

자율주행기술

이 주 장 · KAIST 전자전산학과, 교수
 김 현 진 · 서울대학교 기계항공공학부, 조교수
 이 민 철 · 부산대학교 기계공학부, 교수
 강 정 원 · KAIST 전자전산학과, 박사과정
 권 인 소 · KAIST 전자전산학과, 교수
 송 재 복 · 고려대학교 기계공학과, 교수

_e-mail : jjlee@ee.kaist.ac.kr
 _e-mail : hjinkim@snu.ac.kr
 _e-mail : mclee@pusan.ac.kr
 _e-mail : kctown@cheonji.kaist.ac.kr
 _e-mail : iskweon@ee.kaist.ac.kr
 _e-mail : jbsong@korea.ac.kr

이 글에서는 무인차량 개발에 필요한 핵심기술 중 자율주행기술에 관하여 설명하고, 자율주행기술에 필요한 기술들에 대해 간략히 요약하고자 한다.

무인차량의 경로 계획

요즘 가정이나 박물관, 학교 등에서는 여러 종류의 로봇들이 사용되고 있다. 가정에서는 청소용 로봇, 박물관에서는 안내로봇, 학교 등 교육기관에서는 교육용 로봇이 사용되고 있다. 이러한 로봇들을 사용할 때 점점 중요시 대두되고 있는 기술은 로봇들이 사람처럼 자유롭게 움직이는 것을 목표로 하는 것이다. 로봇이 자유롭게 움직이는 것은 로봇이 알아서 장애물을 피한다든지 정해진 목표점까지 이동하면서 찾아가는 것을 말한다. 이러한 기술을 우리는 로봇의 자율주행기술이라 부

른다.

자율주행기술은 크게 로봇의 현재 위치를 정확히 알아내는 위치결정기술과 현재 작업 중인 환경을 파악해 내는 지도형성기술 그리고 작업 수행을 위한 이동 경로를 생성한 후 안전하게 이동을 수행할 수 있는 경로작성기술로 분류할 수 있다. 경로 계획은 현 위치에서 목표지점까지 최적의 주행 조건을 만족시키는 경로를 탐색하고 생성하는 것으로, 효율적인 경로 계획을 위해서는 환경 모델링, 지도 작성기법, 장애물 인지 및 회피 기법, 경로 탐색 및 생성 알고리즘이 순차적으로 이루어져야 한다.

이 중 경로작성기술에 대해 자세히 살펴보면 다시 두 가지로 분류할 수 있는데 그것은 전역경로계획과 지역경로계획이라 할 수 있다. 전역경로계획이란 시작점부터 최종 목표지점까지 모든 지역의 지형정보를 가지고 지형경사도 및 장애물 형태 등의 지형의 기하학적 정보를 통해 무인 자율로봇이 이동할 수 있는 최적의 전역 경로를 생성하는 것이다. 지역경로계획이란 무인자율로봇에 부착된 탐지센서 등을 통해 탐지된 한정 공간 내에서 지형지도에 나타나 있지 않은 지형지물, 장애물을 회피할 수 있는 최적지역경로를 생성하는 것이다.

무인차량 및 이동로봇의 자율주행을 위해서는 위에서 언급한 전역경로계획 및 지역경로계획이 유기적으로 결합되어야 한다. 전역경로계획은 미리 알고 있는 지형 정보를 바탕으로 지도를 작성하고, 경로를 생성하기 때문에, 실제 환경의 변화나 지도의 정확도 등에 의해, 생성된 경로가 부정확할 가능성이 발생한다. 또한 지역경로계획의 경우에는 센서의 측정 범위에 제한이 있기 때문에, 목적지와 출발점 사이의 거리가 먼 경우, 이를 보상할 수 있는 방법이 없다. 따라서 일반적으로 전역경로계획을 통해, 지역경로계획을 사용할 수 있을 정도의 중간 목표점을 생성하고, 전역 경로 상에서 예측하지 못한 장애물은 지역경로계획을 통해 회피하며, 회피가 불가능한 경우에는 다시 전역경로계획을 수행하게 된다.

