

위성항법 기반 AGV의 안전성 향상 시험

Safety Improvement Test of a GNSS-based AGV

강우용*, 이은성*, 한지애*, 허문범*, 남기욱*

Woo-Yong Kang*, Eun-Sung Lee*, Ji-Ae Han*, Moon-Beom Heo* and Gi-Wook Nam*

요약

본 논문에서는 위성항법 기반의 위치 정보를 이용하여 주행하는 AGV(Autonomous Guided Vehicle)의 안전성을 향상시키기 위한 항법 시스템을 구성하고 성능 시험을 수행하였다. 이를 위해 위성항법 신호에 급격한 오차를 감지하고 위성항법 신호가 단절된 경우에도 연속적인 주행이 가능하도록 DR(Dead Reckoning) 항법 시스템을 구성하였다. 주행 시험 결과 0.15m 이상의 위성항법 오차를 감지할 수 있었으며 8초의 위성항법 신호 단절에서 약 1.5m 이내의 오차로 안정적인 주행을 확인 할 수 있었다.

Abstract

In this paper, a navigation system was designed, and performance tested in order to confirm the safety improvement of the GNSS(Global Navigation Satellite System)-based AGV(Autonomous Guided vehicle) which used only position information of GNSS. We developed DR(Dead Reckoning) navigation system that involve the use of GNSS abnormal positioning error detection and GNSS signal outage. The test results show that GNSS positioning error is detection can be archived with an error of more than 0.15m. In addition, the DR driving position error is 1.5m for an 8s GNSS positioning service outage.

Key words : GNSS(Global Navigation Satellite System), AGV, Safety , DR(Dead Reckoning) navigation

I. 서론

GPS(Global Positioning System)로 대표되는 위성항법시스템(GNSS: Global Navigation Satellite System)은 우주공간의 위성을 이용하여 사용자에게 위치와 함께 시각 정보를 제공해 준다. 위성항법시스템은 항법 분야뿐만 아니라 측량, 측지를 비롯하여 정밀 시각동기 및 지각변동의 측정까지 다양한 분야에서 활용되고 있다[1,2]. 항법분야에 있어서 위성항법시스템의 오차를 제거한 정밀한 위치 정보를 이용하여

AGV(Autonomous Guided Vehicle)에 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[3,4]. 위성항법을 이용하여 AGV를 제어하는 경우 지상 시설의 설치 없이 위성항법 기반의 위치 정보를 저장하여 주행 경로를 설정하므로 기존 AGV에 비해 주행경로 설정이 효율적이다[5].

그러나 위성항법을 움직이는 이동체에 적용할 경우 주변 여건에 따라 위성항법 정보에 급격한 오차가 발생하거나 위성항법 정보를 이용하지 못하는 경우가 빈번히 발생한다. 특히, 무인으로 주행하는

* 한국항공우주연구원(Korea Aerospace Research Institute)

· 제1저자 (First Author) : 강우용

· 투고일자 : 2010년 10월 5일

· 심사(수정)일자 : 2010년 10월 6일 (수정일자 : 2010년 10월 20일)

· 게재일자 : 2010년 10월 30일

AGV의 경우 이러한 위성항법 정보의 이상은 주행 안정성에 영향을 준다. 그러므로 자이로와 레이저스캐너 등과 같은 부가적인 센서를 이용하여 안정성을 향상시키는 연구가 많이 진행되었다[6]. 그러나 이러한 다양한 시스템의 구성을 복잡하게 하며 비용을 증가시킨다.

그러므로 본 논문에서는 다른 부가적인 센서의 사용 없이 위성항법 기반의 AGV에 부착되어 있는 센서와 차량 동역학 모델을 이용하여 DR(Dead Reckoning) 항법시스템을 구성하고 성능을 분석하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 위성항법 기반 AGV 시스템에 대해서 소개하도록 하고, 3장에서는 안전성 향상을 위한 DR 시스템을 설명하며 4장에서는 실 주행 시험 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. 위성항법 기반 AGV 시스템

위성항법 기반 AGV 시스템은 현재 골프장에서 사용되고 있는 AGV(제조사 : CT&T, 제품명 : 전자유도 5인승 골프카트)를 개조하여 제작하였다[5,7]. 그리고 위성항법 기반의 정밀위치정보를 사용하여 주행이 가능하도록 항법모듈과 제어모듈을 추가적으로 제작하였다. 항법 모듈과 제어 모듈이 담당하는 기능은 표 1과 같다.

