韓國産業應用學會論文集, 제13권, 제2호, 85-92, 2010.05
J. Korean Society of Industrial Application, Vol.13, No.2, 85-92, May, 2010

무인자율차량 적용을 위한 DGPS 기반 전역지도 작성기법
Wide-Range Mapping Methodology for Unmanned Ground Vehicle Based on DGPS

손웅희[1], 유승남[2], 김영일[3], 한창수[4‡]
Woong-Hee Shon[1], Seung-Nam Yu[2], Young-Il Kim[3], Chang-Soo Han[4‡]

<Abstract>
This study shows the path generation algorithm for an UGV (Unmanned Ground Vehicle). The developed UGV frame which has a 4-wheel driven mechanism and diesel source is applied. Proposed vehicle system in this research is aimed to military purpose. To achieve the unmanned autonomous driving, following two main issues are considered. First, behavior module for positioning and posture of vehicle system and second, cognition module to receive the information from environment are proposed and verified. To do this, rover which can acquire the positioning information from earth coordinate and IMU (Inertial Measurement Unit) which can measure the posture are combined to design the path planning algorithm.

Keywords : UGV (Unmanned Ground Vehicle), DGPS (Digital Global Positioning System)

1. 서 론

모바일형 필드로봇의 주행 자율화를 위한 연구가 전세계적으로 활발하게 진행되고 있는 가운데, 기술 선진국을 중심으로 높은 완성도를 지는 다양한 개발 사례들이 발표되고 있다.[1)] 또한 기존의 자동차의 경우에도 첨단 전자 장비들이 시스템에 편입됨으로 인하여 시스템의 지능화 및 자동화가 비약적으로 향상되고 있는 가운데, 국내외의 다양한 기술 경연대회 및 민간 자동차 제조업체들의 경쟁적인 기술도입을 통해 기술적인 실용화가 상당 부분 진전되고 있기도 하다.[2)] 이러한 무인 자율 주행기술은 전술한 바와 같이, 세계적으로 수많은 연구 사례가 보고되고 있으며 기술적인 필요성에 대해서는 부연의 여지가 없다고 할 수 있다. 본 연구에서는 야전에서의 무인 자율화 주행을 목표로 개발된 4륜 구동형 차량의 센서 적용 기법에 대해 논하고자 한다. 이를 위해 DGPS (Differential Global Positioning System), IMU (Inertial Measurement Unit), LRF (Laser Range Finder) 등을 장착하여 주행 알고리즘에 적용하였다. 주행 알고리즘을 구현하기 위해서는 크게 차량의 위치 및 자세를 결정하는 거동부분과 환경에 대한 정보를 받아들이는 인지부분 2 가지로 나누어 생각할 수 있다. 먼저 거동부분의 경우, 지구 방위 좌표의 정보를 알 수 있는 Rover 와 Base station 을 이용한 DGPS 와, 차량의 자세

[1]정회원, 한양대 대학원 메카트로닉스공학과, 박사과정
[2]정회원, 한양대 박사후연구원, 工博
[3]정회원, 아주자동차대학 교수, 工博
[4]교신저자, 정회원, 한양대 기계공학과 교수, 工博
E-mail : cshan@hanuyang.ac.kr
[1]Doctoral Course, Hanyang University
[2]Post Doctoral Fellow, Hanyang University, Ph.D.
[3]Professor, Ajou Motor College, Ph.D.
[4]Corresponding Author, Professor Dept. of Mechanical Engineering of Hanyang University

정보를 알 수 있는 IMU 센서를 통해 추정할 수 있다. 인지부분에서는 레이저 센서를 통한 환경인식을 수행한다. 본 연구에서는 이러한 두 부분의 정보들을 이용하여 자율주행 알고리즘을 구현하였다. 본 연구에서 개발된 무인자율차량은 전술한 바와 같이 군사적 목적으로 개발된, 야지에서 구동이 가능한 4X4 디젤차량이다.[3)]

일반적으로 자율주행 차량의 경우, 목표지점이 입력되면 이에 대한 주행 경로가 생성되고 센서에 의한 명령으로 제어기가 동작하여 구동부에 출력으로 산출됨으로서 원하는 경로 및 목표지점까지 도달하게 된다. 센서에 의한 주행 알고리즘 구현에 있어서도 상당한 연산부하가 요구되기 때문에 대부분의 알고리즘 구현에 있어서 구동부에 대한 제어는 타당성을 가지고 있다고 가정하였다. 기존의 차량 기구학적 모델에 근거한 제어 알고리즘을 바탕으로 조향 제어 알고리즘 유도를 위해 2륜차 모델(Bicycle model)과 차량의 운동특성 고찰을 위한 전차량 모델(Full car model)을 구성하였으며, 자세한 사항은 참고문헌을 참조하기 바란다.[4)] 본 연구에서는 이러한 모델에 경로 생성 추정 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션 및 야지 주행실험을 수행하였다.

