



# THEME 02

## 자율주행기술

권인소 | KAIST 전기전자공학과, 교수 | e-mail : iskweon@kaist.ac.kr

자율주행기술은 로봇이 어떤 작업을 하기 위해 스스로 환경을 파악하고 경로를 생성하고, 경로를 따라 동작하는 것을 의미한다. 무인로봇의 자율 주행을 위해, 현재 국방무인화기술 특화연구센터의 자율주행연구실에서 개발되고 있는 기술에 대해 다루어본다.

자율주행 연구는 실외 환경하에서 무인차량의 자율 주행을 위한 기본 연구로서 통합경로계획 알고리즘을 개발하여 이를 구현하는 것을 목표로 한다. 이와 함께, 실제 야외 환경에서의 테스트를 통해 개발된 통합경로 계획 알고리즘의 유용성을 시험/평가한다. 이와 더불어 월드 모델링 기반의 지형을 다중 센서를 이용하여 분류하고 인식하며 센서 융합을 통해 지형 인식 성능을 향상시키고, 다중센서로부터 획득된 정보를 처리하여 2D 혹은 3D 모델을 추출하며 이를 실시간으로 지도 (DEM/DSM)와 매칭하여 무인주행 차량의 정확한 위치를 3차원 공간에서 추정한다. 한편, 이와 같은 작업들과 관련한 실시간 동역학 해석을 위해서 효율적인 운동 방정식의 구성, 실시간 해석을 달성하기 위한 효율적인 적분 알고리즘 개발, 개발된 운동방정식에 야외 자율 주행을 위한 능동제어 알고리즘 작용 등을 연구한다.

### 실외 환경 자율 주행을 위한 통합경로계획 연구

계층적 통합 경로 계획 기법의 연구를 위해 GPS, LMS, IMU와 같은 센서를

이용하여 전역/지역 경로 계획법 통합을 위한 파라미터 정의 및 구조 제안과 통합 경로 계획구조에 적합한 통합 지도 형식을 제안 하여 임시지도 및 임시 순열을 활용한 재계획 횟수를 최소화 하였다.

계층적 경로 계획에서는 주어진 환경지도정보를 이용해서 차량의 주행 전 미리 전역경로계획을 수립하는 Priori Off-line planner과 주행 중에 장애물을 인지 하면서 충돌 회피 경로 탐색경로를 분류하는 Local on-line planner 그리고 전역 경로상의 장애물 충돌 회피를 위한 경로의 세분화 및 블록화, 블록화된 지역에서 걸림돌이 인지되는 경우 그 블록이 포함된 전역경로는 제외하는 path segment within the roadmap이 있다.

