 비해 두 가지를 협동적으로 사용한 경우에는 임무를 완수하는 데 10분이하의 시간만이 소요된 것을 바탕으로, 센서 플랫폼을 바탕으로 한 공중과 지상 로봇의 협동은 각각이 임무를 수행할 때에 비해 현저히 높은 성능을 보이는 것을 볼 수 있다[4].

또한 이후 진행된 공중-지상 로봇 간 협동을 이용해 지

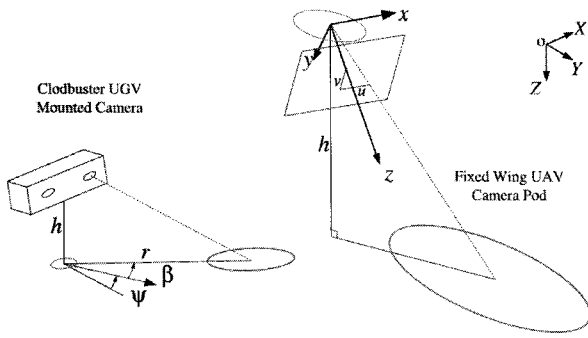


그림 8. 지상과 공중 로봇의 시각 센서 (modified from[4]).
Fig. 8. Modelling aerial and ground based vision sensors.

표의 위치를 추정하고 목표물을 추적하는 연구에서는 이러한 협동 시스템이 GPS에 비해 카메라를 이용한 위치 추정 방식을 사용할 때 가장 효과적이고 정확한 위치 추정 결과를 보임을 설명한 바 있다. 무인 항공기의 카메라만을 사용하는 방법의 경우 다양한 상황에 바로 적용되지 못하고 많은 사전작업을 요한다는 단점이 있어 실용적으로 사용될 수 없다는 판단이지만[9] 이를 하나의 무인 항공기와 여러 개의 무인 차량 로봇에 적용하는 경우, UGV간의 상대적 위치를 바탕으로 특정 지표의 위치를 높은 정확도로 추정할 수 있음을 보인 연구도 있다[5].

2.1 시스템 구조

이렇게 지상 차량 로봇과 공중의 무인 항공기가 함께 센서로부터 정보를 받아 지표의 위치를 추정하는 시스템의 모델은 그림 8과 같다.

공중과 지상에서 동시에 같은 카메라나 GPS 센서로 얻은 정보는 동시에 서로 다른 위치에서 센서 값을 얻어 활용할 수 있다는 이점이 있다. 이러한 활용의 경우 시스템의 가장 중요한 포인트는 지상과 공중에서 얻은 지표를 지면의 것으로 적절하게 변환하는 것인데, 아래 식(1)의 P가 이러한 역할을 한다. 따라서 이러한 종류의 응용에서 가장 집중하는 부분은 이 변환 성분 P를 효율적으로 얻는 데에 있다고 할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} u \\ v \\ 1 \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

이러한 변환 성분 P는 카메라의 사전 조정(calibration)을 통해서도 얻을 수 있고, 카메라와 GPS 센서 값의 종합적인 사용으로도 얻을 수 있다.

IV. 연구 방향

최근 광산 산업 등에서 유용하게 사용될 수 있다고 판단되는 등 현장에서의 네트워크 협동 로봇에 대한 중요성이 강조 되고 있다. 이는 사람이 수행하기에는 임무를 수행하는 환경 조건이 어렵고 반복을 요하기 때문이다[14].

네트워크로 연결된 협동 로봇이 중요하게 응용될 수 있는 분야 중 한 가지는 환경 감시 시스템이다. 이동성과 통신 기능을 동시에 갖추므로써 이러한 로봇 시스템은 관찰

과 자료 수집을 다양한 측면에서 가능하게 한다[15].

하지만 이러한 로봇 시스템 개발의 최종적인 목적은, 사람이 많이 관여되지 않고도 무인 공중, 지상, 지면, 그리고 수중 로봇 네트워크를 배치하는 것이다. 그동안 다개체 로봇 시스템이 야외나 건물 내를 탐색하여 침입자를 구분하고 찾아내는 것을 보여준 사례가 있었다[14]. 이러한 예시는 이러한 네트워크를 이용한 협동 로봇 시스템이 효과적으로 작용할 수 있다는 것을 보여주기도 한다.

