

Special
Thema

| 무인 자율주행 자동차의 전자제어 시스템의 기술동향

1. 서론

윤득선 교수
(경기공업대학 메카트로닉스학과)

최근의 무인자동차와 관련한 세계적인 이슈는 현실화와 실용화에 보다 큰 관심이 쏠리고 있다. 기존의 안전한 도로와 연구실에서만 머물던 연구결과를 이제야 사막과 혼잡한 도심에서 사용할 수 있는 무인 자동차의 요구가 절실하여진 탓이라 할 수 있겠다. 이러한 추세에 맞물려 미국에서는 DARPA의 프로젝트 중에 하나인 Grand Challenge 대회를 개최하여 세계적인 이목을 받은 적이 있다. 그러나 2004년, 첫 대회에서는 저자도 직접 참여하였으나 한 팀도 완주하지 못하여 실패를 하게 되었다. 그 후 1년이 지난 작년에는 처음 대회의 주행 코스를 완주한 차량이 탄생했다. 네바다 사막에서 개최되는 이 대회에는 수많은 대학과 연구단체가 모여 200만 달러라는 상금과 무인 자동차의 최첨단 기술이며 가장 어려운 기술 중에 하나인 사막의 무인횡단 기술을 성공시키기 위하여 불철주야로 노력하였다.

2005년, 모하비 사막을 건너 100마일이 넘는 거리를 센서와 컴퓨터로만으로 10시간 이내에 주행하여 우승을 차지한 미 스탠포드 대학 레이싱 팀이 만든 무인 자동차는 독일의 폭스바겐 투아렉 R5 모델인 일반 승용 SUV를 개량하여 제작하였으며 컴퓨터와 센서에 의존해 6시간 53분 만에 전체 코스를 완주하여 우승을 차지했다.

미 국방성에서는 지난 걸프 사막전에서 미군의 사상자의 대부분이 사막지역의 이동과정에서 발생한 것을 주목하고 2015년 이내로 미군의 이송차량의 70% 이상을 무인화 할 것을 목표로 각 연구단체와 우수 대학에 연구를 독려하였다. 이의 일환이 DARPA Grand Challenge 대회이며 작년의 우승팀이 출현한 것을 시작으로 하여 더욱 연구에 박차를 가하고 있다.

다가올 2007년 대회에서는 사막지역의 통과뿐만 아니라 민간 도심혼잡 지역을 통과하여 주행하는 한층 더 어려운 미션을 제시하고 있다.

본 칼럼에서는 위에서 언급한 미 국방성에서 추진하는 군사용의 무인차량 뿐만 아니라 상업용으로 곧 우리의 삶에 다가올 무인 자동차에 사용될 각종 센서들에 대해서 설명하고 그 원리에 대해서 알아보기로 한다. 또한, 본 칼럼에서는 무인 자동차의 자율주행 성능을 보조하고 완성시키기 위한 기본 시스템인 센서시스템과 알고리즘에 대하여 기술적인 동향을 파악하여 관련한 연구자에게 조금이나마 도움이 되고자 한다.

2. 본론

2.1 무인 자동차의 기본구조

무인 자동차의 기본구조는 크게 하드웨어와 소프트웨어 부분으로 나뉘며, 본 칼럼에서는 하드웨어 부분 중에서 센서 부분을 집중적으로 조명해 보고자 한다. 우선 무인 자동차 기술이 가장 앞서있는 미국의 군사용의 무인 자동차 개발에 초점을 두고 있는 DARPA Grand Challenge에서 선보인 자동차들의 특징을 살펴보기로 한다.

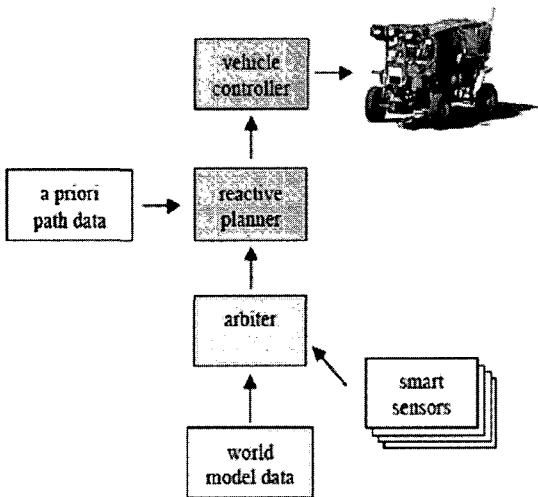


그림 1. 기본적인 무인 자동차의 신호흐름도.