2-1 항법 모듈

항법 모듈은 위성항법 반송파를 사용하여 이동체의 정밀위치정보 생성, 기준궤적 저장, 조향입력 생성을 담당한다. 정밀위치정보생성을 위해서 위치정보 생성을 위해서는 단일차분 기반(SD: Single Difference)의 위치 결정기법을 이용하며 그림 1과 같이 기준국과 이동체인 AGV로 구성한다. 기준국에서는 기준국의 좌표 및 수신한 항법 신호를 무선 모뎀을 이용하여 AGV에 장착되어 있는 모뎀으로 전송한다.

AGV에서는 기준국에서 받은 위성항법 정보와

표 1. 위성항법 기반 AGV 시스템 구성
Table 1. The system configuration of GNSS based AGV.

구성	기능
항법 모듈	정밀위치정보 생성 기준궤적 저장 조향입력 생성
제어 모듈	차량 장착 센서 입·출력 제어 주행모터 및 조향모터 제어

자신이 수신한 위성항법 정보를 차분하여 기준국에 대한 상대거리를 2Hz 주기로 계산한다[8]. AGV에서 계산되는 위치정보는 기준국을 중심으로 하는 상대위치이므로 본 논문에서는 기준국을 원점으로 하는 ENU 좌표계를 위성항법 기반 AGV의 기준 좌표계로 정의한다. 그러므로 위성항법 기반 AGV의 위치정보는 기준국을 원점으로 하는 (E,N,U) 좌표값으로 계산된다.

기준점 및 항법좌표계가 설정되고 나면 기존 유도선을 대신하여 위성항법 기반의 기준궤적을 생성한다. 기준궤적은 주행 경로를 잘 반영할 수 있는 지점의 위치를 측정하여 생성한다. 기존의 유도선은 연속적인 선으로 기준궤적이 구성되나 위성항법 기반 AGV에서는 기준궤적의 저장 공간 및 계산량에 한계가 있으므로 이를 고려하여 0.05m 간격의 이산적인 값을 이용하여 기준궤적을 생성한다.

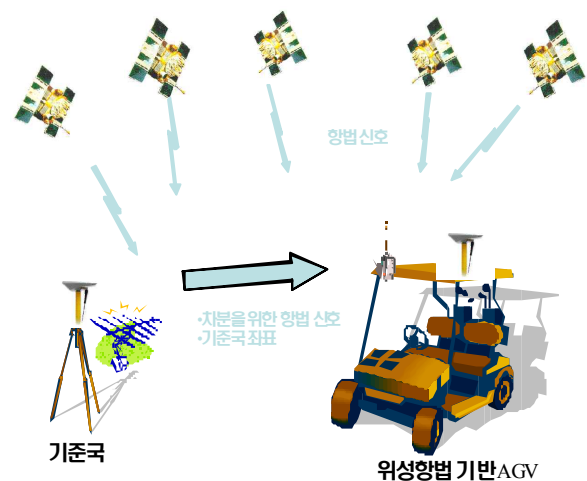


그림 1. 단일차분을 이용한 위치정보생성
Fig. 1. The generation of position data using single difference.

기준궤적을 생성하고 난 후 위성항법 기반으로 AGV가 주행하기 위해서는 기준궤적을 추종할 수 있는 조향입력을 생성해야 한다[5]. 조향입력 생성은 그림 2에서와 같이 현재 AGV 위치($P_l(E,N,U)$)에서 가장 가까운 기준궤적상의 점($r_{\min}(E,N,U)$)을 찾은 후 목표지점 지향각(ψ)과 AGV의 방위각(θ)을 계산한다. AGV의 현재 위치에서 가장 가까운 기준궤적상의 횡 방향 이격거리(D)는 위성항법 기반 AGV의 위치오차로 정의하며 주행성능 평가에 활용한다. 목표지점 지향각은 AGV의 속도를 고려하여 기준궤적상의 미래지점을 목표지점 ($r_{\text{target}}(E,N,U)$)으로 계산한다. 이와 함께 움직이는 이동체를 제어하기 위해서는 방위각 정보가 필수적이다. 그러나 위성항법 기반 AGV에서는 방위각을 측정 할 수 있는 장치가 없으므로 현재 AGV의 위치와 이전 AGV의 위치 ($P_{l-1}(E,N,U)$)를 차분하여 AGV의 방위각을 생성한다. 생성된 정보들은 표 2와 같은 형식으로 제어모듈로 전송한다.