2. DGPS를 이용한 전역지도 작성 기법

DGPS와 레이저 스캔센서를 융합하여 UGV의 전역지도(Global Map)를 설정하는 알고리즘을 구현하였다. 레이저 스캔 센서를 통해 얻어진 로컬 맵 (Local Map)과, 전역경로를 기준으로 한 거리 정보를 가지고 있는 DGPS 간의 신호를 서로 융합하여 기준경로를 작성하는 기법을 적용하였다. 먼저, 레이저 스캔 센서에서 얻어진 주행차량에 대한 전방 최대 거리에 노드(node)를 선정하고, 이 레이저 스캔 센서 범위 안에 사용자가 지정하는 DGPS 값에 의한 노드가 지정되게 된다. Fig.1은 레이저 스캔 센서 데이터에 의한 노드와 와 DGPS에 의해 선정된 노드를 나타내고 있다. 전역지도를 만드는 경로 알고리즘은 다음과 같다.

1. 레이저 스캔 센서의 90°′s 측정값 까지 주행 차량은 주행.
2. 레이저 스캔 센서의0~80°나 100~180°범위에서 DGPS 의 값을 산출
3. 전방으로 주행한 다음, 우현이나 좌현으로 회전하고 나서 DGPS의 값까지 주행
4. UGV 가 주행하고 나서 다시 레이저 스캔 센서의 데이터를 처리
5. 1-2-3-4 과정을 반복.

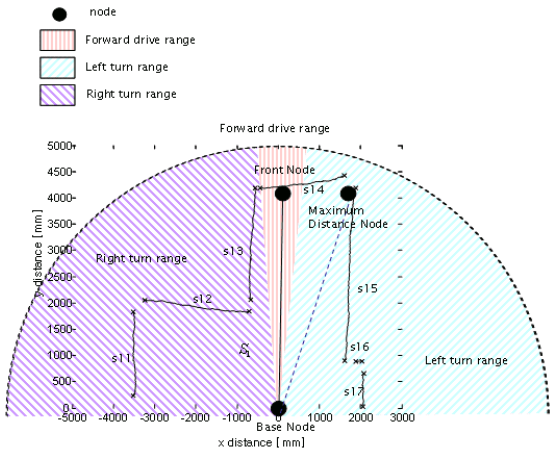


Fig. 1. Node selection using laser scanning sensor and DGPS.

Fig.2는 기준경로를 작성하는 경로알고리즘 순서도를 도시하고 있다.

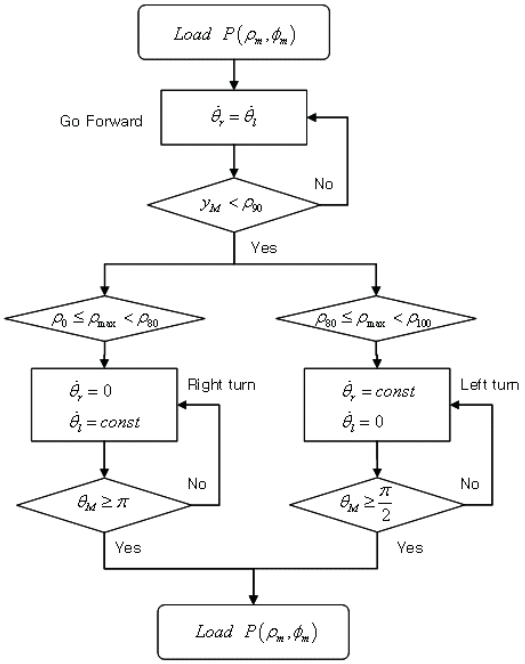


Fig. 2. Reference path generation algorithm.