미국의 무인 자동차에 관련한 연구단체들은 서로의 연구과정이 유사함을 깨우치고 선진 연구단체들이 모여 무인 자동차의 표준안을 제시하였다. 이 제안은 매번 개정되어 시대의 변화에 발 빠르게 적응하고 우수한 센서와 무인 자동차의 성능향상에 기여할 수 있는 센서의 인터페이스 방안의 기준을 제시하여 서로의 개발단계를 줄여나가 새로운 시스템의 성능향상에 주력할 수 있도록 하였다. 또한, 여러 차량을 동시에 개발하거나 몇 개의 팀으로 분류하여 센서 시스템을 개발하는 경우, 서로 개발한 시스템을 최소한의 시간으로 인터페이스 할 수 있는 표준안이 되고 있다.

이 표준안을 JAUS(Joint Architecture for Unmanned System)라 하고 현재 버전 3.0까지 제출된 상태이다.

위의 그림1에서는 JAUS에서 제시하는 기준을 토대로 하는 시스템에서의 센서의 데이터 흐름을 보이고 있다. 이 흐름도에서 볼 수 있듯이 모든 센서에서 출력되는 데이터는 모두 최종적으로는 차량의 자세를 제어하는 기준이 되며 또한, 차량의 주행 궤적과 주행의 방향을 결정하기 위한 기초 데이터로서 사용된다.

그림2와 그림3에서 보이는 무인 자동차는 이와 같은 JAUS의 기준에 입각하여 제작한 대표적인 무인

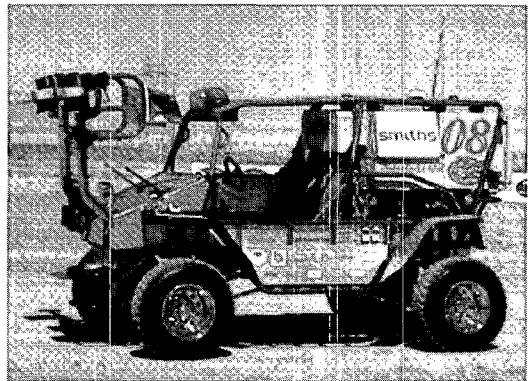
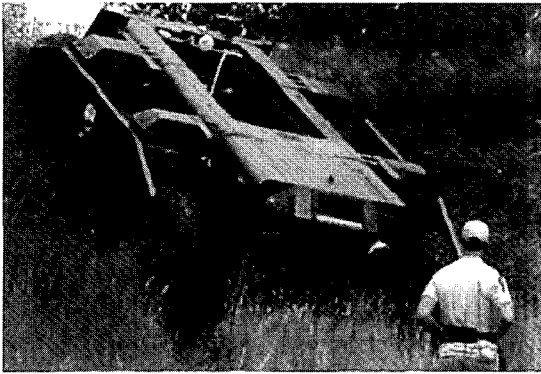
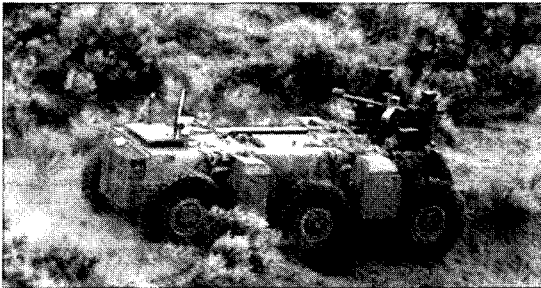


그림 2. 플로리다 대학에서 개발한 무인 자동차 (NaviGator).



(a)



(b)

그림 3. 카네기 멜론 대학교의 국립 로봇공학 연구센터 (NREC)에서 개발 중인 Crusher.

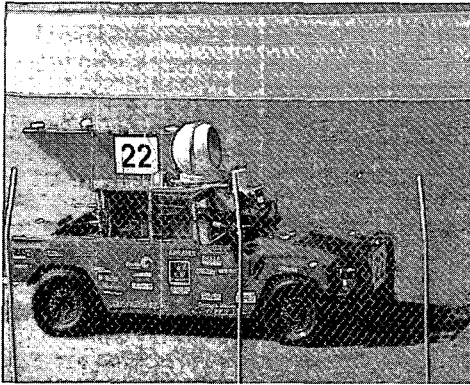
자동차를 보이고 있다. 그림2는 플로리다 대학에서 개발한 승용 SUV를 기반으로 자체 제작한 무인 자동차를 보이고 있다. 그림3에 보이는 카네기 멜론 대학교의 Crusher는 2008년에 실전에 배치될 예정이며 6톤이 넘는 무게를 수송할 수 있고 사고 시 전복되어 뒤집힌 후에도 주행이 가능하도록 제작되었다.