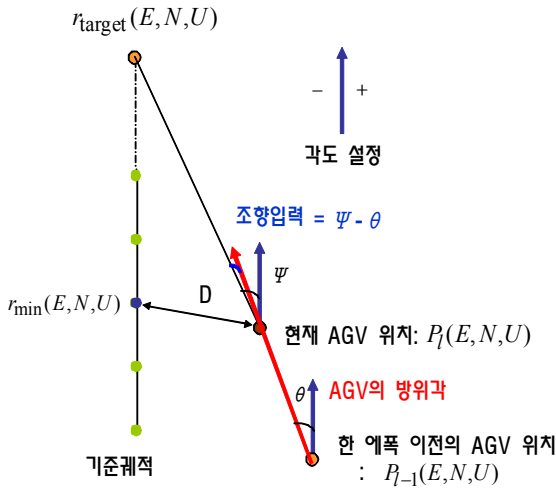


그림 2. 조향입력 계산 과정

Fig. 2. The process of steering input calculation.

표 2. 항법 정보 형식

Table 2. The form of navigation data.

항 목	패킷 수 (Byte)	설명
$P_l(E,N,U)$	12 (3×4)	차량 현재 좌표 (P_E, P_N, P_U)
D	2	횡방향 이격 거리
ψ	2	미래 지점 지향각
θ	2	차량의 방위각(기준궤적 기준)

2-2 제어 모듈

제어 모듈은 차량 장착센서의 입·출력의 제어와 함께 항법 모듈에서 AGV의 위치정보와 조향 입력 값을 이용하여 주행 및 조향모터 등을 제어한다. 메인, 인터페이스, 모터 드라이브, 파워, 릴레이 보드로 구성되며 제작된 보드는 그림 3과 같으며 각 보드의 주요 기능 및 사양은 표 3과 같다. 제어모듈에서 차량 장착센서 값이 처리되므로 제어 모듈에 DR 항법 시스템 구성하여 신호 이상시 안정적인 주행을 가능 하도록 한다.

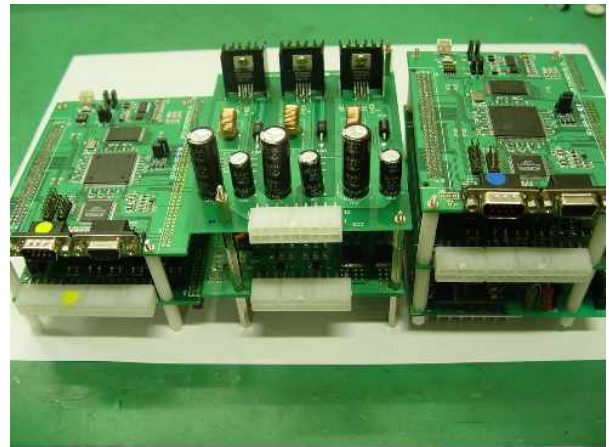


그림 3. 제어 보드

Fig. 32. Control board.

표 3. 제어모듈 사양

Table 3. The specification of control module.

구성	주요 기능	비고
메인 보드	데이터 처리 PWM 출력 디지털 입·출력 SPI/RS 232 통신	DSP(TMS320F2812)
인터페이스 보드	아날로그 입·출력	ADC : 12bit DAC : 16bit
모터 드라이브 보드	조향 모터 제어	6A 모터
파워 보드	각 보드에 안정된 전압을 제공하며	5 V/12 V
릴레이 보드	수동과 자동 주행 기능의 전환	

III. 안전성 향상을 위한 DR 시스템 구성

위성항법 기반 AGV는 항법 위성으로부터 전송된 신호를 이용하여 위치를 계산하므로 사용자의 수신 환경에 따라 성능이 달라진다. 특히, 주변의 건물 또는 산 등의 장애물이 존재하는 경우 가시성이 저하되어 위치를 계산할 수 없거나 다중경로(Multipath) 오차의 증가로 인하여 급격한 위치 오차가 발생한다. 그러므로 위성항법 신호의 이상으로 현재의 위치 정보를 계산하지 못하는 경우 AGV에 장착된 엔코더와 조향각 센서를 이용한 DR 시스템을 통하여 AGV의 위치를 계산한다.