이러한 레이저 스캔 센서 및 DGPS에 의해

형성된 기준경로 알고리즘에 의한 로컬 맵을 조합하여 전역 지도를 만드는 알고리즘을 구현하였다. 일반적으로 전역지도를 만드는 알고리즘은 시퀀스 방법 (sequence method), 트리 방법 (tree method), 피봇 방법(pivot method) 등이 알려져 있다.

본 연구에서의 전역지도 생성방법을 상술하기 위해 이들 기법에 대해 간략히 논하면, 먼저 시퀀스 방법은 동차(Homogeneous) 영역으로 이루어진 집합들을 순차적으로 대응시켜서 전역 지도를 만드는 방법이다. 대응시키는 방법은 각 집합의 요소간의 거리가 가장 가까운 것을 선정하여 순차적으로 대응시킨다. 다음 식은 임의의 두 개의 로컬 맵에서 얻어진 동차 영역의 집합을 나타내고 있다.

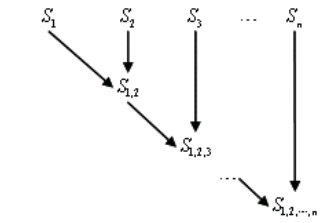
$$S_1 = s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}, s_{15}, s_{16}, s_{17} \quad (1)$$
$$S_2 = s_{21}, s_{22}, s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}, s_{27}$$

만약 S_1의 부분집합 s_{13}이 S_2의 부분집합 s_{23}과 가장 근접한(closest) 요소들이라고 가정하면, S_1과 S_2의 조합은 다음 식으로 유도된다.

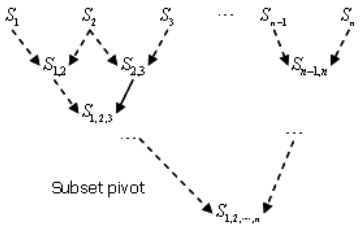
$$S_1 + S_2 = \left\{ \begin{matrix} s_{11}, s_{12}, s_{13}, s_{14}, s_{15}, s_{16}, s_{17}, s_{13} + s_{21} \\ s_{22}, s_{23}, s_{24}, s_{25}, s_{26}, s_{27} + s_{15} \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

최근접 요소는 노드간의 길이의 크기 값으로 결정되므로, 조합된 새로운 집합 S_{12}는 S_1과 S_2의 가장 가까운 요소의 조합으로 이루어지고, S_{123}는 S_{12}와 S_3와의 조합으로 구성된다. 이와 같은 방법을 시퀀스 방법이라고 한다. 두 번째 방법은 트리 방법으로써 모든 로컬 맵을 모두 구성한 다음, 각각의 로컬 맵의 최근접 요소들을 조합시키는 방법이다. 피봇 방법은 트리 방법과 시퀀스 방법의 조합으로써, 이전 맵의 데이터를 피봇 시키면서 나머지 맵을 트리 방법으로 조합시키는 방법이다. 다음 Fig.3은 각각의 방법들을 도시하고 있다.

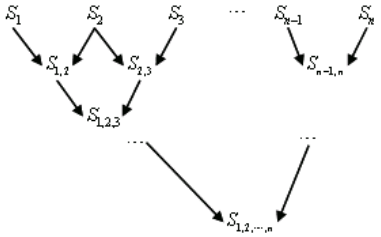
시퀀스 방법은 실시간으로 맵을 만들 수 있다는 큰 장점이 있으나, 맵의 오차가 누적되는 단점이 있다. 트리 방법의 경우, 상당수의 오차를 줄일 수 있으나, 로컬 맵을 모두 취합한 후에



(a) Sequence method.



(b) Tree method.



(c) Pivot method.

Fig. 3. Methods for local map integration.

처리하게 되므로 실시간 구성에 어려움이 있다. 마지막으로 피봇 방법은 이러한 트리방법의 단점을 많이 개선 시켰지만, 여전히 실시간으로 맵을 처리하기에는 많은 연산량을 요구한다. 이를 위해 본 연구에서는 동차 영역으로 구성된 로컬 맵을 이용하여 시퀀스 방법의 단점을 보안하는 접근을 시도하였다.

3. 장애물 회피 알고리즘

차량이 정지 상태에 있다고 가정하면, 먼저 장애물 및 경로 인식을 위해 단위 시간당 한 개의 데이터가 측정되어진다. 측정된 각각의 데이터는 자율주행차량 상에 있는 센서 좌표계를 기준으로 하였을 때, 상대적으로 얻어지는 변수들이다. Fig.4는 센서 좌표계와 측정대상 좌표계와의 관계를 도시하고 있다.

