

다중 GPS 를 이용한 무인자동차의 주행 알고리즘 개발

The Development of Driving Algorithm for an Unmanned Vehicle with Multiple-GPS's

문희창*, 손영진, 김정하
(Hee Chang Moon, Young Jin Son, and Jung Ha Kim)

Abstract : A navigation system is one of the important components of an unmanned ground vehicle (UGV). A GPS receiver collects data signals transmitted by (Earth orbiting) satellites. However, these data signals may contain many errors resulting misinformation and depending on one's position (environment), reception may be impossible. The proposed self-driven algorithm uses three low-cost GPS in order to minimize errors of existing inexpensive single GPS's driving algorithm. By using reliable final data, which is analyzed and combined from each of three GPS's received data signals, gathering a vehicle's steering performance information and its current pin-point position is improved even with error containing signals or from a place where signal gathering is impossible. The purpose of this thesis is to explain navigation system algorithm using multiple GPS and compass sensor and prove the algorithm through experiments.

Keywords : Unmanned Ground Vehicle(UGV), Global Positioning System(GPS), compass, Way Point(WP)

I. 서론

최근에는 차량에 있어 운전자를 위한 편의 시스템으로 Telematics, ITS(Intelligent Transport System) 등이 많이 이용되고 있다. 예를 들어 앞 차 혹은 뒤 차와의 거리를 제어하거나 도로의 주행라인을 인식하여 이탈경보를 해주는 ACC (Adaptive Cruise Control) 시스템이 일례라고 보겠다. 이는 또한 주행안정성을 좋게 하고, 운전자에게 편안한 운전환경을 만들어주기도 한다. 더욱이 차량은 단순한 이동수단에서 고도로 집적된 첨단기술이 접목되어 조화를 이루면서 사람이 차량을 조작하지 않고도 움직이고, 목적지까지 이동할 수 있는 기술들이 개발되고 있다.

일례로 2004년부터 미국에서 처음으로 무인자동차 경주대회가 미국 국방성 산하 고등 연구계획국(Defense Advanced Research Project Agency: DARPA) 주관 하에 이루어지고 있다. 이는 2015년까지 미군의 수송차량의 1/3을 무인화하려는 미국방성의 계획을 현실화시키고 있다[8].

2004년에 시작한 이 대회는 완전 자율주행(fully autonomous driving)을 목표로 미국 서부의 대표적 지형인 사막과 초원으로 구성된 약 150마일의 거리를 10시간 내에 주행하는 대회이다. 2004년의 경우 완주한 팀이 전혀 없었으나, 2005년 10월 8일에 개최된 대회에서는 Stanford 대학 팀을 포함하여 총 4개 팀이 레이스를 완주하였다[5]. 또한 2007년 10월말부터 11월초까지는 도심지 환경에서 일반 도로에서와 같이, 함께 주행하는 다른 차량을 인식하고, 또한 주행신호를 준수하여 최종적으로 안전하게 원하는 목적지까지 완주하는 Urban Challenge가 개최될 예정이다. 이전 대회와는 다르게 타국의 팀들도 참여한다는 점에서 미국뿐 아니라 세계에서의 무인자동차에 대한 지원과 관심이 크다는 것을 알 수 있다.

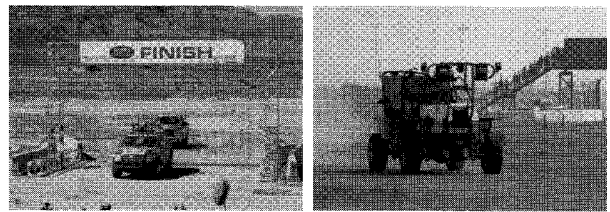


그림 1. 2005년 DARPA 무인자동차 대회.

Fig. 1. 2005 darpa grand challenge.

최근 들어 미국을 중심으로 한 군사 무기체계 무인화 작업이 본격화 되면서 우리나라도 무기체계의 첨단화, 무인화에 박차를 가하고 있다. 국내에서도 국방과학연구소와 국방관련 회사 등을 위주로 무인차량에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그렇듯 국내에서도 무인자동차가 상용부문뿐만 아니라 군사 및 실생활에도 많이 보급되는 추세로 기술적, 경제적인 파급효과가 클 것으로 기대를 모으고 있다.

GPS와 전자 Compass를 병합하여 차량의 운행을 제어하거나, 혹은 여러 개의 GPS를 이용하여 하나로 통합하는 알고리즘을 통해 GPS 데이터의 안정화를 얻어내 차량의 조향 특성을 향상시키는 방안들이 여러 방면에서 실시되고 있다[2,3]. GPS 데이터의 근본적인 에러 값을 줄여주어 정확도를 높인 하드웨어인 DGPS(Differential Global Positioning System) 이용하여 맵 매칭을 통하여 위치 정보를 확보하는 알고리즘들 또한 많이 연구되고 있다[6]. 또한 차량이 터널이나 빌딩들이 밀집해 있는 지역, 또는 나무가 많은 곳과 같은 환경에서 GPS 수신이 불가능한 경우에 INS(Inertial Navigation System) 와 병합하여 차량의 위치를 지속적으로 측정하고 이를 이용하여 차량의 이동에 사용하는 방안들도 많이 연구되고 있다[1,4,7].

본 논문에서는 기존의 일반 저가의 단일 GPS 시스템에서 발생하는 데이터의 불안정으로 인하여 무인차량의 절대적 위치 데이터의 불확실성을 저가형 다중 GPS 시스템을 제안하여 차량이 주행 중인 상태에서의 현재 위치 데이터의 정확성을 높여주어 결과적으로 차량의 조향성에 대한 안정화를

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 9. 29., 채택확정 : 2007. 10. 26.

문희창, 손영진 : 국민대학교 자동차공학전문대학원

(hmoon@kookmin.ac.kr/yjson@kookmin.ac.kr)

김정하 : 국민대학교 기계자동차공학부(jhkim@kookmin.ac.kr)

높이고자 한다.

II. 연구 목적

무인자동차는 모듈화되어 상용화되고 있는 여타의 시스템과는 같이 하나의 시스템으로 작동되는 것이 아니라 서로 다른 임무를 지닌 여러 개의 시스템들이 적절한 우선권을 가지고 차량을 동작 시키게 된다. 이런 무인자동차의 구성 시스템들은 크게 차량, 장애물, 비전, 원격, 항법시스템으로 나뉜다.