다중 무인차량의 자율주행

다중 로봇 시스템은 로봇 각각으로는 달성할 수 없는, 규모가 크거나 어렵고 복잡한 임무를 달성할 수 있다는 가능성으로 인해 최근 그 연구가 활성화되고 있다. 이 글에서는 다중 로봇 시스템의 안정적 활용을 위한 복합적 상황 판단기술 및 협업 제어, 그리고 자율주행기술에 대해 소개한다.

무인차량은 정찰, 선제공격, 부대지원 등의 군사적 목적뿐만 아

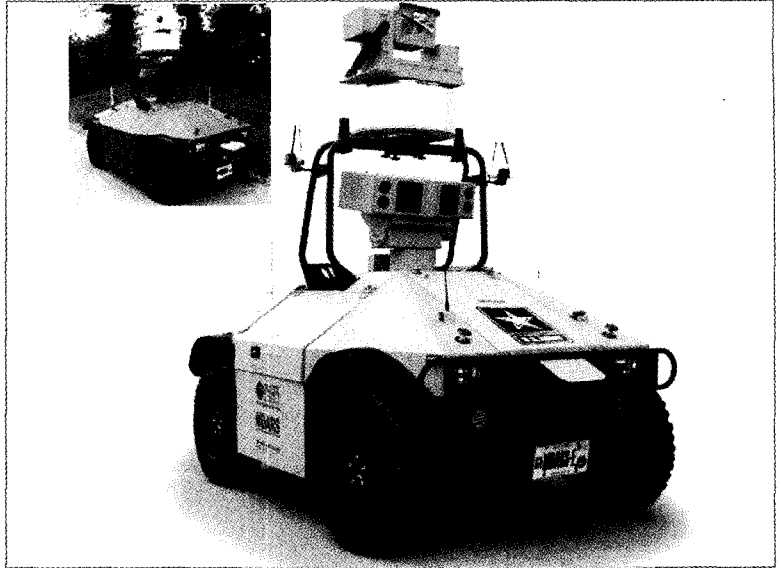


그림 1 미 국방부의 무인경비차량(MDARS, The Mobile Detection Assessment Response System)

니라 자연재해 혹은 산업재해 시 위험한 현장에서 구조원을 대신하고 공공장소의 경비를 수행하는 등 민간인 보안용으로 개발되고 있으며 운전자 안전을 위한 지능형자동차기술 개발에도 부합된다. 이러한 폭넓은 활용성과 군사적 필요성으로 많은 나라에서 무인차량기술 개발을 추진하고 있으며 이 중 자율주행기술은 차량의 무인화를 위한 필수적 기반 기술로서 그 개발이 요구되고 있다.

무인차량기술은 1960년대부터 점진적으로 발전되어 왔다. 그 후 1980년대, 미 국방부에서 지상부대의 자동화를 목적으로 무인차량을 개발하면서 구체적인 기술력들이 나타나기 시작하였다. 1990년대 후반에 첫 자율주행차량이 개발되고 주행시범이 시도

되면서 다양한 관련 산업들이 형성되었다. 미 국방부와 General Dynamics Robotic Systems(GDRS) 사는 2002년 로봇경비차량을 개발, 시험운용을 시행하였으며, 현재 평시 군주둔지나 미 본토 탄약저장시설의 경비 등에 활용하고 있다. 이 로봇 경비차량의 정식 명칭은 '이동형 탐지 평가 및 대응체계' (MDARS)이며 미 육군과 해군이 1988년부터 공동으로 개발해온 것이다. 로봇 차량에는 장애물을 회피할 수 있는 360도 센서가 탑재돼 있어 장애물 회피가 가능하며 독립적인 자율주행과 원격제어에 의한 주행조작이 가능하다. 150m 거리에서 침입자를 탐지할 수 있으며 자물쇠가 파손되거나 철조망이 파괴된 것을 찾아낼 수도 있다.