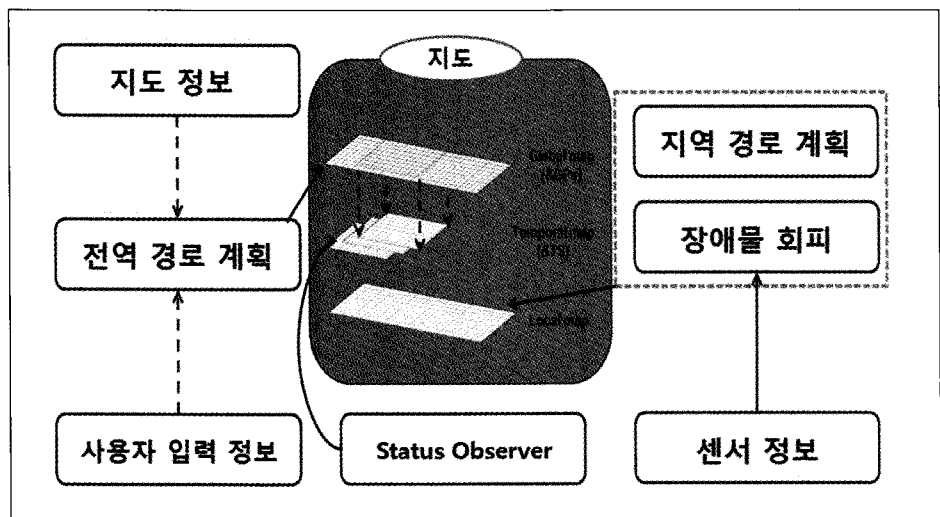


그림 1 통합경로계획의 구조

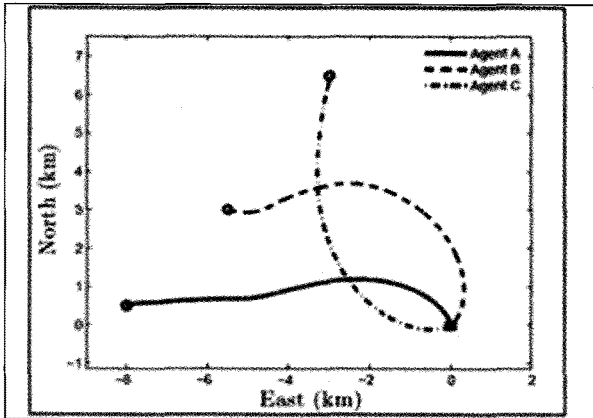


그림 2 Time-to-go 접근법을 사용한 랑데부

최적화 및 경로 재설정을 위해서는 새로운 경로 분류의 가격함수를 최소로 하는 경로를 재설정하는 Path replanning technique과 Dijkstra 알고리즘의 적용을 통해 충돌 회피된 현재 위치에서 목적지까지의 경로를 재설정해주는 shortest path search가 있다.

### UGV/UAV 통합 운용을 위한 협업 제어

UGV/UAV 통합운용을 위해서는 다수의 UGV/UAV를 가정하고 특정한 상황에서 생존 및 공격을 목적으로 하며 이를 위해서 다중 로봇 시스템의 랑데부 문제를 풀기 위하여 목표 지점까지의 도달 시간변수(time-to-go variable)를 정의하고, 이 변수를 consensus시키기 위한 제어 입력과 특정 목표지점을 감시하는 시나리오를 가정하였다, 또한 목표 주위에 limit cycle을 설정하여 경로를 유지하고 목표물을 감시하며, 각 로봇들 간 일정 거리 유지를 위한 제어인 다중 로봇 시스템의 분산 협업 제어 관련 연구를 하고 있다.

다중 로봇 대형에서

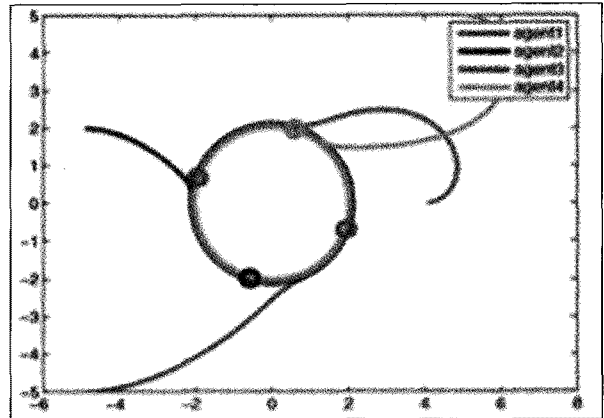


그림 3 분산제어를 사용한 목표물 감시

는 3대의 UGV로 구성된 로봇이 대형을 유지하며 목표점으로 주행하는 것을 목표로 목표점에서의 인력과 타로봇 및 장애물에서의 척력을 적용하는 포텐셜 함수와 가상의 언덕을 생성하여 일자 대형을 유지하는 것에 대한 연구를 진행한다.

포텐셜 필드 기법은 정의가 간단하여 적용이 용이하나, 국부(local) 최적해에 빠질 가능성이 있음에 이를 개선하기 위해 조화함수를 이용하는 기법이 연구되었다.