차량시스템은 무인자동차에 있어 가장 기본이 되는 플랫폼으로 각종 센서와 장치들이 탑재되며 이들로부터 오는 신호를 이용해 By Wire로 구성된 가속, 브레이크, Rack & Pinion 기어를 접목한 조향 장치들을 작동시켜 차량을 움직이게 된다. 장애물시스템은 레이저스캐너를 이용하여 전방 또는 측방의 장애물을 감지하여 차량의 경로확보 및 장애물회피 목적으로 사용하게 된다. 비전시스템은 전방 및 측면의 물체를 파악하고, 거리를 측정하여 온 로드(on road) 또는 오프 로드(off road)에서 차량의 원활한 주행을 위해 주행 노면인식, 주행라인 인식 등 다양한 목적으로 사용된다. 무인자동차의 가장 큰 특성이 바로 무인이기 때문에 원격지에서 차량의 정보와 상태 등을 볼 수 있는 장치가 필요한데 이것이 바로 원격시스템이다. 또한 원격시스템에서는 차량이 원격모드일 경우가 시스템에서 차량을 무선으로 조종할 수 있는 기능도 갖추고 있다. 마지막으로 항법시스템은 GPS를 가지고 차량의 현 위치 정보와 차량이 주행하게 될 경로점(Way Point: WP) 설정 및 안정적인 주행코스를 파악하는 경로 계획(path planning)을 하는 시스템이다.

이런 무인차량에서 차량이 원하는 최종 목적지에 도달할 수 있도록 중간중간의 경로점(WP)을 통과하고 최종적으로 원하는 목적지에 도달하는데 까지는 항법시스템이 매우 중요한 요소라고 할 수 있다. 본 연구에서는 다중 GPS를 이용하여 기존의 단일 GPS 모드에서의 데이터 불안정과 조향 안정성을 향상시키는 알고리즘을 제안할 것이다. 이를 이용하여 현재 위치와 경로점, 도착점 등을 설정하고 이것에 맞는 경로를 설정하여 차량이 안정적으로 이를 추종하게 하는 실험을 통하여 이를 검증할 것이다.

III. 무인 차량 시스템

무인자동차는 크게 5개의 시스템으로 나눌 수 있다. 각자

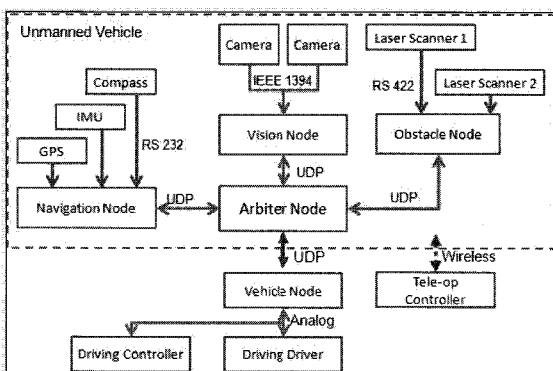


그림 2. 무인자동차의 시스템 구성도
Fig. 2. UGV system configuration.

의 시스템에서 데이터를 획득, 처리 과정을 거쳐 통합 시스템에 전달되고 최종적으로 개별 시스템으로부터 얻어진 데이터에 우선권(priority)을 부여하게 된다. 그 우선권으로 정해진 순서에 의하여 각각의 시스템에서 나오는 명령으로부터 통합시스템은 차량을 이동, 회피, 정지 등의 명령을 차량시스템에 하게 된다.

1. 차량 시스템

무인자동차에서 가장 기본적이고 큰 틀이 되는 시스템이 차량시스템이다. 이 차량은 자율주행 및 원격 컨트롤에 의해 차량이 움직이게 되며 다른 시스템들이 이 차량시스템에 탑재되어 컨트롤하게 된다. 차량시스템으로 사용된 차량은 전기 자동차(electronic vehicle)로 48V DC 모터를 장착하고 있으며 세부 제원 및 사양은 아래 표 1과 같다.

차량시스템에서 하는 일은 크게 횡 방향, 종 방향 제어로 나눌 수 있다. 또한 차량의 조향각, 주행 속도 및 충전량 등 차량의 전체적인 상태를 차량과 원격 시스템에서 항상 모니터링 할 수 있도록 DAQ를 통하여 데이터를 획득 한다. 차량의 이동방향을 컨트롤하는 횡 방향 제어는 15:1의 감속기가 장착된 100W급 AC 서보 모터 제어와 Rack & Pinion으로 컨트롤하였다. 이러한 조향 제어는 데이터 신호에 대한 추종 성능이 매우 중요하여 풀 스티어링 소요시간 목표를 3초 이내로 설정하였으며 조향각의 초기화와 상태정보 획득을 위하여 포텐쇼미터를 함께 설치하였다. 종 방향 제어는 크게 가속과 제동으로 나뉠 수 있는데 가속 컨트롤은 페달과 연결된 포텐쇼미터에 의해서 변화되는 전압 값을 차량의 모터 컨

표 1. 전기자동차의 사양.

Table 1. Electric vehicle specification.

Length	2300 (mm)
Width	1195 (mm)
Height	1240 (mm)
Wheel Base	1665 (mm)
Height	1240 (mm)
Wheel Tread	Front: 925 (mm)
	Rear: 985 (mm)
Weight	250 (Kg)
Turning Radius	2.7(m)
Steering	Rack & Pinion Gear
Brake	Mechanical Brake Cable System To Drum Brake
Motor	DC2.2 KW/3 HP
Trans Axle	Double Reduction Helical Gear

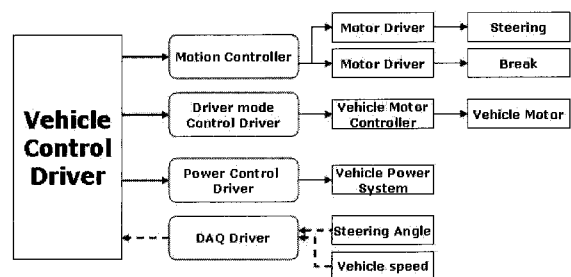


그림 3. 무인자동차의 차량제어 시스템 구성도
Fig. 3. UGV control system.

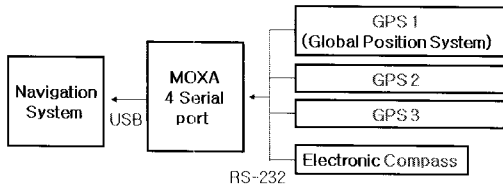


그림 4. 무인자동차의 항법시스템 구성도.

Fig. 4. Navigation system of UGV.

트롤러에 입력하여 듀티 값 변화에 의한 모터 회전 수를 제어하여 차속을 조절할 수 있다. 제동의 경우 기본으로 가지고 있는 드럼(drum)식 브레이크를 그대로 이용하였으며 페달을 컨트롤하기 위해서 70:1의 감속기가 장착된 200W급 AC 서보 모터를 이용하였다. 차량의 다른 요소의 제어를 위해 다음 그림과 같은 차량 제어 시스템을 구성하였다. National Instrument의 PXI 8196 controller를 기본으로 하여 모터 제어를 위한 motion controller, 차량의 주행속도 측정 및 상태 모니터링을 위하여 NI-DAQ 시스템을 이용하여 차량제어 시스템을 그림 3과 같이 구성하였다.