자율주행은 지상, 해양, 항공상에서의 차량무인화기술 중 가장 우선시되는 기반기술이라 할 수 있다. 환경인식, 자율판단, 전역 및 지역적 경로계획, 장애물 회피 등의 기능을 포함하며 지시되는 목적지까지 추가정보 없이 자율적으로 이동할 수 있는 기술을 말한다. 최근 무인차량의 대부분은 자율주행을 기본으로 하되, 통신네트워크를 기반으로 운전자로부터 원격 제어정보를 지시받아 수동 주행하는 기능을 복합적으로 활용하고 있다. 자율주행 구현을 위해 전역위치인식(global localization)기술과 함께 확률기반 알고리즘 등을 이용한 지도형성과 경로계획기술 등이 개발되었고 영상시스템 기반의 3D 환경인식 및 위치추정, 경로계획기술 등이 소개되어 왔다.

실외 환경에 대한 지도 작성

무인화 차량의 자율주행을 위해서 차량은 주어진 환경에 대한 지도를 알고 있어야 하며, 그 지도 안에서의 자신의 위치를 파악할 수 있어야 한다. 즉 지도 작성은 차량의 자율주행을 위해 기본적으로 수행되어야 할 작업 중 하나다. 특히 실제 차량에 적용하기 위해서는 야지와 같은 실외 환경에서의 지도 작성이 이루어져야 한다. 하지만 실외 환경에서의 지도 작성은 다음과 같은 몇

가지 이유로 풀기 힘든 문제다. 첫 번째 이유는 지형이나 환경의 특성과 연관되어 있다. 실내 환경의 경우 환경 자체가 벽이나 구조물들로 이루어져 있다. 반면 야외의 경우 숲이나 나무 등으로 이루어져 구조화되어 있지 않기 때문에 지도 작성이 그만큼 어렵다. 두 번째 이유는 문제 자체의 차원과 연관되어 있다. 실내 환경의 경우 차량의 자기 위치 추정 및 지도를 2차원 문제로 생각할 수 있는 반면, 실외 환경의 경우 목표 지형에 따라 3차원 문제가 되기도 한다. 또 다른 이유로 지도 및 환경의 규모를 꼽을 수 있다. 실내 환경에 대한 지도 작성의 경우 상대적으로 작은 환경을 다루지만, 실외 환경에 대한 지도 작성의 경우 작게는 몇 백 미터에서 넓게는 수 킬로미터에 달하는 환경을 다루어야 한다. 이로 인해 대용량의 정보를 다룰 수 있는 시스템이 갖춰져야 한다. 이런 이유들로 인해 실외 환경에서의 지도 작성은 매우 도전적인 문제로 인식되고 있다.

지도 작성을 위한 센서

지도 작성 문제는 지도 작성을 위해 사용되는 센서와 밀접한 연관이 있다. 지도 작성에 가장 널리 사용되는 센서는 레이저 레인지 파인더(laser range finder)나 라이다와 같은 능동센서이다. 이들 능동센서를 사용하면 센서

에서 목표 지형물까지의 비교적 정확한 거리정보를 일련의 처리과정 없이 직접적으로 구할 수 있다. 이런 특징 때문에 이들 센서로부터 얻은 거리 정보를 이용해 스캔 정합(scan matching) 등의 기법을 통해 차량의 자기위치추정에도 사용될 수 있다. 반면, 목표 지형물에 대한 재질 정보는 파악할 수 없다는 단점이 있다. 위와 같은 거리측정센서와 더불어 많이 사용되는 센서가 카메라와 같은 비전센서다. 비전센서의 경우 목표 지형물에 대한 색상 정보를 획득해 그 지형물에 대한 인식이 가능하게 한다. 또한, 지도 작성에 있어서 재질 정보를 이용해 3차원 시각화를 쉽게 할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 입력 영상의 변화를 통해 자기 위치 추정에도 활용할 수 있다. 반면, 거리 정보를 얻기 위해서 기본적으로 삼각법을 사용하기 때문에 2개 이상의 카메라가 요구되는데, 사용되는 카메라들 사이의 정확한 기하학적 관계를 얻기 힘들고, 이로 인해 거리측정에 있어서 오차가 생길 수 있다는 단점이 있다. 뿐만 아니라 거리 정보를 얻기 위해서 일련의 영상 처리 과정이 요구된다는 단점이 있다. 즉, 거리 정보를 영상으로부터 추출하는 데 많은 계산량과 더불어 시간이 요구된다.