조화 포텐셜(Harmonic Potential) 기법은 조화함수를 유체역학의 속도 포텐셜과 유선방정식을 이용하였으므로, 유선을 따르는 부드러운 경로가 생산된다. 조화함수를 포텐셜 필드에 적용할 경우, 위협의 경계에

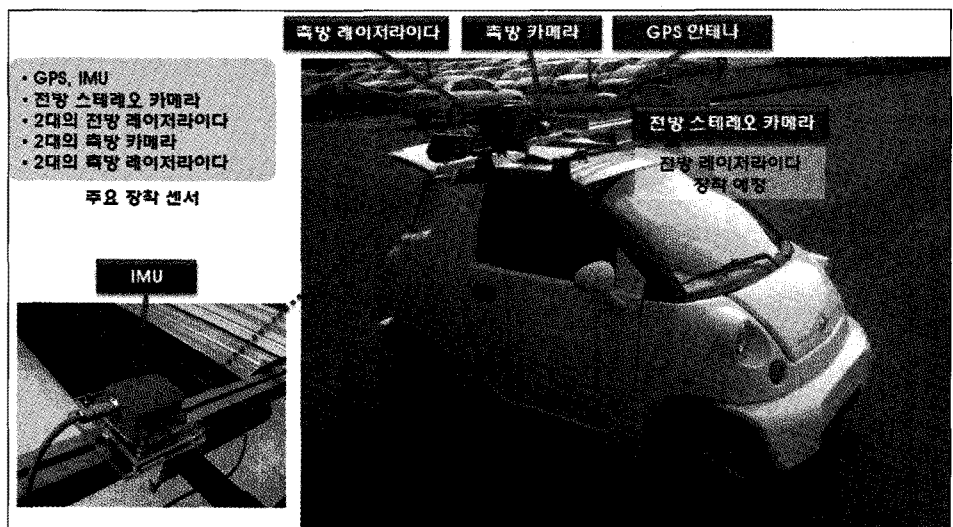


그림 4 시공간 통합 월드모델링을 위한 로봇 시스템

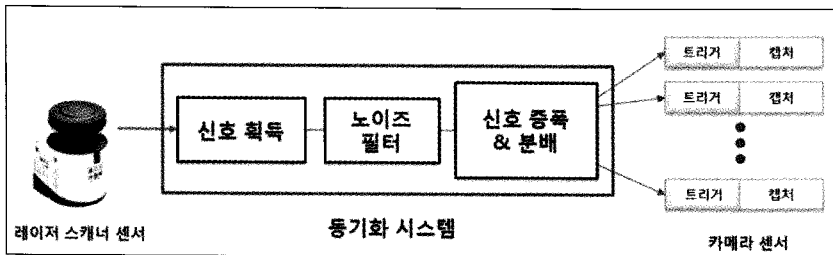


그림 5 동기화 시스템

서만 극값(extremum)이 존재하게 된다. 따라서 최대 경사법(steepest gradient descent)에 의해서 생성된 경로는 국부최적해의 문제를 피하면서 표적까지 도달하는 경로를 생성할 수 있다.

### 다중센서 기반의 월드모델링 및 상호운동추정 연구

다중센서 기반 시공간 통합 모델링을 위해서는 차량 위치가 가능한 센서(GPS, IMU 등)와 차량 위치 추정 가능한 전방 스테레오 카메라, 월드 모델링을 위한 전/측방 레이저 라이다를 이용한 시공간 통합 월드 모델링 시스템을 개발하고 Visual odometry와 DGPS/IMU를 통한 로봇 위치 추정이 가능한 알고리즘을 연구하였고 카메라 및 레이저 라이다 기반 점군 형식의 시공간 통합 모델링과 센서 융합을 위한 다양한 스테레오 매칭 알고리즘을 연구하였다.

Stereo vision 기반의 지형 복원 알고리즘을 위해 point cloud 생성을 위해 stereo algorithm과 CRF-Matching을 제안하였다.

발생하기 때문에 GPS를 사용하지 않고 로봇 위치를 추정하기 위해 레이저 및 영상 정보를 사용한 키프레임 작성과 토폴로지 맵과 매트릭 맵의 특성을 융합한 하이브리드 맵을 통해 로봇의 위치를 추정하는 연구를 진행한다.