2. 항법 시스템

무인차량의 항법시스템은 GPS를 기본으로 한다. GPS만으로 차량의 주행이 가능하지만 정확한 차량의 주행방향을 결정하기 위해 본 연구에서는 전자 compass를 GPS와 같이 이용하였다.

본 연구를 위해 사용한 GPS는 Garmin 사의 GPS 18-5Hz 모델로 위치 데이터의 갱신이 초당 5번으로 일반적인 GPS의 위치 데이터 갱신속도인 초당 1번에 비해 5배나 빠르다. GPS와 같이 사용한 compass는 Robot Electronics사의 CMPS03모델로 지구상의 자북 방향을 나타낸다. 인터페이스방식이 I2C방식을 사용하여 별도의 Micro controller를 이용하여 데이터를 획득하였으며 PC로는 Micro controller에서 RS-232신호로 변환하여 데이터를 전송하였다.

IV. GPS data의 특성

GPS는 크게 3 개의 부분으로 구성된다. 첫 번째로 고도 20,000km 상공 6개의 원형 궤도면 위에 각각 4개씩 배치되어 있는 GPS 위성들로 구성된 우주공간부분이 있다. 이 위성들은 약 12시간의 주기, 적도 면에 대해 55도의 기울기로 6개 궤도를 일정한 간격으로 지구 주위를 돌고 있다. 두 번째로는 사용자 부분으로 GPS 수신기와 사용자집단으로 구성되어 있다. 최소 4개 이상의 위성에서 보내온 신호를 이용하여 현재의 관측시간과 X, Y, Z 좌표의 3차원 정보를 수신하여 수신기의 시간, 위치, 속도, 방위 정보 등을 획득하게 된다.

세 번째로 전세계에 배치되어 있는 모든 위성들을 추적하고 그 정보를 획득하여 각 위성의 궤도, clock 등을 계산하고 위성파 수신기 사이에서 알맞은 형태의 정보로 변환하여 반환해주는 관제부로 이루어져있다. 하지만 GPS data는 이렇게 공간 구조에서 생성되기 때문에 여러 오차요인을 갖게 된다. 크게 세 부분의 오차 요인으로 구분할 수 있다. 첫 번째는 구조적 요인으로 생기는 오차로 인공위성의 시간오차, 인공위성의 위치오차, 전리층과 대류층의 굴절, 잡음, 다중 경로 등이 있다. 두 번째로 위성의 배치 상황에 따른 기하학적 오

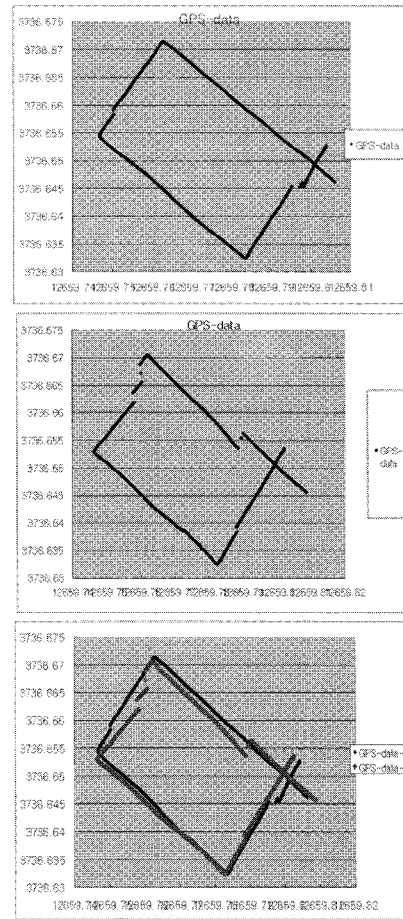


그림 5. GPS를 이용한 무인자동차의 주행 경로의 비교.

Fig. 5. Route of one GPS data at different time.

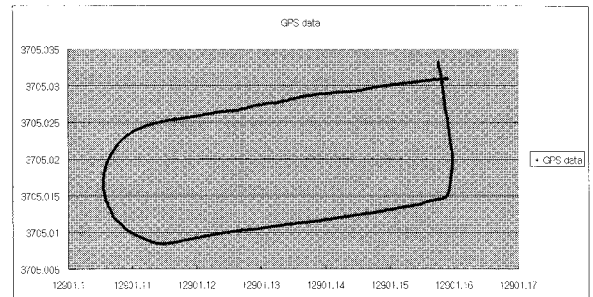


그림 6. 개활지에서의 GPS를 이용한 무인자동차의 주행 경로.

Fig. 6. Route of GPS data at open area.

차가 있으며, 마지막으로 가장 큰 오차 요인인 SA(Selective Availability)가 있다. 이런 요소들이 잠재적으로 합쳐져 큰 오차를 유발하게 되는 것이다.

위의 그림 5에서는 본교 운동장에서 동일한 루트를 따라 이동하면서 단일 GPS를 이용하여 궤적을 나타내보았다. 그 그래프에 나타났듯이 같은 방식으로 같은 루트를 이동하더라도 시간에 따라, 외부 요인에 따라 데이터가 달라지는 것을 알 수 있다. 또한 그림 6은 장소를 달리하여 태백의 레이싱 파크와 같은 주변환경이 깨끗한 트인 공간에서의 데이터 획득에 대한 그래프를 나타내었다. 그림 6과는 달리 그림 5에서는 중간중간 데이터의 점핑 현상을 볼 수도 있다. GPS 모

둘 자체에는 수신 데이터에 대한 Kalman filter가 적용이 되어 있어 데이터가 수신되는 동안 이전 데이터를 기반으로 다음 데이터가 예측이 되도록 되어있다. 그러므로 점핑 현상의 가장 큰 문제점은 하나의 오차를 갖는 데이터로 인해서도 한동안 수신되는 데이터 전체에 큰 오차를 연속적으로 수반하게 된다는 것이다. 이러한 오차의 원인으로서는 본 실험이 이루어진 본교 운동장의 주변환경이 산과 건물들로 둘러 쌓여져 있고, 건물의 외관이 유리들로 구성되어 있어 다중경로 오차가 발생된 것으로 판단된다.