차량의 중심점에 대한 외부 물체의 좌표를

$(x_{ob/m}, y_{ob/m})$이라 하고, 센서가 감지한 물체의 거리를 $r(s)$, 센서의 시야각을 θ_s라 하면, 변수들을 극좌표계로 이용하려 측정 대상 인식에 대한 수학적인 식을 다음과 같이 표현할 수 있다.

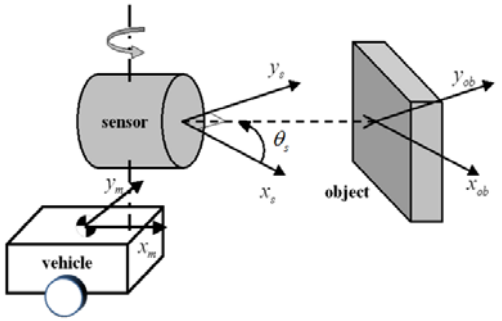


Fig. 4. Coordinate system of vehicle and object.

$$x_{ob/m}(k) = r(k)\cos\theta_s(k) \quad (3)$$

$$y_{ob/m}(k) = r(k)\sin\theta_s(k) \quad (4)$$

여기서 k는 샘플링 된 데이터를 나타내고, 이것을 절대 직교 좌표계에서의 값들로 변환 시켜 장애물의 절대 위치에 대한 좌표값 $x_{ob}(k), y_{ob}(k)$을 구하고, 이 좌표값들이 표시하는 점들을 각각의 직선으로 연결하여 대략적인 장애물의 형태를 모델링 하였다. 여기에 추가로, 만약 차량이 주행상태에 있을 경우로 확장 시키면 차량 중심의 위치 좌표값도 고려해야 한다. 그에 관한 식은 아래와 같다.

$$x_{ob}(k) = x(k) + x_{ob/m}(k) = x(k) + r(k)\cos\theta_s(k) \quad (5)$$

$$y_{ob}(k) = y(k) + y_{ob/m}(k) = y(k) + y(k)\sin\theta_s(k) \quad (6)$$

식(5), 식(6)에 의해 정지해 있는 측정 대상의 판정과 움직이는 대상에 대한 알고리즘을 유도해 낼 수 있다. 즉 정지하고 있는 대상은

$$x_{ob/m}[k] = \dot{x_m}[k] \quad (7)$$

$$y_{ob/m}[k] = \dot{y_m}[k] \quad (8)$$

으로 유도되며, 움직이는 대상은

$$\dot{x_{ob/m}}[k] \neq \dot{x_m}[k] \quad (9)$$

$$\dot{y_{ob/m}}[k] \neq \dot{y_m}[k] \quad (10)$$

로 나타낼 수 있다.

식 (9),(10)을 이용하면, 장애물을 인식하는 알고리즘을 설정할 수 있다. Fig.5는 복잡한 형상을 가진 장애물을 쉽게 인식하는 인식 모델을 도시하고 있다. 여기서 사용한 형상 인식은 5개의 점을 보간하는 방법(5-point interpolation)을 사용하였다. 본 연구에서는 이러한 경우, 5개의 데이터를 우선 추출하여 이중 가장 가까운 점에 대해 2점을 보간하는 방법을 사용하였다. 이는 복잡한 장애물을 실시간으로 쉽게 인식하여 장애물에 대한 UGV의 경로 변경이 용이하게 하도록 하는 장점이 있다.

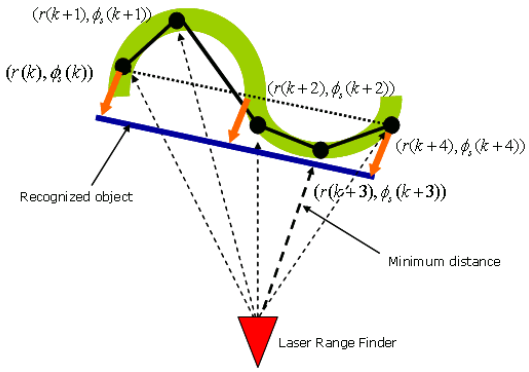


Fig. 5. Obstacle detection for complex-shape object.