무인 자동차에서 가장 중요한 부분인 센서 시스템의 최신 동향은 위에서 언급한 바와 같이 단순히 경고(Warning)와 사건검출(Event Detecting)의 용도로 쓰이던 기존의 개념에서 탈피하여 센서를 이용하여 주변 환경의 데이터를 구축함으로써 소위 환경 모델 데이터(World Model Data)를 생성하여 데이터를 이용하는 인간에게 보다 편리성을 제공하는 것으로 개발되고 있다.

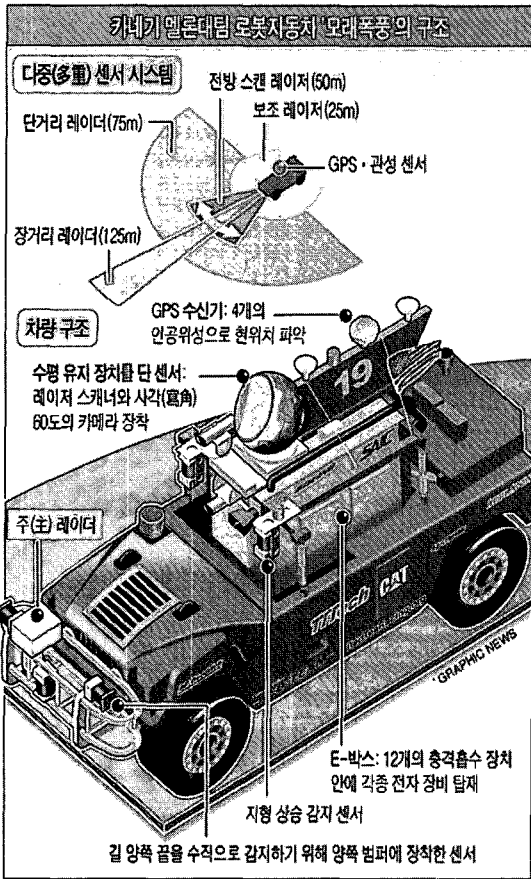
이를 완성하기 위하여 JAUS에서 제공하는 시스템의 최상의 계층구조는 아래와 같이 4부분으로 나뉜다.

1. 계획부(Planning Element) : 이 부분은 주행 중에 생성되는 데이터의 전처리부와 같은 역할을 한다. 이미 인식하고 있는 도로, 인도, 장애물뿐만 아니라 같은 도로에서 이동하는 다른 차량 등에 대한 데이터를 처리하게 된다. 뿐만 아니라, 인식하지 못하고 있는 임의의 도로에 대해서도 데이터를 확보하여 저장하고 처리하는 부분이다(그림1에서 World Model Data와 a Priori Path Data 부분).
2. 제어부(Control Element) : 무인 자동차가 원하는 경로와 도로 안에 있도록 페루프 형태로 제어 동작을 수행하는 부분을 의미한다(그림1에서 Vehicle Controller 부분).
3. 감지부(Perception Element) : 무인 자동차가 주행하는 도로의 노면을 인식하고 주행이 가능한 도로를 판별하고 도로나 그 주위에 장애물을 검출하여 무인 자동차의 조향각을 생성하는데 기준이 되는 부분을 말한다(그림1에서 Smart Sensors와 Arbiter 부분).
4. 인공지능부(Intelligence Element) : 감지부에서 획득한 정보에서 소위 최적의 주행방향을 결정하는 부분을 말한다. (그림1에서 Reactive Planner부분)

위에서 언급한 바와 같은 계층으로 구성된 무인 자동차의 센서 시스템에 대하여 좀 더 언급하고자 한다. 센서 시스템에서 사용하기 위하여 채택한 센서 중에서 가장 널리 알려진 센서들은 보통, 초음파 센서, 레이저 스캐너, 스테레오 비전센서, GPS 등등이 있으며 계획부에서 사용하기 이전에 각각의 센서들에 대한 정확한 검증이 이루어져야 한다.



(a)



(b)

그림 4. 무인 차량에 사용되는 대표적인 센서(인용: 조선일보).

3. 센서 시스템

무인 자동차에 사용되는 대표적인 센서 시스템에 대하여 정리하였다. 무인 자동차는 무인화의 목적을 이루기 위하여 센서의 사용이 절대적이라 할 수 있으나 아직까지는 각 센서간의 융합과 센서의 데이터 처리속도, 신뢰도가 완벽한 수준에 이르지 못하여 인간이 직접 주행하는 성능에는 미치지 못하고 있다.

그림4에서는 카네기 멜론 대학교의 무인 자동차 개발팀에서 제작한 SAND STORM의 모습과 세부 사항을 보이고 있다.