지도 작성 시 위의 센서들은 차량에 부착되어 사용된다. 이 때 목적에 따라 한 개의 센서만 사

용되거나 두 종류 이상의 센서가 사용되기도 한다. 두 종류 이상의 센서가 사용되는 대표적인 경우가 거리 측정 센서를 사용해 목표 환경에 대한 정확한 지형을 복원하고 카메라를 이용해서 복원된 지형에 재질을 입히는 경우다. 즉 두 가지 센서의 장점을 취한 경우다.

지도 작성은 크게 차량의 자기 위치추정과 지도 작성의 두 가지 단계를 통해 이루어진다. 실외 환경에 대한 지도 작성의 경우 위성위치확인시스템(global positioning system)을 이용해 지구상에서의 위치 추정이 가능하다. 더욱 정확한 위치 추정을 위해 지역적(local) 위치 추정을 하게 되는데, 이 때 사용된 센서에 따라 사용될 수 있는 여러 가지 기법들이 있다. 자기위치추정 후 그 위치를 기반으로 지도 작성을 하게 되는데, 이 때 용도와 목적에 맞는 지도를 만들게 된다.

지도 작성은 무인화되고 능화된 차량을 위한 필수적인 작업이다. 지도 작성 작업은 크게 차량의 자기위치추정과 지도 작성의 두 단계로 이루어진다. 차량의 자기위치추정을 위해서는 계층적인 위치추정방법을 사용한다. 위성위치확인시스템을 이용한 광역적 위치 추정을 시작으로 지역적 위치 추정을 통해 차량의 정확한 위치를 파악한다. 지도 작성 단계에서는 센서 정보를 이용해 여러 형

Visual SLAM은 카메라를 이용하여 로봇이 현재의 위치를 알아내고(localization) 동시에 주변의 환경 지도를 작성(mapping)하는 것을 말한다.

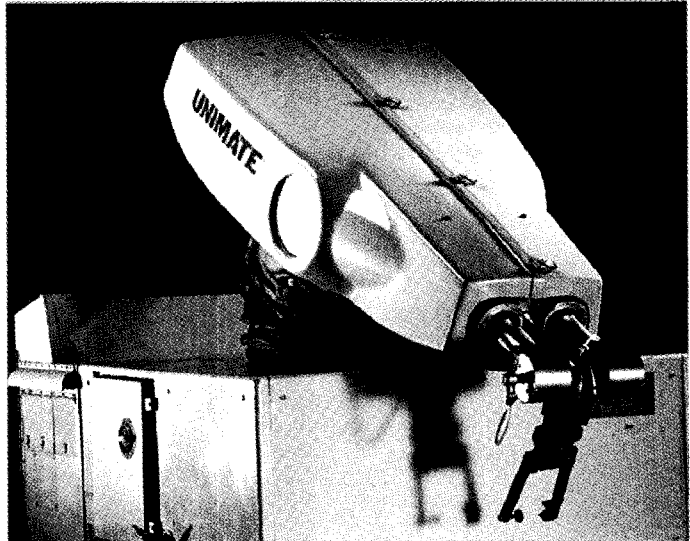


그림 2 최초의 산업용 로봇, Unimate

태의 지도를 만들게 되는데, 지도의 형태는 간단하게는 2차원 격자 지도부터 시작해 3차원 재질 정보와 지형 정보까지 포함된 지도 등 지도 작성의 목적과 만들어진 지도의 용도에 따라 달라지게 된다.

Visual SLAM에 대한 소개

1961년 미국의 유니메이션(Unimation)사에서 개발한 산업용 로봇 유니메이트(Unimate)를 시작으로 로봇은 비약적인 발전을 거듭하여 왔다. 그러나 많은 사람들이 기대하였던 인간의 지

능을 가지거나 일상생활 속에서 인간과 공존하는 로봇은 아직도 초기 단계이다. 이는 로봇의 '몸'에 해당하는 기계학적인 제어 부분의 발전보다는 로봇의 '두뇌' 부분에 해당하는 알고리즘 부분의 발전이 여전히 필요하다는 것을 의미한다. 그 중 로봇의 자율 주행은 인간과 공존하기 위한 로봇의 선결조건이라 할 수 있다. 로봇의 조작을 위해서 인간이 끊임없이 로봇 곁에서 로봇을 제어해 줄 수는 없으므로 로봇이 스스로의 위치를 알아내고 주변의 환경 지도를 작성할 수 있어야 하기 때문이다.