Fig. 6은 장애물을 인식하여 기준경로를 이탈한 후 다시 기준경로로 추종하는 알고리즘을 시뮬레이션 한 결과를 나타내고 있다. 먼저 주행 하고자 하는 경로에 대한 정보를 입력 받는다. 여기에서는 앞서 설명한 DGPS에 의해 목표 경로 점을 할당 받게 된다.

UGV가 주행 도중 장애물을 만나게 되면, 이 장애물을 인식하고 회피한다. 장애물을 회피에 의해 경로 이탈이 일어났을 때, 다시 그 경로를 추종해야 한다. 여기에 경로 추종알고리즘이 적용된다.

여기서 사용한 주행 경로 생성 알고리즘은 경로 인식 주행과 경로 추종 주행 이 두 부분으로 구성되어 있다.

경로 인식 주행은 경로 알고리즘 1에 의한 주행 즉, 주행 경로 형태 인식 알고리즘을 따라

주행하는 UGV의 주행 알고리즘이다.

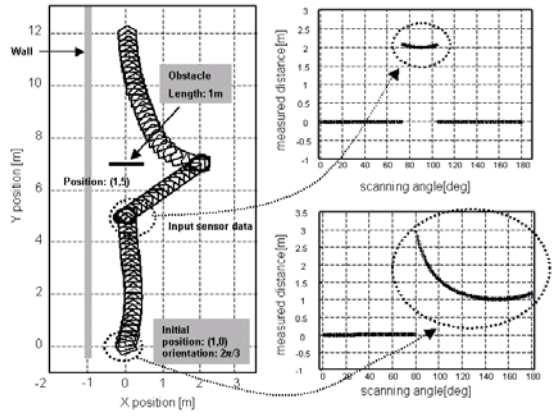


Fig. 6. Path following simulation considering obstacle avoidance.

경로 추종 주행은 경로 알고리즘 2, 즉 기준 경로로부터 이탈한 UGV가 기준 경로로 추종하기 위한 주행 알고리즘이다. 초기 차량의 위치는 레이저 스캔센서와 위치센서에 따라 주행하는 경로 알고리즘 1의 차량경로와 일치하지 않기 때문에 이를 보완하는 알고리즘 2가 적용되었다.

이러한 방법을 적용할 경우 주행차량은 경로 알고리즘1의 차량 경로를 우선적으로 추종하다가 이후 장애물을 감지하고 장애물을 회피하기 위해 경로를 이탈하였을 때에는 알고리즘2가 작동하여 기준 경로를 추종하게 됨을 Fig.6의 시뮬레이션 결과로 확인하였다. 경로 추종 시뮬레이션에 대한 내용은 참고문헌을 참조하기 바란다.[5)]

4. 센서 융합에 의한 통합 알고리즘

본 절에서는 전술한 UGV 경로 추종 알고리즘, DGPS 및 레이저스캔 센서를 통합한 경로 생성 알고리즘에 대해 제시하고자 한다. Fig.7은 본 연구에서 제시한 통합된 경로 생성 알고리즘을 나타내고 있다.

우선, DGPS에 의해 UGV의 목표 도달점이 정해지면 UGV가 주행을 시작한다. 이때 레이저 스캔 센서는 주행하고자 하는 경로의 정보를 받아서 DGPS 데이터와 함께 노드(Node)를 생성하여 기준경로를 생성한다.

만약 주행 중에 장애물을 만나면 이를 회피하는 알고리즘이 활성화되어, UGV가 장애물을 회피한다. 이와 동시에 영상통신 및 원격 제어기 등을 이용하여 UGV의 주행 정보와 원격제어도 가능할 수 있도록 설계되었다.