3.1 초음파 센서

초음파 센서는 흔히 거리 측정이나 전방의 물체 유무를 알기 위해 사용되어져 왔으나 근래에는 LED의 발달로 근거리에서 전방 장애물을 위한 판단용 센서로는 거의 쓰이지 않고 있으나 LED와는 달리 빛의 반사에 대한 영향이 적고 데이터 처리가 편리하여 종종 사용되고 있다.

초음파는 빛의 산란이나 습도, 자외선 등에 외란에 매우 강하므로 복잡한 필터를 설계하지 않아도 된다는 점도 초음파 센서가 실외의 무인 자동차에서 많이 사용되는 이유다. 초음파 센서와 레이저 스캐너 센서, 비전 센서 등은 관성항법에서 사용되는 센서로 GPS와 같은 전파항법과는 구분된다. 즉, 전파항법은 위성이 가시범위에 적어도 3개 이상 확보되지 못하는 경우에는 즉시 항법의 기능을 상실하게 되므로 관성항법의 중요도는 매우 크다고 할 수 있다.

송파기에서 초음파를 발사하면, 수파기로 측정 대상 물체에 부딪혀서 반사되어 돌아오는 초음파를 수파기로 수신하고, 초음파의 속도와 송신에서 수신까지 걸린 시간을 검출하여 장애물까지의 거리를 구할 수 있다. 초음파 센서를 이용하여 거리를 산출하는 수식은 아래와 같이 쓸 수 있다.

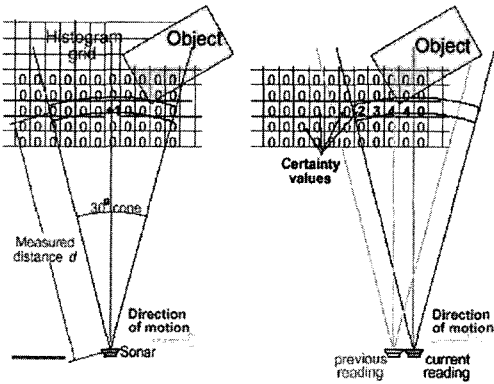


그림 5. 확률값의 원리로 장애물을 검출하는 초음파 센서 알고리즘.

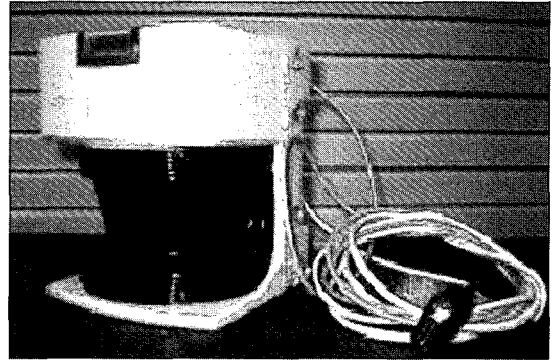


그림 7. SICK 레이저 스캐너 센서의 외관.

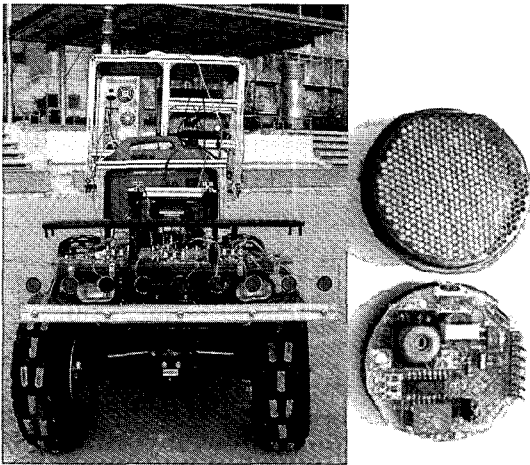


그림 6. 헴로주행 차량에 장착된 초음파 센서(국민대학교 제작).

대상 물체까지의 거리: L [m]
 측정된 시간: T [s]
 음속: V [m/s]
 기온: t [°C]

$$V = 331.5 + 0.6 \cdot t \text{ [m/s]} \quad (1)$$

$$L = (T \cdot V) / 2 \text{ [m]} \quad (2)$$

초음파 센서는 물체의 인식을 반사파에 의하여 검출하므로 위와 같이 장애물이 초음파의 방향과 편향되어 있는 경우는 초음파가 반사되어 장애물의 검출이 어려우므로 그림5에서 보이는 바와 같이 확률값(Probability)의 분포도(Distribution)를 이용하여 장애물의 유무를 결정해야만 한다.

무인 자동차에서는 보통 여러 개의 초음파 센서를 묶음으로 배열하여 그림6에서 보이는 것과 같이 장착하여 사용하고 있다. 초음파 센서의 특성상 하나의 초음파 센서만을 이용하여 장애물을 검출하기에는 어려운 점이 많기 때문이다.