1. 다중 GPS data 획득 알고리즘

데이터 수신에 불안정을 보완하고자 GPS 3개를 이용하여 데이터 수신을 안정화하고자 한다. 먼저 GPS 데이터는 시간과 경도, 위도, 수신 가능한 위성의 수, 이동 속도, 이동 방위 등의 여러 정보를 담고 있다. 이 중에서 경도, 위도의 데이터가 주로 쓰이는데 표 2에서 최소 측정 단위가 변하게 되면 지상거리 값(한국 위치)이 얼마나 차이가 나는지 보여주고 있다.

차량의 이동 속도가 느릴수록 데이터의 점핑 현상이 자주 발생되거나 오류가 큰 것을 알 수 있고, 특히 정지 측위 상태 시에는 시간이나 주위 환경에 따라 안정적인 데이터를 얻기가 힘든 변수를 많이 갖게 된다. 또한 하드웨어 자체적인 특성으로 인하여 GPS 모듈마다 데이터 획득 성능에 차이가 생기게 된다. 그림 7은 한 변의 길이가 1m 인 정삼각형 형태 임의의 세 지점에서 동일한 시간 동안 3개의 GPS 모듈로부터 획득한 1000 개의 데이터를 나타낸다. 동일한 모듈이라 할지라도 편차가 크다는 것을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P(G1) &= \{x_{G1}, y_{G1}\} \\
 P(G2) &= \{x_{G2}, y_{G2}\} \\
 P(G3) &= \{x_{G3}, y_{G3}\} \\
 P(CG) &= \left\{ \frac{G1 + G2 + G3}{3} \right\} \\
 &= \left\{ \frac{x_{G1} + x_{G2} + x_{G3}}{3}, \frac{y_{G1} + y_{G2} + y_{G3}}{3} \right\}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

이를 보완하기 위해 3 개의 수신기를 이용하여 각 각의 데이터가 신뢰성이 있는지 판단한 후 사용하기에 안정적인 순간의 데이터를 이용하여 각각의 데이터가 신뢰성이 없다고 판단이 되는 경우에도 삼각형의 무게중심을 찾는 방안을 이용하여 데이터의 연속적인 신뢰성을 확보하는 알고리즘을 제안하였다. 이를 통해서 첫 번째 GPS 모듈에서는 편차가 반경 약 2.2m로 양호한 성향을 보였지만, 두 번째 모듈에서는 편차 반경이 약 5.4m, 세 번째 모듈에서는 편차 반경이 3.3m로 나타났으며 이는 직선 거리로 최대 약 11m 가량의 오차를 보이고 있다. 이러한 환경에서 삼각형의 무게중심을

표 2. 경위도의 실제 거리 변환표
Table 2. Distance of latitude and longitude.

	GPS data 최소단위	1초당 실 거리(m)	GPS data 최소 단위의 실 거리값(m)
경도	0.00001	약 24.697	0.0148182
위도	0.00001	약 30.828	0.0184968

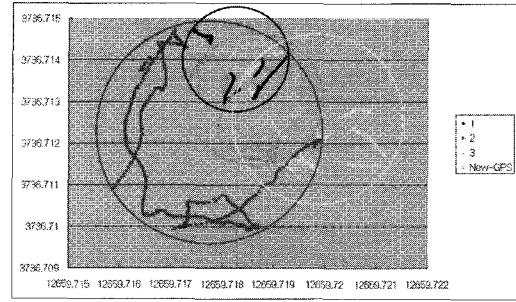


그림 7. 3개의 GPS를 이용한 정적 위치 데이터와 합성 위치 데이터.

Fig. 7. Position data of GPS and GPS fusion.

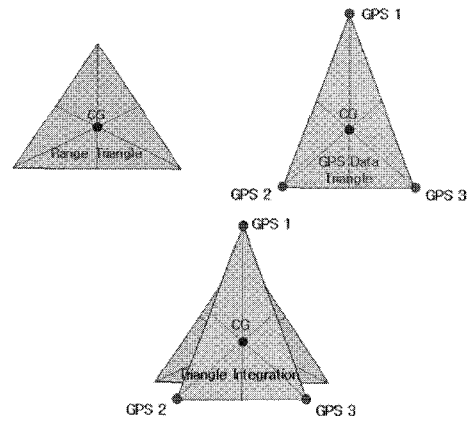


그림 8. 삼각형의 중심을 구하는 방법.

Fig. 8. Concept of Triangle CG finding.

표 3. 3개의 GPS데이터의 위치 편차.

Table 3. Three GPS position deviation.

	위도-1	경도-1	위도-2	경도-2
최 대	3736.71473	12659.71924	3736.71471	12659.71996
최 소	3736.71298	12659.71741	3736.70991	12659.71588
최대 차	0.00175	0.00183	0.0048	0.00408
거리 값(m)	4.222708068		10.74146779	
	위도-3	경도-3	위도-New value	경도-New value
최 대	3736.71419	12659.72116	3736.714107	12659.71997
최 소	3736.71135	12659.71852	3736.711543	12659.71749
최대 차	0.00284	0.00264	0.002564	0.00248
거리 값(m)	6.549713635		5.9397542	

구해 얻은 데이터가 편차 반경 약 2.9m로 처음 모듈의 안정성보다는 떨어지지만 다른 두 모듈에서 얻어지는 불안정한 데이터가 안정화되었음을 그림 7를 통해 알 수 있다.

3개의 수신기 데이터가 모두 양호한 경우에는 삼각형의 형태를 이용하여 무게 중심을 구하고, 2개의 데이터가 신뢰성이 있다고 판단이 될 경우에는 두 데이터의 평균을 구해 사용하였다. 1개의 데이터만이 신뢰성이 있을 시에는 단독 측위 형식을 취하여 데이터를 수신하였다. 또한 3개의 데이터 값이 모두 신뢰성이 없다고 판단되는 경우에는 encoder의 거리 값과 digital compass의 방위각을 이용한 dead reckoning 방안을 사용하였다.

이미 위치를 알고 있는 한 점에서 이동체의 진행 방향 속도 및 방향각을 이용하여 새로운 위치를 계산하는 방식을 이용하여 GPS의 신뢰성을 확보하지 못한 경우에 현 위치를 계산하여 추측하게 된다. 시간 t에서의 이동체 위치를 알고

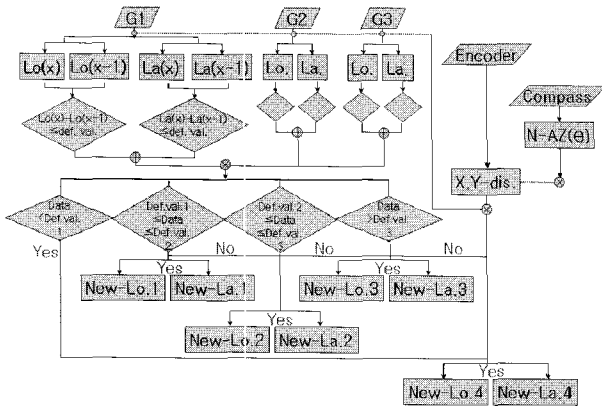


그림 9. 3개의 GPS데이터 수신 방법.
Fig. 9. Triple GPS data acquisitions algorithm.