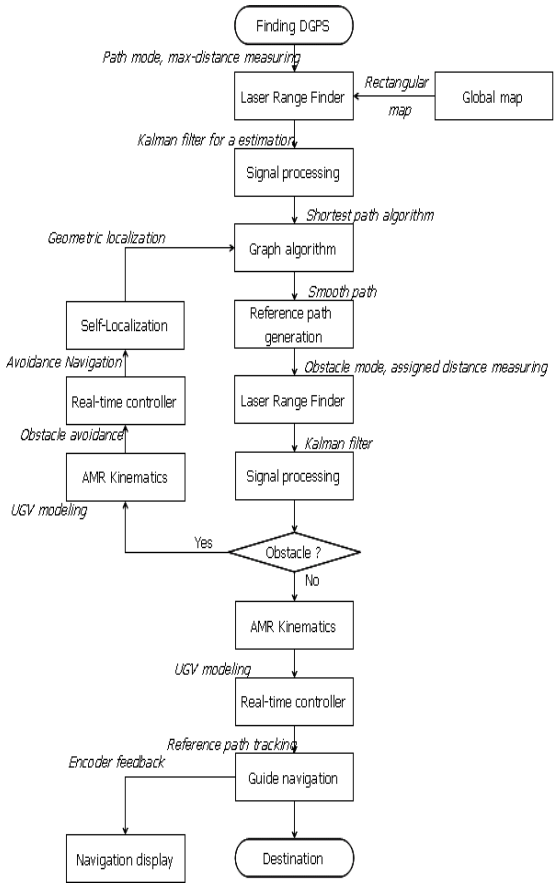


Fig. 7. Integrated operation algorithm.

5. 자율주행 시험

본 연구에서 제시된 무인 자율차량 및 이와 관련한 무인 자율 주행 알고리즘의 실증을 위해 차량의 야지 주행 성능을 실험하였다. 주행 환경은 비포장도로와 야지 환경 및 포장도로가 조합된 환경에서 이루어졌다.

5.1 지점 간 자율주행

지점 간 자율주행은 기준 경로를 좌표로 주어 경로를 이동하는 방식이다. Fig. 8은 3개의 좌표가 기준점으로 주어지고, 차량이 이들 좌표를 통해 다음 좌표로 이동하는 실험 장면을 나타내고 있다. 점 좌표 이동시, 차량은 직선 주행만 가능하다. 따라서 보다 정밀한 형태의 기준 경로 이동을 위하여 기준경로 생성이 요구

된다.

Fig. 8. Autonomous driving for 'point-to-point'.

5.2 기준경로 추종

기준경로 추종 알고리즘은 Fig.9와 같다. 즉, 기준경로를 DGPS 데이터를 취득한 후, 차량이 기준좌표 상을 이동할 경우에, 경로 생성기(Planner)로 취득한 DGPS 데이터를 입력하여 Taylor 급수 연산을 통한 경로생성 작업을 수행하는 구조로 설계되었다.

제어기상에 적용된 Sliding Mode Control 을 통하여 차량 기구학에 근거한 오차 보정 시스템도 적용하였다. 이를 통하여 장애물 발견 시에는 이를 회피하게 되며 이와 동시에, 기준경로를 이탈하게 된다. 따라서 추가적으로 이를 고려한 경로생성기 및 제어기를 통한 추가 에러 보정을 실시하여 기준경로를 추종하게 된다. 현재 실험된 차량의 속도는 5km/h와 10km/h의 두 형태로 실험을 하였다.

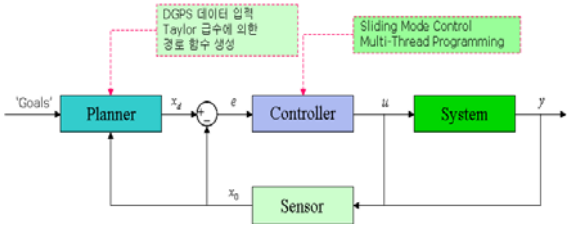
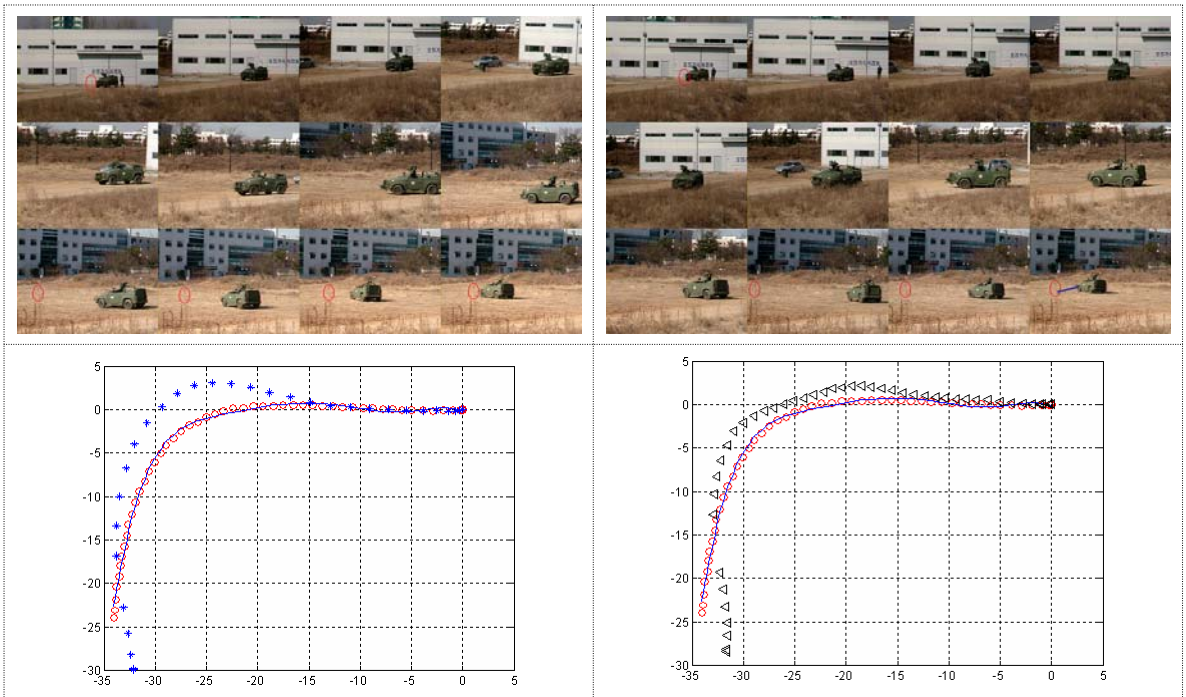