3-1 DR 기반 주행 시스템

DR 시스템의 위치 계산은 차량에 장착된 엔코더와 조향각 센서의 출력력을 적분하여 식(1)과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} E_{k+1} &= E_k + V \times \sin(Yaw_k) \times t \\ N_{k+1} &= N_k + V \times \cos(Yaw_k) \times t \\ Yaw_{k+1} &= Yaw_k + \Delta\theta \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, E_k, N_k 는 위치정보의 초기 값, Yaw_k 는 방위각의 초기 값, v 는 엔코더를 이용하여 측정된 차량의 이동 속도, t 는 적분 주기(0.5s), $\Delta\theta$ 는 차량의 방위각 변화량을 의미한다.

DR 기반의 주행 시스템에 있어서 차량의 방위각 정보는 위치 계산에 영향을 미치므로 가장 중요하다. 그러나 방위각의 변화량을 측정할 수 있는 센서가 없으므로 이동체 바퀴의 조향각과 동역학 모델을 이용하여 그림 1과 같은 방식으로 추정하며 이를 수식화하면 식 (2)와 같다[9].

$$\Delta\theta = \frac{L \times \delta}{V \times t} \quad (2)$$

여기서, L 은 AGV의 축간 거리(길이), δ 는 앞 바퀴 조향각의 변화량(조향각 센서 출력의 변화량)을 의미한다.

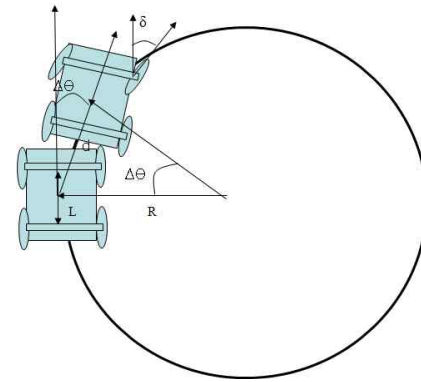


그림 4. 조향입력 계산 과정

Fig. 4. The process of steering input calculation.

표 4. DR을 위한 항법 정보 형식

Table 4. The form of navigation data of DR.

항 목	패킷 수 (Byte)	설명
Yaw	2	차량 방위각(N 방향 기준)
Ref_P	240 (3×4×20)	현재의 위치기준 1m 간격으로 20개의 미래 기준 궤적

DR 기반의 주행 시스템의 계산을 위해서는 위치와 방위각의 초기 값이 필요하다. 또한 AGV의 경우 정해진 경로만을 주행하므로 기준궤적에 대한 정보가 필요하다. 그러므로 표 4와 같이 기존의 항법 정보에서 차량의 방위각(N 방향 기준)과 미래 기준궤적을 추가적으로 전송한다. 미래 기준궤적은 1m 간격으로 구성되며 AGV의 속도와 위성항법 정보가 들어오지 않는 시간을 고려하여 현재 위치를 기준으로 20m 지점으로 구성한다.

3-2 안전성 향상 알고리즘

위성항법 정보가 들어오는 경우 위성항법 기반의 AGV의 위치를 초기 값으로 식(1)을 이용하여 0.5s 이후의 위치를 DR 시스템에서 추정한다. 추정된 위치와 이 시점에서 전송된 위성항법 기반의 위치를 비교하여 위성항법 위치의 급격한 오차를 검출하며 이를 도시화하면 그림 5와 같다. 위치 오차 검출을 위한 임계치(Threshold)는 DR 결과와 위성항법 기반의 위치 값의 차이 값을 기반으로 설정한다. 본 논문에서는 주행 시험을 통하여 안전성 향상을 위한 임계치를 도출한다.