표 4. GPS 데이터의 선형회귀 분석을 위한 구간표.
Table 4. Example of 4 part linear regression.

0~90°	Y-위도	1.07328379	-9850.944645	Y-경도	0.92985481	9185.331428
		0.00338126	42.80601793		0.00292933	10.84586214
		0.99797342	0.000299021		0.99797942	0.000278321
		100756.377	204		100756.977	204
		0.00909304	9.14447E-05		0.00780492	1.58024E-05
90~180°	Y-위도	-0.6036	11378.22431	Y-경도	-1.85522	18844.75029
		0.001118	14.14781727		0.003085	11.45104077
		0.999113	0.000187901		0.999113	0.000311157
		291734.3	259		291734.3	259
		0.0103	9.14447E-06		0.028245	2.5078E-05
180~270°	Y-위도	1.035175	-9368.369148	Y-경도	0.962842	9061.93798
		0.004874	61.70243879		0.004533	16.93960475
		0.996708	0.000277544		0.996708	0.000267672
		45109.8	149		45109.87	149
		0.003475	1.14776E-05		0.003232	1.06756E-05
270~360°	Y-위도	-0.58594	11154.54746	Y-경도	-1.70636	19035.98974
		0.000443	5.806733397		0.00129	4.819295651
		0.999826	9.6347E-05		0.999826	0.000164417
		1750414	304		1750414	304
		0.018249	2.82196E-06		0.047319	8.21802E-06

있을 경우, 시간 $t + \Delta t$ 에서의 위치는 다음과 같이 결정된다.

$$\begin{aligned} x(t + \Delta t) &= x(t) + V \cos \theta \Delta t \\ y(t + \Delta t) &= y(t) + V \sin \theta \Delta t \end{aligned} \quad (2)$$

또한 차량은 WP를 지향하며 이동하는 순간은 직선운동을 한다고 가정하여 GPS 데이터의 점핑 현상이 발생할 시에는 (2)에서 얻을 수 있는 위치데이터에서 크게 이탈하는 값을 얻게 된다. 이를 보완하기 위하여 위경도의 기하학적 구성이 현 위치에서 동, 서, 남, 북의 크게 4부분으로 구성되어 있음에 착안하여 남북 방향을 기준으로 4부분으로 분할하여 GPS 데이터의 특성을 선형회귀 분석하여 예측기법을 사용하여 속도와 방위각을 이용한 예측 데이터와 비교 및 보완 데이터로 사용하였다. 위의 표 4는 0~90°, 90~180°, 180~270°, 270~360°로 분할하여 얻은 선형회귀분석 데이터의 한 예를 나타낸다.

$$\begin{aligned} Lon_n &= a_1 + b_1 x_1, & Lat_n &= a_2 + b_2 x_2 \\ a_1 &= \frac{\sum Lon_i}{n} = \frac{\sum y_{1i}}{n}, & a_2 &= \frac{\sum Lat_i}{n} = \frac{\sum y_{2i}}{n} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} b_1 &= \frac{\sum x_{1i} Lon_i}{\sum x_{1i}^2} = \frac{\sum x_{1i} y_{1i}}{\sum x_{1i}^2}, & b_2 &= \frac{\sum x_{2i} Lat_i}{\sum x_{2i}^2} = \frac{\sum x_{2i} y_{2i}}{\sum x_{2i}^2} \\ y &= m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_4 + m_5 x_5 + b \end{aligned} \quad (4)$$

경도를 Lon , 위도를 Lat , t 를 시간, a, b 를 추정된 계수라고

하면 회귀분석의 최소 자승법을 통하여 (3)과 같이 구할 수 있다. (3)에 의해 단순 선형회귀분석을 할 수 있으나 경위도 좌표 결정에 영향을 미치는 변수는 시간, 각각의 상대적인 경위도 데이터, 위성수, HDOP (Horizontal Dilution Of Precision) 이므로 이 변수들을 이용하여 다중 회귀분석을 하면 다음과 같은 다중 선형회귀 분석식 (4)를 얻을 수 있다.

위 선형방정식에서 각각의 m_i 는 각 변수의 기울기 값이 되고, 각각의 x_i 는 각각의 변수인 시간, 경도 (위도), 위성수, HDOP, 방위각이 된다.

V. Way Point 주행 알고리즘

무인차량의 WP 주행 알고리즘은 GPS로부터 획득한 차량의 경도, 위도 좌표와 compass에서 획득한 방위각을 가지고 차량의 조향각과 조향 방향을 결정하는 것이다.

1. 조향각 계산 알고리즘

GPS를 이용한 주행 알고리즘은 횡 방향 컨트롤 (조향)이라 할 수 있다. 무인 자동차가 통과해야 할 정보 즉, WP가 입력되면 차량의 CG점에 장착되어 있는 compass와 GPS를 통하여 현재 차량의 진행방향에 대한 방위각과 위치를 얻을 수 있다.

Compass에서 얻어지는 차량 이동방향에 대한 방위각과 GPS에서 수신되는 현재 위치(CG)를 이용하여 차량 이동 방향벡터 \vec{v} 을 구할 수 있다. 또한 현재 위치(CG)와 WP 사이의 벡터 \vec{w} 를 구하여 벡터의 내적을 구할 수 있다. 이렇게 구해진 두 개의 벡터에서 내적 공식을 이용하여 사이각(β)을 구하게 된다.

2. 조향 방향 결정 알고리즘

조향각 계산 알고리즘을 통해 얻을 수 있는 조향각은 0°~180°이다. 이때 WP가 차량의 이동방향의 좌측에 있는 경우 좌회전, 우측에 있을 경우에는 우회전해야 하는데 위의 벡터의 내적 공식을 통해서 차량의 조향 방향은 얻을 수가

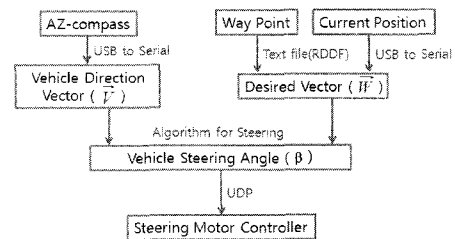


그림 10. 조향각 계산 방법.
Fig. 10. Steering angle calculation flow chart.