SLAM(Simultaneous



그림 3 두 대의 스테레오 카메라가 장착된 로봇과 휠 오도메트리로 위치인식이 불가능한 야외환경(미국, SRI)

Localization and Mapping) 이란, 위에서 살펴본 바와 같이, 로봇이 주행하면서 현재의 위치를 알아냄(localization)과 동시에 주변의 환경 지도를 작성(mapping)하는 알고리즘을 의미한다. SLAM을 위해서 LRF(Laser Range Finder), Sonar 등과 같은 거리 센서가 사용될 수 있는데 이는 정보의 범위나 부피, 가격 등에서 약점을 안고 있는 반면, 카메라는 최근의 반도체 기술의 발전에 힘입어 매우 넓은 범위의 환경 정보를 값싸게 제공할 수 있어 SLAM에 효과적으로 사용될 수 있다. 시각 정보를 이용한 SLAM은 단일 카메라, 스테레오(stereo) 카메라, 전방향(omni-directional) 카메라를 이용한 SLAM으로 크게 나눌 수 있다.

무인차량의 위치인식

야외환경에서 무인차량이 자율적으로 주행하기 위해서는 위치

인식, 경로계획, 장애물회피 등의 다양한 기능이 필요하다. 이 중 위치인식은 환경을 기준으로 한 무인차량의 절대위치와 이동 중의 상대위치를 찾는 기술로, 무인차량의 자율주행을 위해 반드시 필요한 기술이라 할 수 있다. 가장 대표적이면서 간단한 방법으로 GPS(Global Positioning System)를 이용한 위치인식 기술이 있다. 이 기술은 일반 차량에서 흔히 사용되는 내비게이션 기능에 적용되어 10m 정도의 정확도를 제공하는 수준이지만 야외환경에서 단독으로 사용하기에는 몇 가지 단점이 있다. 예를 들면, 전장 환경에서는 GPS 신호가 신뢰성을 잃을 수도 있다는 점, 숲이나 인공 구조물 등에 의해 GPS 신호를 충분히 받지 못할 수도 있다는 점, DGPS(Differential GPS)가 아닌 일반 GPS를 사용할 때 얻을 수 있는 10m의 정확도가 충분하지 못한 점 등이 있다. 따라서 야외에서의 정확하고 신뢰할 수 있는 위치인

식을 위해서는 GPS를 이용한 방법 이외의 방법이 요구된다.

다양한 위치인식 방법을 사용하는 센서의 종류에 따라 분류하면 스테레오 카메라 등의 영상센서를 이용한 방법과 레이저 스캐너 등의 거리센서를 이용한 방법으로 나눌 수 있다. 영상센서를 이용한 위치인식 방법 중 가장 대표적이고 현재 연구가 활발히 진행되는 기술로 비주얼 오도메트리(visual odometry)기술이 있고, 거리센서를 이용한 방법으로는 파티클 필터(particle filter) 및 스캔매칭(scan matching)에 기반한 방법이 있다. 센서의 특성이 상이하기 때문에 사용된 방법, 위치인식 결과, 정확도, 적용 대상 등도 다양하다. 많은 위치인식 방법이 실내 이동로봇의 위치추정 분야에서 연구되고 적용되었기 때문에 이동로봇의 위치추정 연구를 참고하는 것이 야외환경에서의 무인차량의 위치인식 기술을 이해 및 개발하는데 도움을 준다.