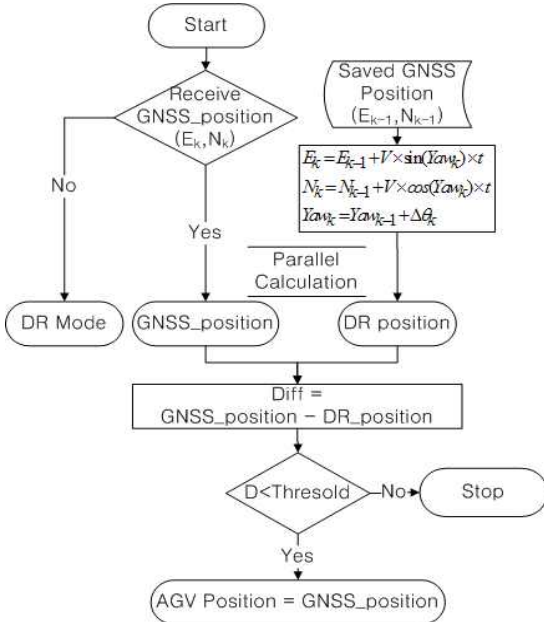


그림 5. 위성항법 위치 오차 검출 알고리즘
 Fig. 5. Algorithm for the detection of GNSS positioning error.

계속적으로 위성항법 정보가 들어오지 않는 경우 그림 6과 같이 DR시스템에서 추정된 값을 계속 초기 값으로 AGV의 위치를 계산한다. 이러한 경우 DR시스템에 오차가 누적되어 위치가 발산한다. 그러므로 본 논문에서는 AGV에 장착된 엔코더와 조향각 센서의 사양을 고려하여 8s 동안의 위성항법 신호 단절을 고려하여 DR 주행 시험을 수행하고 그 결과를 도출한다.

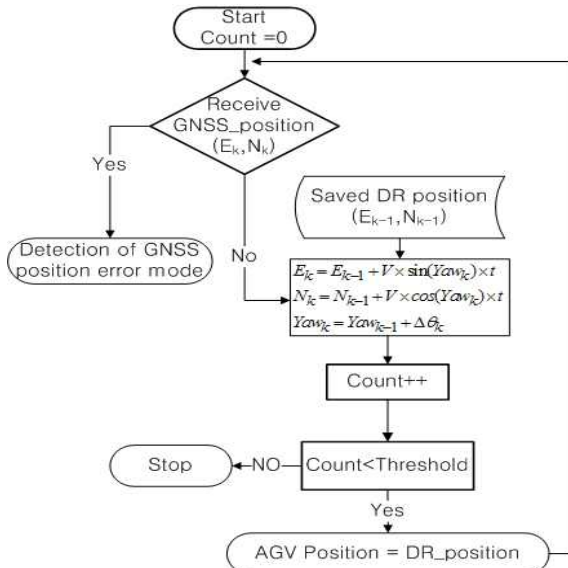


그림 6. 위성항법 신호 단절 구간에서 DR 알고리즘
 Fig. 6. The DR algorithm of GNSS data outage.

IV. 시험 결과

DR 기반 주행 성능 시험을 위해서 곡선구간에 기준궤적을 설정하고 6km/h의 속도로 주행 시험을 수행하였다. 그림 7은 위성항법 위치 정보가 이용 가능한 구간에서 위성항법 위치 정보를 초기 값으로 설정한 주행 결과이다. E와 N은 ENU 좌표계에서의 동쪽(East), 북쪽(North) 방향의 AGV 위치이며 파란색은 위성항법 기반, 빨간색은 DR 기반의 위치이다. 오른쪽 위에서 출발하여 C 자형 구간을 주행한 결과로 두 값이 유사함을 확인 할 수 있다. 또한 위성항법과 DR 기반의 위치 차이 값(Diff)인 그림 8을 보게 되면 0.15m 이내의 위치 차이를 확인 할 수 있다. 그러므로 0.15m 이상을 임계치로 설정하게 되면 위성항법 신호의 급격한 이상 시 AGV의 주행 안전성을 확보 할 수 있다.