Fig. 9. Reference path following algorithm.



(a) 5km/h (b) 10km/h

Fig. 10. Experimental results of reference path following for different velocities.

경로 형태는 'ㄱ'자의 형태로 설정하였다. 차량의 속도가 5km/h 인 경우와 10km/h 인 경우, 각각 2m 및 5m이상의 오차를 보였다. 이는, DGPS의 샘플링 주파수가 1Hz 로 매우 낮은 점에 기인하는 것으로 판단되며, 이러한 경우 차량의 속도가 높아지면 차량의 기준 경로 추종 성능이 저하됨을 확인하였다. (Fig. 10)

Fig. 11은 차량의 초기 헤딩 방향과 기준 경

로의 초기 헤딩 방향이 다른 경우에 대한 추종 실험 결과를 도시한 것이다. 즉, 차량이 2m 오차가 발생하였을 경우, 다시 기준 경로에 수렴하는 양상을 확인할 수 있다. 2m의 오차는 차량의 진행 속도와 회전 속도에 따라 달라진다. Fig.12는 평지와 다른 형태의 경로를 만났을 경우의 주행속도 제어 실험을 수행한 것으로서, 경로 상의 급격한 경로 선회 부근에 언덕이 존재하는 경우, 차량 가속페달 제어를 통하여 언덕을 극복할 수 있도록 속도를 제어하는 모드가 동작하여 경로를 추종할 수 있음을 확인하였다.

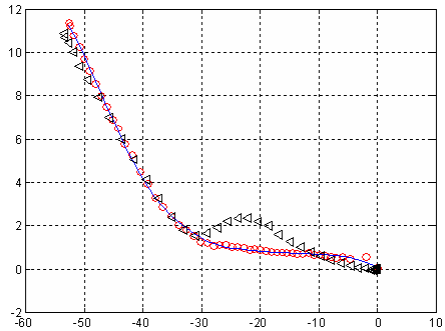


Fig. 11. Path following performance in case of difference existence between real path and reference path.

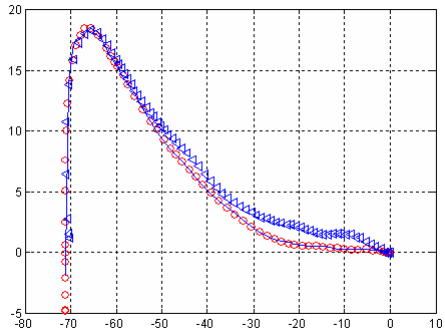
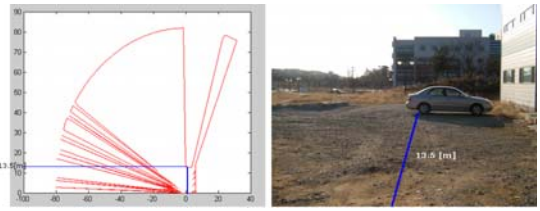


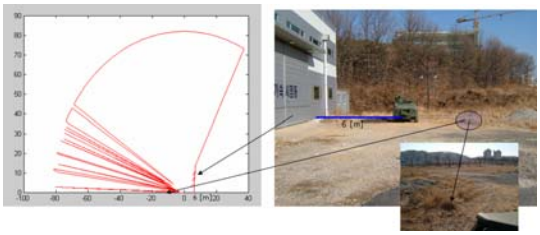
Fig.12. Path following performance in case of hill existence on the reference path.