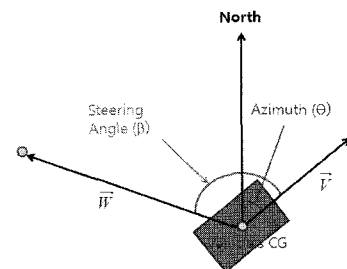


그림 11. 조향각 계산을 위한 차량 좌표계.
Fig. 11. Steering angle calculation algorithm.

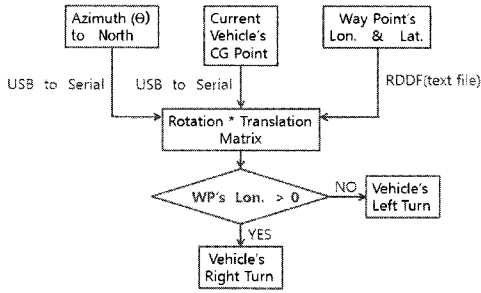


그림 12. 조향방향 결정 방법.
Fig. 12. Steering direction decision algorithm.

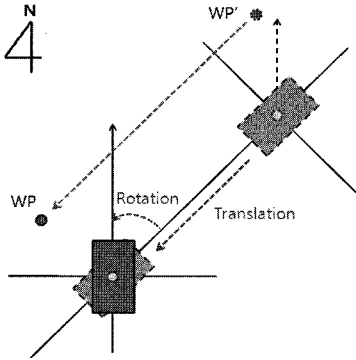


그림 13. 조향방향 결정을 위한 차량 좌표계.
Fig. 13. Concept of steering direction decision.

없다. 조향 방향을 결정하기 위해서는 현재의 차량의 위치와 컴파스로부터 얻은 차량의 진행방향 벡터 그리고 차량이 향하는 WP의 위치정보가 필요하다. 현재 차량의 위치좌표(CG)를 임의의 평면의 원점(0,0)으로 이동시키고, 차량의 진행 방향벡터를 방위각이 0°가 되도록 회전 이동시키고 차량이 향하는 WP와의 위치관계를 파악하면 차량의 조향 방향을 결정할 수 있다.

(5)와 (6)는 차량이 위치가 (C_Lon, C_Lat)로 방위각이 θ 로 주어졌을 때 차량의 위치를 임의의 평면의 원점으로 이동시키기 위한 회전변환과 이동변환 행렬이다. (7)과 (8)을 이용하여 (9)의 관계식을 얻을 수 있다. 얻은 (9)을 이용하여 차량의 현재좌표, 방위각 그리고 WP의 좌표를 대입하여 계산하였을 때 결과값이 양수이면 우측, 음수이면 좌측 조향이 된다.

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -C_Lon \\ 0 & 1 & 0 & -C_Lat \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & -C_Lon \cdot \cos\theta + C_Lat \cdot \sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & -C_Lon \cdot \sin\theta - C_Lat \cdot \cos\theta \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

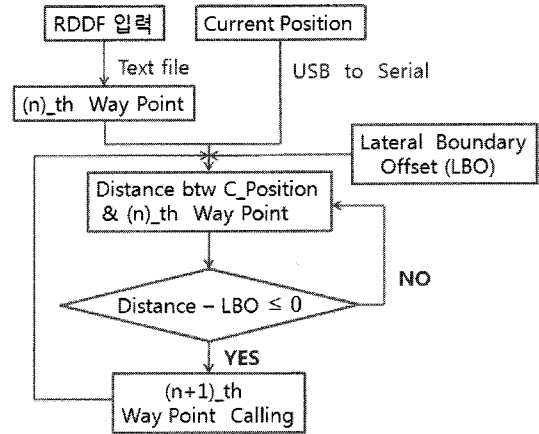


그림 14. 경유점 갱신 방법.
Fig. 14. Waypoint update algorithm.

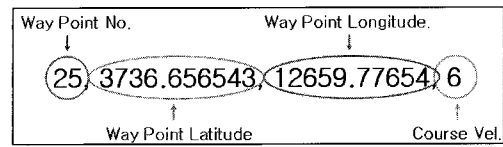


그림 15. RDDDF의 형식.
Fig. 15. Configuration of RDDDF.

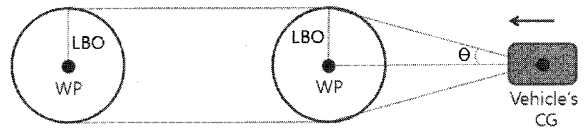


그림 16. 조향각의 최대, 최소 제한.
Fig. 16. Max. & Min. offset of steering angle.

$$\begin{bmatrix} WP_Lon & C_Lon \\ WP_Lat & C_Lon \\ 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\cos\theta(WP_Lon - C_Lon) + \sin\theta(C_Lat - WP_Lat) \quad (9)$$

3. Waypoint의 갱신 알고리즘

WP는 무인차량이 지나가야 할 위치를 표현한다. 무인차량이 어떠한 임무를 수행하기 위해서 사용하는 차량이 지나가야 할 경로를 미리 지정해 주어야 하며 이는 각각의 WP들의 집합으로 표현한다. 본 연구에서는 이를 위해 RDDDF(Route Data Definition File)라는 WP 저장파일을 만들어 사용하였다. RDDDF의 형식은 아래의 그림 15와 같다. RDDDF는 첫째 WP 번호, 둘째 WP의 위도, 셋째 WP의 경도 마지막으로 WP 간의 주행속도 정보로 이루어져 있다. 차량이 WP를 지나갔는지를 판별하기 위하여 허용범위인 LBO(Lateral Boundary Offset)를 사용한다. LBO는 WP를 중심으로 한 원형 범위이며 차량이 LBO범위 밖에 있으면 차량은 해당 WP를 향하여 주행을 하게 되며 주행 도중에 LBO 범위에 들어오게 되면 차량은 해당 WP를 지나갔다고 판단하여 다음 WP로 갱신하고 다음 WP를 향해 주행하게 된다.

앞서 제안된 조향각 알고리즘을 통해 주행 중 차량이 갖게

되는 조향각 성분을 알 수 있다. 하지만 차량이 WP 간의 중간에서는 직선 운동을 하게 된다. 그러므로 조향각 성분의 최대, 최소값을 좀더 세밀하게 제한하여 차량의 운동특성을 향상시킬 수 있다.

$$\tan \theta = \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right), \theta = \text{atan} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right) \tag{10}$$

$$\therefore \theta = \text{atan} \left(\frac{\text{LBO}}{\text{WP distance}} \right)$$

VI. 실험 및 결과

1. 실험 환경

무인차량의 WP주행을 위해 본교 운동장에서 WP를 획득하였다. WP는 운동장에서 차량이 지나갈 수 있는 공간을 고려하여 임의의 지점에서 GPS를 이용하여 측정하였다. 실험을 위하여 총 10개에서 22개의 WP를 획득하였고, 측정된 경위도 좌표를 이용해 만들어진 RDDF의 한 예는 표 5와 같다.