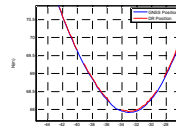


그림 7. 위성항법 및 DR 위치 결과

Fig. 7. The results on the GNSS position and DR position.

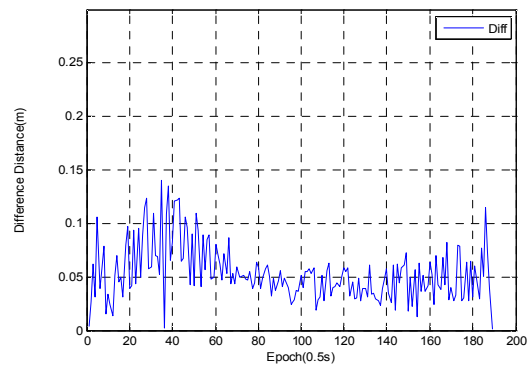


그림 8. 위성항법 및 DR 위치 오차의 차이값

Fig. 8. Difference in the distance between the GNSS position and the DR position.

그리고 위성항법 단절 구간에서의 주행 성능을 확

인하기 위해서 곡선 진입 구간에 8초간의 위성항법 신호 단절구간을 설정한 후 DR 기반의 위치와 위성항법 기반 위치 정보를 비교하였다. 그림 9에서 위성항법 정보가 들어오지 않는 DR 구간에서 위치오차가 증가함을 확인 할 수 있다. 또한, 위성항법 위치 정보와 DR 위치의 차이를 비교해보면 그림 10과 같이 8초간 1.5m 이내의 오차를 확인할 수 있다. DR 주행의 경우 차량에 장착되어 있는 엔코더와 조향각 센서의 잡음으로 인하여 위치 계산 과정에서 오차가 누적되므로 수초 이내의 신호 단절에는 사용할 수 있지만 장시간 신호 단절에는 사용이 어렵다는 것을 확인할 수 있다.

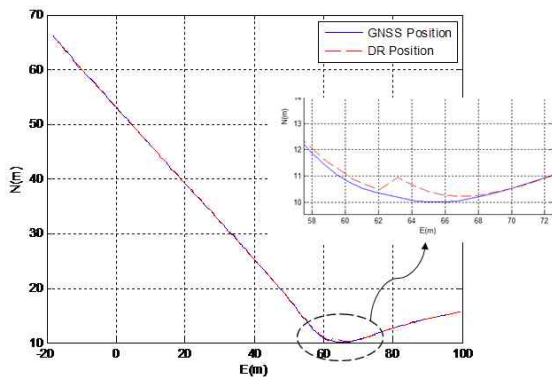


그림 9. 8초간의 위성항법 신호 단절 구간에서의 DR 위치와 위성항법 위치 결과
 Fig. 9. Test results of the GNSS and position and the DR position for an 8s GPS outage.

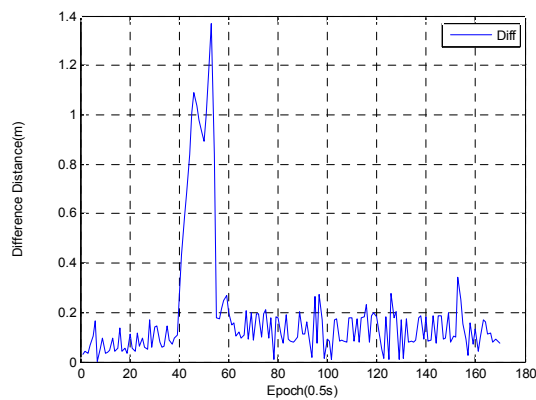


그림 10. 위성항법 및 DR 위치 오차의 차이값
 Fig. 10. Difference in the distance between the GNSS position and DR position for an 8s GPS outage.