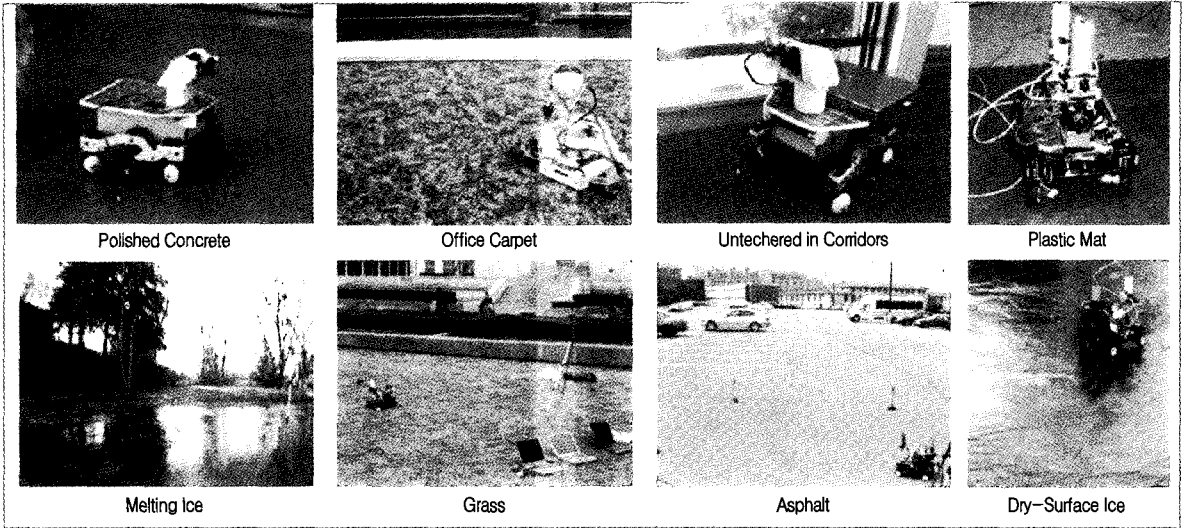


그림 4 비주얼 오도메트리가 테스트된 다양한 환경(미국, CMU & Intel)

비주얼 오도메트리를 이용한 위치인식

주로 평평한 바닥에서 주행하는 실내 이동로봇의 경우 기본적으로 바퀴나 모터에 부착된 엔코더 정보를 이용하여 자신의 위치 변화를 계산하는 휠 오도메트리(wheel odometry)를 사용한다. 바닥과 바퀴 사이의 미끄러짐인 슬립이 없는 상태에서는 위치변화량을 비교적 정확히 계산할 수 있지만, 슬립이나 바닥의 요철 등으로 인해 위치 계산량에 오차가 발생할 수 있다. 야외환경의 경우 바닥 자체가 평평하지 않은 3차원 환경이고 다양한 요인에 의해 슬립이 발생하기 때문에 휠 오도메트리로 차량의 위치를 정확히 계산하는 것은 불가능하다. 이에 대한 대안으로 INS(Inertial Navigation System)가 있지만 가격이 매우 고가라는 단점이 있

비주얼 오도메트리의 가장 큰 장점은 단안 카메라, 스테레오 카메라 등의 비교적 저가 센서를 사용하여 실시간으로 무인 차량의 6자유도 움직임을 계산할 수 있다는 것이다.

고, 좀더 현실적인 대안으로는 단안 카메라나 스테레오 카메라를 이용한 비주얼 오도메트리 기술이 있다.

이 기술의 개발 초기에는 주로 저가의 단안 카메라를 사용하여 실내 환경에서 위치를 인식하는 연구가 수행되었지만, 현재는 그 뿐 아니라 하나 이상의 스테레오 카메라를 사용하여 야외환경에서 로봇이나 무인차량의 위치를 인식하는 연구도 활발히 수행되고 있다. 기본 개념은 간단하다. 우선 영상에서 특징이 될 만한 것을 추출한다. 짧은 시간 후의 새로운 영상에서도 특징이 될 만한 것을 추출한다. 두 영상에서 추출

한 특징을 비교하여 동일한 특징을 찾고 영상 내에서의 특징의 이동량을 계산하면, 역으로 카메라의 이동량, 즉 로봇이나 무인차량의 이동량을 계산할 수 있다. 따라서 이론상 영상에서 특징을 안정적으로 추출하고 동일한 특징을 찾을 수 있으면 카메라의 6자유도 운동을 계산할 수 있다. 야외환경은 종류 및 특성이 매우 다양하기 때문에 안정적인 특징 추출 기술을 개발하는 데 아직은 많은 연구가 필요하지만, 휠 오도메트리 및 INS를 대체할 수 있는 기본 위치추정 방법으로 무인차량에서 활용될 것으로 예상된다.