무인차량의 Waypoint주행 알고리즘을 구현하기 위하여 National Instrument사의 LabVIEW 8.2를 기본으로 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 GPS와 compass 데이터를 시리얼 포트를 이용하여 획득하며 보기 쉽게 GUI환경으로 표현하였다. 프로그램 중앙에는 현재위치와 차량이 지나갈 waypoint를 표시할 수 있게 하였다.

2. 주행 실험

본교 운동장을 이용하여 field 테스트를 실시하였다. 구간별로 차량의 속도는 3~8Km로 달리 설정하였고, 최종 도착지에서는 속도를 0km로 설정하여 스스로 멈추도록 하여 테스트를 실시하였다. 또 차량의 WP 통과 여부를 확인할 수 있는 LBO는 5m로 설정하여 테스트를 실시하였다. 첫 번째 실험은 10개의 WP를 설정하여 테스트 field 전체를 직사각형의 모양으로 운동할 수 있도록 하였다. 초기 출발부터 최종 도착지까지 대체적으로 안정적인 운동특성을 볼 수 있었다. 하지만 빨간색 원으로 표시한 부분에서는 GPS data의 집핑 현상이 발생하여 순간적으로 차량의 운동특성이 변화되고 결과적으로 약간의 불안정한 주행결과를 얻을 수 있었다.

표 5. 실험에 사용한 RDDF.

Table 5. Example of RDDF.

NO.	Latitude	Longitude	Vel.
1	3736.661269	12659.77156	6
2	3736.666532	12659.76658	6
3	3736.674904	12659.76443	3
4	3736.674919	12659.75903	6
5	3736.665587	12659.75558	6
6	3736.662362	12659.75241	6
7	3736.656671	12659.74715	3
8	3736.652213	12659.75337	6
9	3736.650393	12659.76056	6
10	3736.655331	12659.768	6
11	3736.656543	12659.77654	6
12	3736.65442	12659.78434	6
13	3736.651987	12659.79141	6
14	3736.650354	12659.79966	3
15	3736.644157	12659.7939	6
16	3736.641762	12659.79155	6
17	3736.638326	12659.78756	6
18	3736.630886	12659.78025	3
19	3736.637559	12659.77884	6
20	3736.643469	12659.77328	6
21	3736.648795	12659.77696	3
22	3736.656543	12659.77654	0

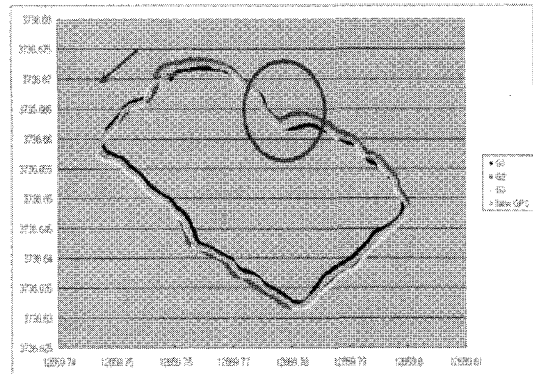
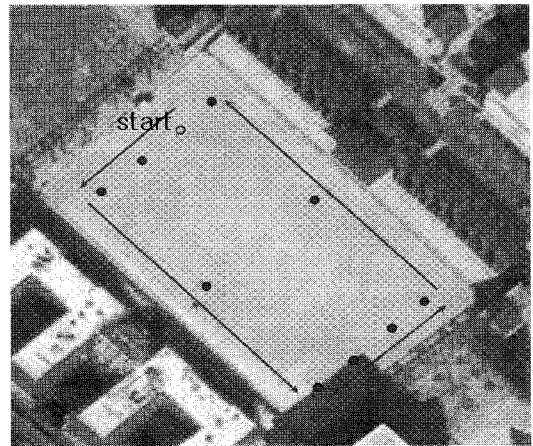


그림 17. 무인자동차의 주행 경로 1.
Fig. 17. UGV driving track #1.

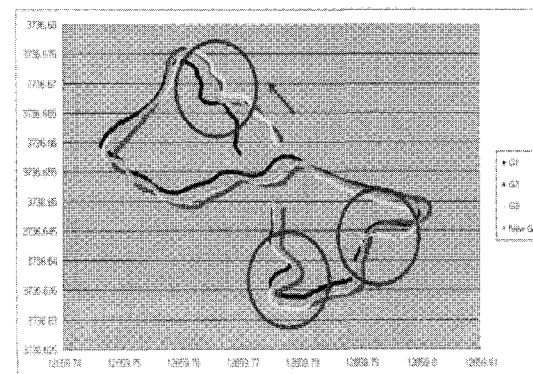
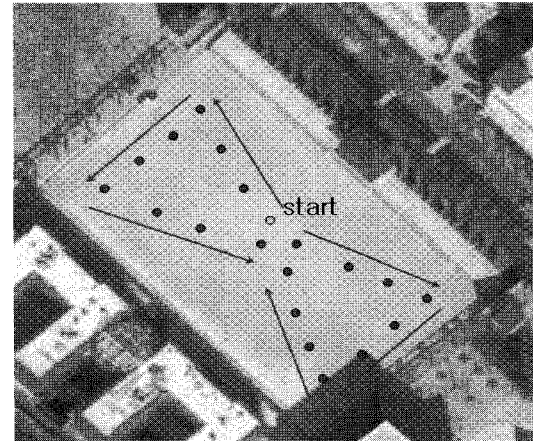


그림 18. 무인자동차의 주행 경로 2.
Fig. 18. UGV driving track #2.

3개의 GPS 데이터와 이 데이터들을 이용하여 만들어진 새로운 GPS 데이터는 크기는 직경 약 4m 이상의 차이를 줄일 수 있었고, 보정된 값의 신뢰도가 높아졌음을 알 수 있었다. 코너부분의 조향각이 90° 가량되는 부분에서 WP를 지나면서 차량이 WP를 미치지 못하고 경로를 수정하였는데 이는 LBO에 접근하면서 이미 다음 WP를 목적지로 잡아 차량이 이동하기 때문이다. 두 번째 실험은 운동장 전체를 사용하여 실험한 것으로 첫 번째 실험과 다른 점은 LBO를 3m로 줄이고, way point 수를 더 늘려주었다. 또한 차량의 운동특성을 파악하기 위하여 WP를 중심부분에서 큰 각을 주어 실시하였다. 초기 출발위치에서 3개의 GPS 데이터가 큰 차이를 보이는 것은 차량이 출발 전 정렬을 마치지 못했기 때문이다. 차량이 3개 부분에서 점핑 현상 갖게 되어 주행궤적이 크게 틀어져있는 것을 알 수 있다.