3.2 스캐너 센서

무인 자동차에서 관성항법용으로 사용되는 레이저 스캐너 센서는 신뢰도가 높아야 하며 안개, 먼지, 습기 등의 외부환경에 강한 저항력을 가져야만 한다.

이를 위하여 고가의 레이저 스캐너 센서를 구하는 것도 하나의 방법이나 고가의 상용의 레이저 스캐너 센서도 결국 제작상의 한계를 가지고 있으므로 반드시 프로그램 상에서 외란적인 요소를 제거할 수 있도록 기술을 확보하여야 한다. 즉, 프로그램에서 외란의 요소를 필터링하여 장애물의 정확한 위치를 생성해 줄 수 있어야 한다.

레이저 스캐너 센서는 아직까지는 고가의 장비로

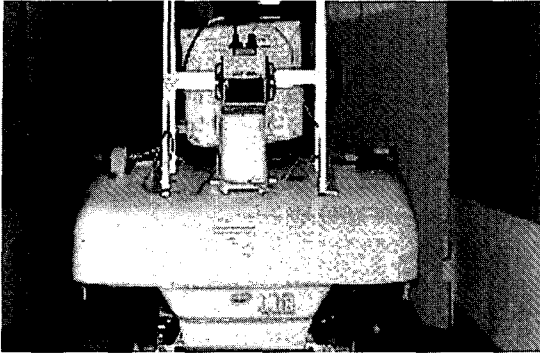


그림 8. 무인 자동차에 장착된 모습.

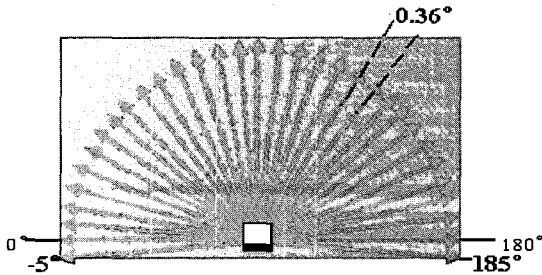


그림 9. 레이저 스캐너 센서의 정밀도.

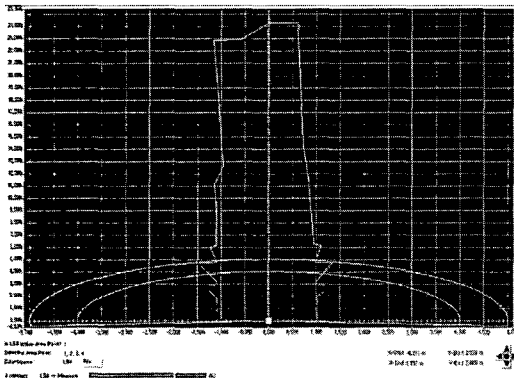


그림 10 레이저 스캐너를 이용한 도로의 맵핑결과

인식되고 있으나 안정적이며 신뢰도가 높은 센서이며 가장 널리 사용되고 있는 센서이다.

그림8에서는 무인 자동차에 장착된 레이저 스캐너 센서를 보이고 있다. 보통의 레이저 스캐너 센서는 그림9에서 보이는 정도의 정밀도(Resolution)와 검출범위(Detection Space)를 가지며 그림10에서 보이는 방법과 같이 장애물을 검출하고 무인 자동차의 주행 경로방향을 새로이 결정하도록 데이터를 제공한다.

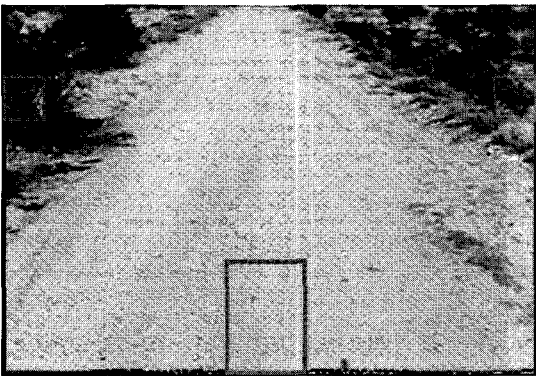
특히, 그림10에서 보이는 프로그램 환경은 보통 실험실에서 레이저 스캐너 센서의 성능을 확인하기 위하여 특별히 개발한 것으로서 각 연구단체마다 다를 수 있으나 실제 무인 자동차의 자율주행 시에는 메인루틴의 프로그램에 장애물의 검출과 선회향각을 연산할 수 있도록 데이터를 제공하게 된다.