하이브리드 맵을 작성하는 방법은 다음과 같다. 각각의 특징량을 표현해 줄 수 있는 키프레임을 결정하여 토폴로지컬 맵을 만든 후 센서특성에 따른 가중치를 결정하여 레이저 키프레임들과 카메라 키프레임들을 연결하고 통합 키프레임을 결정한다. 이렇게 결정된 통합 키프레임 사이에 ICP(Iterative Closest Point) 알고리즘을 사용하여 작성한 매트릭 로컬맵 정보를 연결한다. 레이저 정보는 현재 위치를 기준으로 정확한 절대 거리 정보와 같은 지형정보를 제공해 줄 수 있지만 특징적인 정보를 추출하기 힘들기 때문에 현재

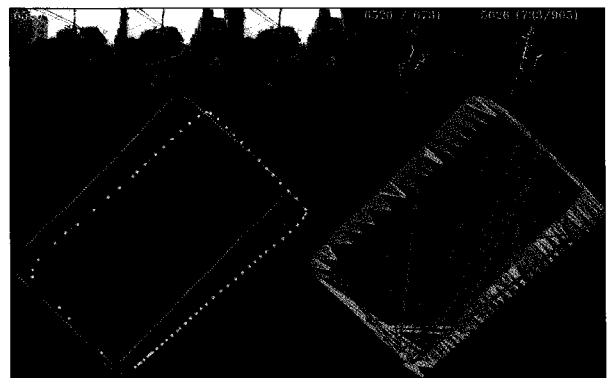


그림 6 센서 융합을 통한 위치 인식 결과

### 다중센서 기반의 지형 인식 및 융합 기술 연구

로봇에 장착된 GPS는 로봇의 위치 추정을 위해 널리 사용되고 있지만 수신율이 되지 않는 경우가

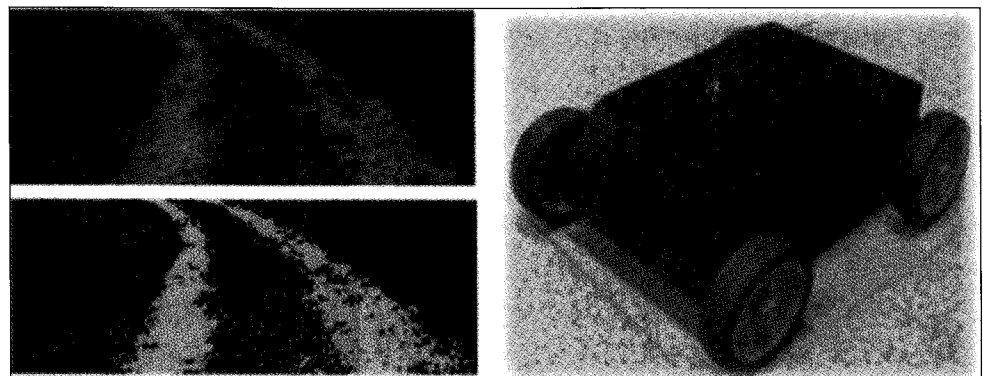


그림 7 지형 인식 결과 및 마찰 계수 추정 로봇 플랫폼

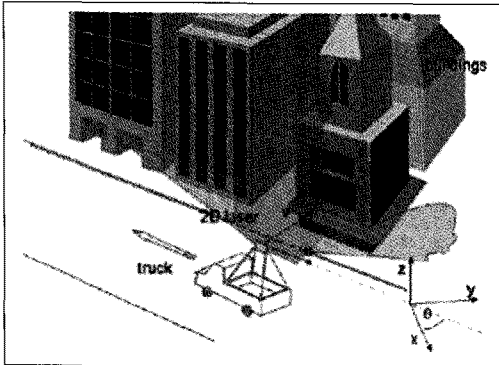


그림 8 파티클 필터를 이용한 실외 위치인식

의 레이저 정보를 다른 레이저 정보들과 구분하여 표현하기 어렵다. 그래서 로컬한 정보들을 누적하여 글로벌한 매트릭 맵을 만들지만 누적 오차로 인하여 정확한 위치정보를 추정하기 힘들다. 이를 보완하기 위하여 레이저 정보를 표현해 줄 수 있는 판별자를 개발한다. 레이저 정보는 레이저 센서의 위치에 따라 데이터의 값이 다르게 나타나기 때문에 현재 스캔된 데이터의 중심 좌표를 기준으로 새로운 데이터를 생성하여 정규화 한다. 정규화된 현재 프레임의 레이저 정보 히스토그램을 다음 프레임의 히스토그램과 비교하여 거리차가 일정 이상 발생할 경우 새로운 키프레임으로 저장한다.