더불어, 많은 연구 프로젝트들이 자연에서 무리를 지어 다니는 현상의 현명함을 활용하려는 노력들도 보이고 있다 [16].

V. 결론

본고에서는 공중과 지상의 로봇들 간의 협동을 통해 임무를 완수하는 기술의 전반적인 구성과 그 응용에 대해서 살펴보았다.

현재까지 진행된 공중-지상 협동 로봇 시스템은 주로 무인 항공기의 지원이나 감독 하에 지상 로봇의 경로를 파악해 임무를 더 효과적으로 수행할 수 있도록 하거나, 지상 차량 로봇과 무인 항공기 간의 센서 정보 교환을 통해 로봇 자신과 지표의 위치를 추정하도록 하는 것을 목적으로 한다. 무인 항공기가 지상 로봇의 탐색이나 경로 확보를 돕는 시스템의 경우 주로 지상 로봇으로도 수행할 수 있는 다양한 일을 무인 항공기를 포함함으로써 좀 더 수월하고 효과적으로 진행하고자 하는 데에 집중해 이를 좀 더 다양한 방면에 적용하려고 하는 데에 초점이 있다면, 로봇 협동을 통한 위치 추정은 그 에러를 줄이고 성능을 향상시키는 데에 그 초점이 맞추어져 왔다고 볼 수 있다.

지금까지의 공중-지상 협동 로봇 시스템은 주로 GPS를 이용한 위치 추정과 카메라를 이용한 추적 또는 경로 설정에 집중 되어 있으며 또한, 이러한 협동 로봇 시스템은 주로 소수의 무인 항공기와 그와 같거나 더 많은 수의 무인 차량 로봇으로 구성되어있다. 이러한 연구 진행 방향을 바탕으로 살펴볼 때, 앞으로의 공중-지상 협동 로봇 시스템에 관한 연구는 무궁한 가능성을 지니고 있다고 볼 수 있다.

먼저, 이전에 진행한 지상 무리 로봇(swarm)과 소수의 무인 항공기(UAVs)의 응용을 고려해볼 수 있다. 현재는 무인 항공기가 공중에서 얻을 수 있는 시각 정보를 활용해 지상의 로봇 무리가 가야할 방향과 이들이 합병, 분리되어야 하는 규모와 그 배치를 결정하고 관리하는 데에 초점이 있다면 이후 연구에서는 이렇게 다수의 지상 로봇 무리들로부터 얻은 각각의 화면 정보를 무인 항공기가 다시 수합한다면, 이전에는 무인 항공기의 공중에서의 비전으로만 구성했던[12] 지상의 지도(map)를 좀 더 효과적이고 확실한 시각적으로 구성해낼 수 있을 것으로 보인다.

두 번째로 이전에 무인 항공기 한 개로 한 무리의 지상 로봇을 무인 항공기들을 관리 및 배치했던 점을 이용해 역으로 무인 공중 로봇 무리(swarm) 관리가 가능할 것으로 예측해본다. 이러한 응용이 가능하기 위해서는 먼저 헬리콥터나 비행선 등 사용되는 무인 항공기의 움직임 제어의 성능 향상이 선행되어야 할 것이다.

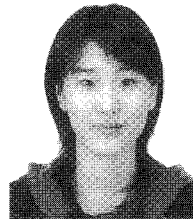
이 외에도 공중-지상 협동 로봇 시스템의 향후 연구 내용과 그 성과는 다방면으로 응용될 수 있을 것으로 보인다.