3.3 비전센서

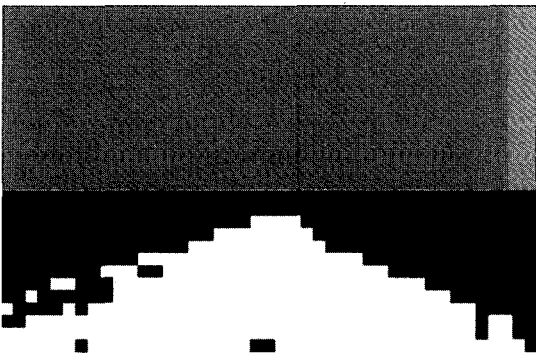
비전센서는 보통 영상처리를 이용하여 실제 차량을 운전하는 사람의 눈과도 같은 기능을 수행한다. 그러나 그림11(a)에서 보이는 바와 같이 주행이 가능한 도로와 주행이 불가능한 도로의 차이점이 이와 같이 불분명하게 되는 경우는 영상의 처리작업시간이 매우 느려지게 되어 센서로서의 성능이 저하된다. 보통 인간의 시각적 능력은 초당 18 Frame 정도로 알려져 있으나 영상처리 기술은 이보다 떨어진다. 이는 무인 자동차의 안전 주행속도를 저하시켜 자율주행 시의 최고속도를 제한할 수밖에 없으며 전체 성능을 떨어뜨리는 요소가 된다.

따라서 무인 자동차 연구에서 비전이 차지하는 비중은 절대적이며 영상처리 기술과 다른 센서들과의 최적의 융합이 최대의 관건이 되고 있다.

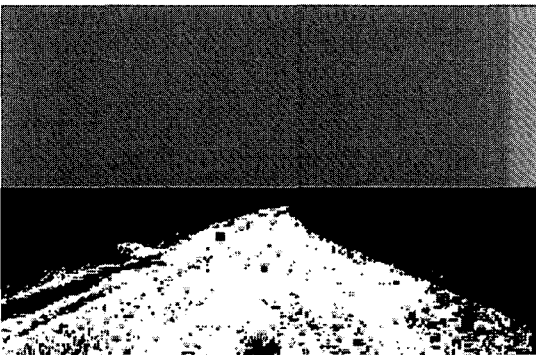
그림11(b)에서는 원래 영상을 블록화하여 구분한 영상의 처리를 보이고 있으며 그림11(c)에서는 잡음 영역을 제거한 이후의 영상 처리결과를 보이고 있다. 이는 모두 영상처리 전용 보드에서 독자적으로 수행된 이후에 메인 프로그램에 필요한 결과만 알려주도록 제작하여 보다 빠른 경로를 생성할 수 있도록 하고 있다.



(a) 주행도로의 실제영상



(b) 블록화된 원래 영상



(c) 잡음영역을 제거한 영상 결과

그림 11.

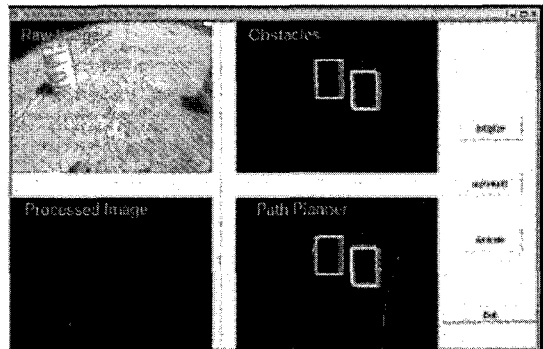


그림 12. 영상처리를 수행하고 경로를 생성하는 알고리즘을 수행하는 프로그램.



그림 13. 저가용으로 제공되고 있는 상용 GPS 안테나와 인터페이스 케이블.

그림12에서는 카메라에서 획득한 영상을 일괄적으로 처리하는 비전 센서의 성능을 측정하고 개발하기 위하여 구축한 GUI(Graphic User Interface) 개발 환경을 보이고 있다. 이 또한 개발자마다 다를 수 있으나 결과적으로 경로를 생성하는 기능을 수행함은 동일할 것이다.

3.4 GPS(Global Positioning System)

GPS는 이미 상용화되어 널리 사용되고 있으며 개인용으로도 개발되어 프로그램과 단말기를 보유한 사용자는 누구나 GPS를 이용할 수 있는 시대가 되었다. 무인 자동차에서도 GPS는 빼놓을 수 없는 중