영상 키프레임을 결정하기 위해서는 현재 영상에서 SURF(Speeded Up Robust Feature)로 특징점을 추출한 후 영상간의 특징점 매칭점 수가 줄어들면 새로운 키프레임으로 저장한다. 하지만 레이저 센서가 영상 센서에 비해 상대적으로 유효거리가 짧기 때문에 단위 시간당 많은 변화를 갖는다. 따라서 각 영상 키프레임과 가장 가까운 레이저 키프레임을 정하고 두 프레임간의 중간거리에 있는 레이저와 영상 데이터를 통합하여 키프레임을 결정한다.

이렇게 만들어진 하이브리드 맵은 현재의 레이저 정보 및 영상 정보를 각각의 키프레임과 매칭을 통해 대략적인 현재의 위치를 결정한다. 이렇게 초기 현재 위치를 현재 레이저 정보와 결정된 키프레임 사이의 로컬 매트릭 맵과의 ICP 매칭을 통해 대략적인 현재의 위치를 결정한다.

로봇이 현재 위치한 지형의 형상 및 특성을 해석하여 로봇의 가동성 지도(이동성, 민첩성) 지도를 생성할 수 있다면 인식된 지형 정보로부터 보다 효율적인 경로 계획이 가능하게 된다. 이를 위해 가속도 센서의 z-축, 모터 전류 측정, Tilt 센서의 y-축 데이터를 통해 지형의 특징을 분석하여 모래, 아스팔트, 자갈 세 가지 지형을 분류 하였다.

### 실시간 3D 매칭 및 합성 알고리즘 연구

2차원 평면에서 움직이는 이동로봇의 위치변화를 파악하기 위해서는 엔코더가 많이 사용된다. 그러나 야지에서 주행하는 무인차량과 같이 3차원 공간에서 움직이는 물체의 이동을 파악하기 위해서는 엔코더만으로는 부족하다. 따라서 실시간으로 무인차량의 3차원 공간상에서의 상대적인 이동량을 파악하는 기술이 필요하다. 가장 적합하고 우수한 방법 중 하나가 비주얼 오도메트리(odometry)다. 비주얼 오도메트리에서는 영상에서 코너, SIFT 특징 등을 추출한 후, 매칭과정을 통해 연속되는 영상에서 추출한 특징간의 연관관계를 파악한다. 동일한 특징의 영상에서의 이동을 분석하면 역으로 차량의 이동을 계산할 수 있다.

비주얼 오도메트리를 수행하기 위해서 가장 중요한 것은 영상에서 특징 추출, 매칭, 추적이다. 야지에서 추출할 수 있는 특징은 다양한데 가장 대표적인 것으로 코너와 SIFT 특징이 있다. 파티클 필터에 기반한 위치인식은 실내이동로봇 분야에서 많은 연구와 데모를