참고문헌

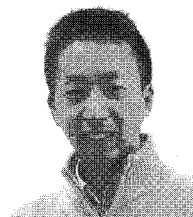
- [1] J. Ota, T. Arai, D. Kurabayashi, "Dynamic grouping in multiple mobile robots system," *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Yokohama, Japan, 1993.
- [2] T. Stentz, A. Kelly, H. Herman, P. Rander, O. Amidi, and R. Mandelbaum, "Integrated air/ground vehicle system for semi-autonomous off-road navigation," *Proceedings of AUUVS Symposium on Unmanned Systems*, 2002.
- [3] J. J. Leonard, A. A. Bennett, C. M. Smith, and H. J. S. Feder, "Autonomous underwater vehicle navigation," *Proc. of the IEEE ICRA Workshop on Navigation of Outdoor Autonomous Vehicles*, 1998.
- [4] B. Grocholsky, S. Bayraktar, V. Kumar, C. J. Taylor, and G. Pappas, "Synergies in feature localization by air-ground robot teams," *Proceedings of the 9th International Symposium on Experimental Robotics (ISER)*, pp. 353-362, 2004.
- [5] R. T. Vaughan, G. S. Skhatme, F. J. Mesa-Martinez, J. and F. Montgomery, "Fly spy: lightweight localization and target tracking for cooperating air and ground robots," *Distributed Autonomous Robotic Systems*, vol. 4, pp. 315-324, 2000.
- [6] L. Chaimowicz and V. Kumar, "Aerial shepherds: coordination among UAVs and swarms of robots," *Proc. of the 7th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems*, Springer, 2004.
- [7] A. Elfes, M. Bergerman, J. R. H. Carvalho, E. C. de Paiva, J. Jr. G. Ramos, and S. S. Bueno, "Air-ground robotic ensembles for cooperative applications: concepts and preliminary results," *Proc. of the 2nd International Conference on Field and service Robotics, Pittsburgh, Pa (USA)*, pp. 75-80, 1999.
- [8] S. S. Bueno, M. Bergerman, E. C. de Paiva, and J. G. Ramos, Jr., "Robotic airships for exploration of planetary bodies with an atmosphere: autonomy challenges," *Autonomous Robots*, vol. 14, no. 2, Springer, pp.147-164, 2003.
- [9] L. Chaimowicz, B. Grocholsky, J. F. Keller, V. Kumar, and C. J. Taylor, "Experiments in multirobot air-ground coordination," *Proceedings of the 2004 International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4053-4058, Apr. 2004.
- [10] O. Amidi, T. Kanade, and R. Miller, "Vision-based autonomous helicopter research at carnegie mellon robotics institute," *Proceedings of Heli Japan '98*, Gifu, Japan, Apr. 1998.
- [11] 김상철, "로봇 협동과 이동성 Ad-hoc 네트워크 간의 기술접목 동향," *정보통신 기술*, 제20권 제1호, 한국정보과학회 정보통신 소사이어티, pp. 17-31, 2007.
- [12] J. Lee, R. Huang, A. Vaughn, X. Xiao, and J. K. Hedrick, "Strategies of path-planning for a UAV to track a ground vehicle," *Proc. of AINS Conference*, 2003.
- [13] S. Iacrobix, I.-K. Jung, and A. Mallet, "Digital elevation map buildin from low altitude stereo imagery," *Robotics and Autonomous Systems* 41, pp. 119-127, 2002.
- [14] V. Kumar, D. Rus, and G. S. Sukhatme, *Networked Robots*, Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [15] Argo Floats: A global array of 3,000 free-drifting profiling floats for environmental monitoring, *Argo Information Center*, Ramonville, 2007, <http://www.argo.ucsd.edu/index.html>
- [16] J. Seyfield, M. Szymanski, N. Bender, R. Estana, M. Theil, and H. Worn, "The I-Swarm project: Intelligent small world autonomous robots for micro-manipulation," *Proc. of SAB 2004 International Workshop*, Santa Monica, 2004.

유 승 은

2010년 연세대학교 전기전자공학부 학사 졸업 예정. 관심분야는 바이오로보틱스, 인공지능, 인지과학.



김 대 은



1989년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업. 1993년 The University of Michigan, Ann Arbor, USA 석사. 2002년 The University of Edinburgh, UK, 박사. 2002년 Max Planck Institute for Human Cognitive & Brain Sciences, Cognitive Robotics, Research Scientist. 2006년 The University of Leicester, Neurobiology Lab, Research Associate. 2007년~현재 연세대학교 전기전자공학부 조교수. 관심분야는 바이오로보틱스, 인공지능, 인공생명, 신경과학, 인지과학.