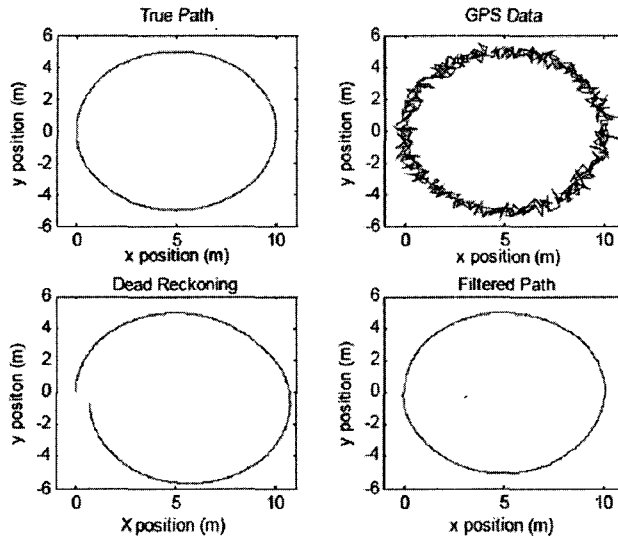


그림 14. GPS 데이터를 필터링한 결과 데이터.

요한 요소이며 지정된 경로를 통과하기 위한 중요한 기준 데이터를 제공하고 있다.

그러나 GPS는 기본적으로 군사용 전파를 수신하지 않고 상용의 전파를 수신하는 경우에는 SA(Selective Availability)가 포함되어 피할 수 없는 에러를 가지고 있으며 수신가능 빈도도 1초에 1번만 위치 데이터를 수신할 수 있다. 따라서 GPS 수신신호는 반드시 필터링 되어야하며 보다 정밀한 위치 데이터를 생성하기 위한 알고리즘이 개발되어야 한다.

그림14에서는 위에서 언급한 GPS 신호를 필터링하여 경로를 재구성하는 알고리즘을 수행한 결과를 보이고 있다. 이 알고리즘은 이미 많은 연구단계를 거쳐 상용화된 기술로서 완성차 업계에서도 이와 같은 알고리즘을 사용하고 있다.

4. 자율주행성능

무인 자동차에 있어서 자율주행 성능을 확보하기 위해서는 위에서 언급한 센서들의 융합(Fusion)도

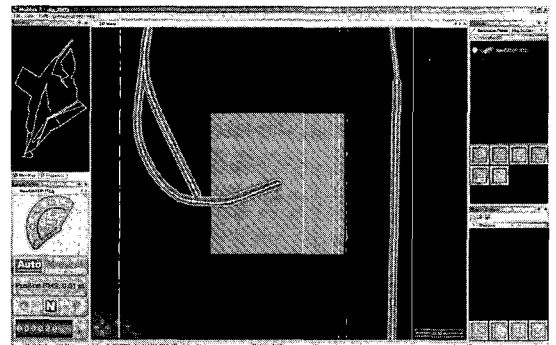


그림 15. 무인 자동차의 주행관리 프로그램.

중요하지만 전체적인 관리용 프로그램도 매우 중요하다. 이 부분의 연구가 같은 센서와 알고리즘을 사용하더라도 무인 자동차의 성능을 가늠하는 척도가 된다 할 수 있다.

무인 자동차는 주행 도중에 수많은 데이터를 센서로부터 읽어 들이고 이를 규합하고 융합하여 새로운 주행방향과 주행속도를 목표점에 도달하기 까지 지속적으로 수행하는 기능을 가지고 있어야 한다.

그림15에서 보이는 프로그램은 무인 자동차의 성

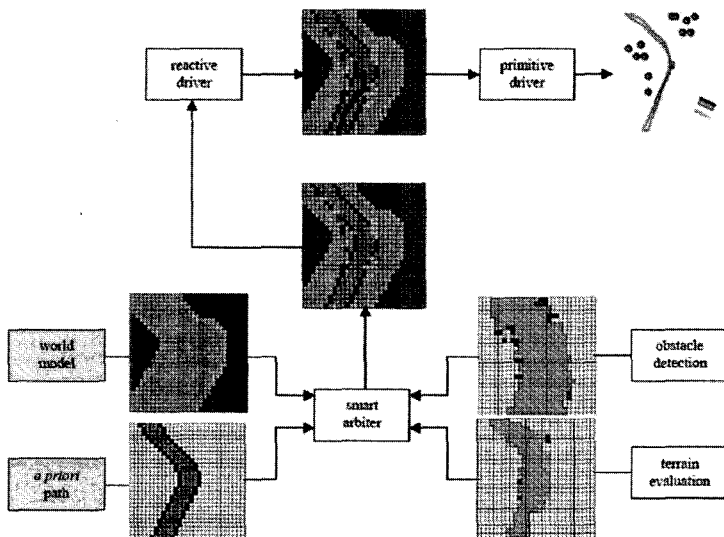


그림 17. 최종적으로 구성된 주행가능 지역과 불가능 지역의 구분 데이터 결과.