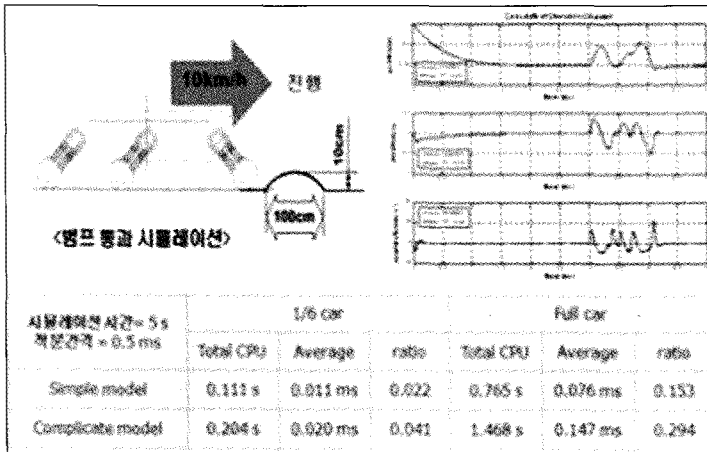


그림 9 조인트 좌표계 부분 시스템의 해석 결과

통해 널리 입증된 방법이다. 이 방법은 센서 노이즈에 강인하고, 로봇의 초기위치를 정확히 모르는 상태에서 로봇의 위치를 찾을 수 있는 장점이 있다. 최근에는 실외주행에서 파티클 필터를 이용하여 차량의 위치를 추정하는 연구가 시도되고 있다.

### 야지 자율주행 능동제어를 위한 실시간 다물체 동역학 해석 기법 연구

다물체 동역학 해석기술은 차량의 개발 및 성능 향상에 많은 기여를 하고 있는 해석 분야이다. 더욱이 최근에는 제어나 진동 해석에서도 많이 이용되고 있다. 이러한 동역학 해석모델은 제어시스템의 설계 및

성능 향상에 큰 역할을 할 수 있다.

야지주행 능동제어를 위해서는 실시간 해석이 가능한 조인트 좌표계 부분 시스템 합성 기법을 통해 복잡한 운동 방정식을 간소화시켜 동역학 해석 주행 시보다 향상된 실시간성을 확보하였고, 통합 병렬해석기법으로 운동 방정식을 두개 이상의 RT-LAB시스템에 분산시켜 병렬해석을 수행하여 계산의 효율을 향상시켰다. 개발된 부분 시스템 합성방법은 구조상 병렬처리에 적합한 알고리즘인데, 완벽한 병렬처리를 구현하기 위하여 실제 두 개 이상의 CPU를 이용하여 병렬로

계산이 되어야 한다. 이 때 조인트 좌표 부분 시스템 합성법의 운동방정식을 두 개의 target PC에 분산시켜 동역학 계산 모듈을 분산 처리하여 해석을 수행할 수 있도록 한다. 이는 한 개의 target PC로 계산을 처리하는 것보다 약 20% 이상의 계산 효율성을 증대시킬 수 있다. 실시간 운동방정식 해석 기술은 최대한의 실시간성 보장을 통하여 로봇의 자세나 주행상태에 따른 구동기의 제어 알고리즘에 적용하여 활용할 수 있다. 특히 로봇의 주행 안정성을 높이는 방향으로 이를 적용할 수 있는데, 주행 안정성을 높이는 방안 중 sky-hook 제어를 6X6 차량 모델이 적용하여 제어 전 후의 주행 안정성에 대하여 연구하였다.



### 기계용어해설

#### 액체 암모니아(Liquid Ammonia)

무색의 액체로, 비점은  $-33.4^{\circ}\text{C}$ 이며 무기물, 유기물을 용해시키고, 용제, 비료 등으로 쓰이는 압축액화 암모니아.

#### 브라인 냉각기(Brine Cooler)

냉장고나 제빙장치에서 냉매의 팽창에 의하여 먼저 브라인을 냉각시킨 후 그것을 순환시켜 냉각시키는 기계 즉, 브라인에 의한 냉각기.

#### 버퍼 가스(Buffer Gas)

컴프레서 등에서 취급하는 기체가 축을 따라 외부로 누설되는 것을 막기 위하여, 무해 가스를 축의 패킹 그라운드부에 공급하는 기체.

#### 버핑 머신(Buffering Machine)

버프 바퀴의 바깥쪽 둘레에 고온 연마재를 바른 후, 이것을 회전시켜 공작물 표면에 대고 정밀하게 연마하는 작업을 하는 기계.