또한 중앙부분의 큰 각을 두어 차량이 다음 WP를 찾는 데 있어서는 직경 약 8m 정도의 오차를 보였다. 이는 차량의 급작스레 조향하게 되는 경우 GPS가 자체적인 예측필터의 데이터를 이용하는데 있어서 오차가 크게 발생하는 것을 나타낸다. 그림 18에서 그림 17 보다 차량의 주행 궤적의 오차가 더 발생한 것을 볼 수 있다. 이는 차량이 통과해야 할 WP의 수가 늘어나므로 WP를 갱신하면서 생기는 시간지연의 횡수가 증가하면서 차량의 운동특성이 불안정해진다는 것을 알 수 있었다. 또한 LBO의 수치가 적어지면서 차량 속도에 의한 관성력으로 인하여 차량이 WP를 지나쳐서 다음 WP를 지향하는 특성을 보이는 것을 알 수 있었다. 또한 회전 반경이 90° 이상으로 커지는 way point에서도 그림 17 보다 큰 오차를 보였다.

VII. 결론

본 연구에서는 고가의 DGPS를 대신해 저가의 GPS를 다중으로 사용하여 시스템의 비용을 약 1/40~1/10을 줄이고 GPS의 불안정한 데이터를 안정화 알고리즘을 이용하여 위치 오차를 15m에서 1~3m 이내로 줄였다. 이를 무인차량의 항법시스템에 적용하여 미리 정해진 WP를 추종하며 원하는 목적지까지 구간별로 속도를 달리하여 차량의 운동특성을 안정화시키는 연구를 수행하였다. 차량에는 3개의 GPS와 함께 compass를 장착하여 차량이 주행하기 전 GPS와 compass 데이터의 캘리브레이션을 마치고 데이터의 안정화를 수행한 후 차량의 현 위치에 대한 방위각을 얻어 사이각 공식을 이용하여 첫 번째 way point에 대한 조향각을 결정하게 된다. 또 차량의 현 위치에서 가상의 원점을 설정하여 이동, 회전 변환을 수행하여 차량의 조향 방향에 대한 정보를 얻어 주행 방향에서의 좌, 우 회전을 결정하게 된다. 또한 원하는 정도의 offset 정도에 차량이 도달하는 경우 다음 WP를 호출하여

차량의 연속적인 주행을 하게 된다. 차량의 주행 중 3개의 GPS에 대한 raw data를 저장하여 주행결과 그래프에 도시하는 방식으로 진행되었다. 차량의 주행실험 결과에 따르면 차량은 주행 중 원하는 WP를 추종하며 목적한 위치까지 정확한 방향과 조향각을 그리며 이동하였다. 새로운 알고리즘을 적용한 GPS 데이터에서 적게는 1m에서 크게는 3m의 격차를 보이며 데이터가 안정화된 것을 알 수 있었다.

또한 3개의 GPS 데이터 중 1개의 데이터에서라도 점핑 현상이 발생하는 경우에도 데이터의 변화량이 줄어들게 되어 차량의 조향각의 변화가 기존의 시스템에 비해 적어 차량의 주행 안전성을 높였다. 하지만 고가의 DGPS를 이용하였을 때와 비교하면 아직 위치 오차가 10배정도 차이가 나기 때문에 차량의 위치데이터를 보다 안정화 시키기 위한 방법이 요구되며 이를 위하여 예측필터와 IMU(Inertia Measurement Unit)를 이용하여 차량의 움직임을 측정된 후 GPS데이터와 비교하여 보다 정확한 차량의 위치를 측정할 수 있는 시스템이 필요하다.

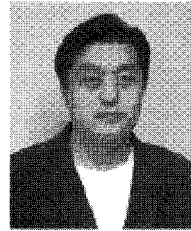
참고문헌

- [1] S. B. Chun, E. S. Lee, Y. J. Lee, T. S. Kang, and G. I. Jee, "Performance improvement in GPS attitude determination using unscented Kalman filters," *Journal of Control, Automation and System Engineering*, vol. 11, no. 7, pp. 621-626, 2005.
- [2] Y. H. Kim, B. S. Choi, and J. M. Lee, "Hybrid car navigation system using GPS and dual electric compass," 제어 · 자동화 시스템 · 공학회 논문지, 제 12 권, 제 2 호, pp. 106-112, 2006.
- [3] S. B. Chun, E. S. Lee, Y. J. Lee, T. S. Kang, and G. I. Jee, "The position compensation for a mobile robot using DGPS-type precise position service system," *Journal of Control, Automation and System Engineering*, vol. 12, no. 9, pp. 883-890, 2006.
- [4] S. C. Kim, J. S. Hong, and J. W. Song, "MEMS GPS/INS navigation system for an unmanned ground vehicle operated in severe environment," *Journal of Control, Automation and System Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 133-139, 2007.
- [5] C. D. Crane III, D. G. Armstrong II, "Team CIMAR's Navigator : An unmanned ground vehicle for the 2005 DARPA grand challenge," *Journal of Field Robotics*, vol.23, no. 8, pp. 599-623, 2006.
- [6] 김상겸, 양승규, 김정하, 이운성, "DGPS를 이용한 차량의 위치결정 방법," 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, pp. 615-620, 1998.
- [7] 한광훈, "GPS와 INS 통합에 관한 연구," 서울대학교 항공우주공학과 석사학위 논문, 2001.
- [8] DARPA Grand Challenge 2005, Official Site <http://www.darpa.mil/grandchallenge>.



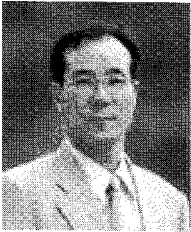
문희창

1976년 7월 5일생. 2001년 선문대학교 기계설계학과 졸업. 2003년 국민대학교 자동차공학전문대학원 석사. 2003년~현재 동 대학원 박사과정 재학중. 관심분야는 무인자동차, 카메라를 이용한 장애물인식, 마이크로 로봇.



손영진

1972년 7월 5일생. 2003년 서울산업대학교 신소재공학과 졸업. 2005년 국민대학교 산업기술대학원 자동차공학과 석사. 2005년~현재 국민대학교 자동차공학전문대학원 박사과정 재학중. 관심분야는 무인자동차, 원격제어시스템.



김정하

1959년 3월 21일생. 1981년 성균관대학교 기계공학과 졸업. 1986년 Univ. of Cincinnati 공학석사. 1990년 Univ. Pennsylvania 공학박사. 1994년~현재 국민대학교 기계자동차공학부 교수. 관심분야는 차량전자제어시스템, 무인자동차.