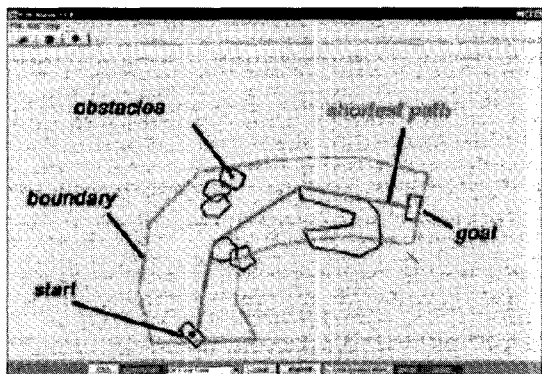


그림 16. 주행 결과 데이터로 재구성한 주행 경로.

능을 개발하기 위하여 개발된 프로그램의 한 종류로서 센서의 데이터 입력빈도수와 각 센서의 중요도 지수 책정, 생성된 새로운 경로 데이터로의 이동명령을 잘 수행하고 있는지 모니터링하는 기능을 수행하고 있다.

최근에는 이러한 기능이 점점 더 중요도를 더하고 있으며 소위 군사용으로 'war game' 형태를 가지고 개발되고 있는 추세이다. 즉, 여러 대의 운행이 가능한 탱크나 운송수단을 사용자가 웹으로도 경로를 수정하고 확인할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

그림16에서 보이는 결과 데이터는 무인 자동차의 주행경로 뿐만 아니라 획득한 주행가능한 도로의 영역과 장애물의 배치(Configuration)까지도 보이고 있다.

그림17에서는 컴퓨터상에서 주행이 가능한 도로를 격자형태로 규정하여 주위환경 데이터를 구축하고 이를 토대로 생성한 GUI 환경을 보이고 있다.

5. 결론

여기까지 미흡하나마 무인 자동차에서 사용되는 센서와 센서를 이용하여 새로운 경로를 생성하고 이를 토대로 자율주행하는 무인 자동차의 성능과 알고리즘, 전자제어 시스템에 대하여 알아보았다.

많은 연구자들이 오늘도 보다 완성도 높은 무인 자동차를 개발하기 위하여 오늘도 불철주야로 연구에 매진하고 있다. 현재 차세대 성장 견인 연구분야로서 로봇과 무인 자동차의 연구가 한창이나 아직은 국내에서는 괄목할 만한 연구성과가 없는 것이 실정이며 소규모의 연구단체에서 독자적으로 연구가 진

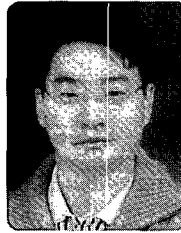
행되는 것이 대부분이다.

2005년, DARPA의 Grand Challenge 대회에서 우승한 팀의 연구원 세바스천 쓰룬(Sebastian Thrun)은 "군사용 뿐만 아니라 모든 사람에게 안전한 차세대 자동차를 위한 자동화 시스템을 고안했다"며 우승 소감을 말했다. 필자는 이러한 소감을 들으면서 국내에서도 Grand Challenge와 같은 대회가 하루빨리 개최되고 산재되어 있는 우수한 연구성과가 모두에서 선보이고 개발되고 규합되어 결과적으로 국가적인 성장 동력원이 되어주었으면 하는 바람이다.

참고 문헌

- [1] Architecture for Unmanned Systems (JAUS) Reference Architecture, Version 3.0, <http://www.jauswg.org/>
- [2] Elfes, A., "Using Occupancy Grids for mobile Robot Perception and Navigation," Computer Magazine, IEEE, pp. 46-57, June 1989.
- [3] Thrun, S., "Learning Occupancy Grid Maps with Forward Sensor Models," Autonomous Robots 15, 111-127, 2003.
- [4] Seraji, H., "New Traversability Indices and Traversability Grid for Integrated Sensor/Map-Based Navigation," Journal of Robotic Systems 20(3), 121-134, 2003.
- [5] Ye, C., and Borenstein, J., T-transformation: Traversability Analysis for Navigation on Rugged Terrain," Proceedings of the Defense and Security Symposium, Unmanned Ground Vehicle Technology VI (OR54), Orlando FL, 2004.

저자|약력



성명 : 윤득선

◆ 학력

- 1996년 국민대 자동차공학과 공학사
- 1998년 국민대 대학원 자동차공학과 공학석사
- 2002년 국민대 대학원 자동차공학과 공학박사

◆ 경력

- 2002년 - 2004년 Univ. of Florida, Aerospace & Mechanical Eng. Post Doctrate
- 2004년 - 현재 경기공업대학 메카트로닉스학과 겸임교수
- 2004년 - 현재 올랜드 건설 구조해석 선임 연구원