V. 결 론

본 논문에서는 위성항법 기반의 AGV의 안전성을 향상시키기 위해서 AGV에 장착된 차량 센서와 이동체의 동역학 모델을 이용하여 DR항법 시스템을 구성하였다. 그리고 이를 바탕으로 주행성능 시험을 수행하여 그 결과를 분석하였다. 위성항법 정보가 들어오는 구간에서는 DR 시스템과의 병렬 사용을 통하여 0.15m 이상의 위성항법 신호의 급격한 위치 오차 검출이 가능함을 확인 할 수 있었다. 또한 위성항법 신호가 단절된 DR 주행에서는 시간이 지날수록 DR 시스템의 위치 오차가 증가함을 확인할 수 있으며 8초간의 DR 주행서 1.5m의 위치 오차로 주행함을 확인할 수 있었다. 이를 바탕으로 향후 위성항법 신호의 이상이 발생하는 구간에서 이동체의 동역학 모델과 이동체에 장착되어 있는 위치정보 제공센서 만을 사용하여 시스템을 구성 시 활용이 가능하다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 교통체계효율화 사업의 일환으로 수행 중인 위성항법 기반 교통인프라 기술개발 과제의 일환으로 수행됨.

참 고 문 헌

- [1] Bradford W. Parkinson, James J. Spiker Jr., Global Positioning System : *Theory and Applications*, AIAA 1996.
- [2] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and J. Collins., *Global Positioning System: Theory and Practice*, Springer-Verlag, Wien, 1997.
- [3] Mathieu Joerger, "Development of a GPS-based navigation and guidance system for an automated ground vehicle" *Chicago, Illinois*, December 2002
- [4] Michael Lee O'Connor. "Carrier-phase differential GPS for automatic control of land vehicles", *Stanford university*, December. 1997

[5] 강우용, 이은성, 허문범, 남기욱. "위성항법기반 AGV의 조향성능 시험", *한국항공우주공학회지*, 제38권 제 2호, pp. 180~ 187, 2010. 2.

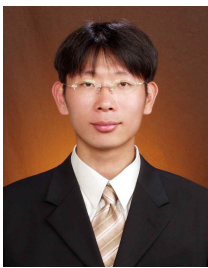
[6] Yunchun Yang, Jay A. Farrell. Magne-tometer and Differential Carrier Phase GPS-Aided INS for Advanced Vehicle Control. *IEEE transactions on robotics and automation* 2003; 19(2): 269-282

[7] <http://www.ctnt.co.kr/>

[8] Moon-Beom Heo Pervan, B. Gautier, J. Pullen, S. Enge, P. Gebre-Egziabher, D. "Robust airborne navigation algorithms for SRGPS", *PLANS* 2004

[9] J.Y.Wong. F.I.Mech.E, F.A.S.M.E,F.C.S.M.E "Theory of Ground Vehicle, Third Edition.," *JOHN WILEY&SONS,INC*, 2001.

강 우 용 (姜佑勇)



2004년 2월 : 부산대학교 전자공학과 (공학사)
 2006년 2월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학석사)
 2006년 ~ 2007.7 : 현대자동차 연구원
 2007.7년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 연구원

관심분야 : 관성항법, 위성항법 시스템 고장검출, 위성항법 보강항법시스템

이 은 성 (李銀成)



1996년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 (공학사)
 1998년 2월 : 건국대학교 기계공학과 (공학석사)
 2005년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 (공학박사)
 2007년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

선임연구원

관심분야 : 위성항법 정밀위치결정, 위성항법 시스템 고장검출, 위성항법 보강항법시스템

한 지 애 (韓志愛)



2004년 2월 : 충북대학교 천문우주학과 (이학사)
 2006년 2월 : 충북대학교 천문우주학과 (이학석사)
 2010년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 연구원

관심분야 : 위성항법 정밀위치결정, 위성항법 시스템 고장검출, 위성항법 보강항법시스템

허 문 범 (許文範)



1992년 2월 : 경희대학교 기계공학과 (공학사)
 1997년 2월 : Illinois Institute of Technology (공학석사)
 2004년 2월 : Illinois Institute of Technology (공학박사)
 2005년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

선임연구원

관심분야 : 위성항법 정밀위치결정, 위성항법 시스템 고장검출, 위성항법 보강항법시스템

남 기 옥 (南基旭)



1983년 2월 : 항공대학교 항공운항학과 (공학사)
 1988년 2월 : 항공대학교 항공운항학과 (공학석사)
 1996년 2월 : 영국 Cranfield University (공학박사)
 1996년 ~ 현재 : 한국항공우주연구원

책임연구원

관심분야 : 항공공학 신뢰성, 위성항법 보강시스템, 항법탑재체