5.3 장애물 회피

Fig.13은 경로 추종하는 과정에서 레이저 센서를 통해 취득된 데이터를 실시간으로 Matlab®을 통하여 데이터 변환 후 출력한 모습을 나타내고 있다. 도시된 바와 같이, 실제 차량의 환경과 레이저 센서를 통한 환경이 일치함을 확인할 수 있었으며, Fig. 13(a)의 왼편의 측정 결과는 실제 차량의 왼편에 위치한 수풀 지역이 그대로 반영되었음을 알 수 있다. Fig. 13(b)는 차량의 전방 13.5m 에 장애물을 위치시킨 경우의 실험을 도시한 것으로서, 레이저 센서를 통해 실시간으로 취득된 데이터를 통해서 13.5m 앞의 장애물을 인식하고 회피할 수 있었다. 레이저 센서의 최대 측정 범위는 82m이며 분해능은 0.5도이다. 샘플링 시간은 5Hz 로서, 180도의 센서 데이터를 실시간으로 측정하였다.



(a) No obstacles on the reference path.



(b) Obstacle is located on the reference path.

Fig. 13. Experiment of real-time laser scanning for obstacle avoidance.

Fig. 14. Captured images for reference path following and obstacle avoidance.

Fig. 14는 지점 간 경로 이동시 장애물이 있는 경우에, 장애물을 회피하고 다음 지점으로 이동하는 실험에 대해 수행한 결과를 도시한 것이다. 장애물 인식은 5Hz로 DGPS 좌표에 의한 기준경로 추종 보다는 빨랐으며, 현재 실험 속도인 5km/h에서는 안정적인 형태의 장애물 인식을 할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 야지 무인 자율주행을 위해 제안된 4륜구동 차량 플랫폼을 통하여, 차량 이동을 위해 생성된 기준경로를 추종하기 위한 DGPS 및 레이저 스캐너 기반의 센서 융합시스템을 제안하고, 이들의 운용을 위한 알고리즘을 설계하여 실제 야지에서의 성능평가를 수행하였다. 이를 통하여, 저속에서의 장애물 회피 및 비 평탄 지역에서의 속도 제어를 통한 경로 추종 성능을 확인할 수 있었다.
향후에는 동적으로 이동하는 장애물에 대한 실시간적인 대응 및 고속 주행 상황에 대응할 수 있는 실시간 경로 추종 알고리즘에 대한 연구가 추가로 진행될 예정이다.

감사의 글

본 연구는 (한양대학교 고기능로봇매니퓰레이션연구센터를 통한) 지식경제부/한국산업기술진흥원 융복합형로봇전문인력양성사업 및 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1) 이주장, 김현진, 이민철, 강정원, 권인소, 송재복, "자율주행기술", *기계저널,* **47, 11,** 39, (2007)
2) 정도현, "지능형자동차 기술동향 및 미래형 자동차기술개발사업", *오토저널,* **28, 4,** 46, (2006)
3) 유병갑, 박동진, 한창수, 박진규, 이정엽, 백성훈, "실시간 원격제어시스템을 사용한 무인자율차량 개발", 대한기계학회 창립 60주년 기념 추계학술대회, pp.2051～2056, (2005)
4) 박동진, 유병갑, 한창수, 이정엽, 백성훈, 박진규, "원격 조정시스템을 이용한 무인자율차량 개발", *한국자동차공학회 2005년 추계학술대회논문집,* **2,** 1188, (2005)
5) 유병갑, 한창수, 이승열, 이상호, 이정엽, "무인자율차량을 위한 주행알고리즘 개발", 한국정밀공학회 2007년도 춘계학술대회, pp. 399～400, (2007)

(접수:2009.12.23, 수정:2010.04.22, 게재확정:2010.05.20)