

차선이탈경보를 위한 차량용 GPS/DR 통합항법시스템 기반의 모니터링 프로그램 개발

Development of Monitoring Program Based an Automotive GPS/DR Integrated Navigation System for Lane Departure Warning

박순철*, 천세범*, 김정원**, 허문범*

Soon-Chul Park*, Se-Bum Chun*, Jeong-Won Kim** and Moon-Beom Heo*

요 약

본 논문에서는 높은 정확도를 요구하는 육상교통분야에 활용할 수 있는 통합항법 알고리즘을 설계하고 차선이탈경보를 위한 모니터링 프로그램을 개발하였다. 차선이탈경보를 위해서는 차선 구분이 가능한 정확도 높은 위치정보가 필요하므로 GPS와 DR기반의 위치정보를 융합한 위치결정 알고리즘을 설계하였다. 설계한 통합항법 알고리즘의 검증을 위해서 실제 차량을 이용하여 데이터를 수집하고, 후처리한 결과를 모니터링 프로그램으로 확인하였다. 모니터링 프로그램은 주행동영상과 항공사진을 통해서 차로유지 및 차선이탈 유무를 확인할 수 있도록 제작하였다.

Abstract

In this paper, integrated navigation algorithm is designed for land transport sector which is needed high accuracy and monitoring program is developed for lane departure warning. High accuracy position information which is possible lane separation is needed for lane departure warning, so position detection algorithm based GPS/DR which combine GPS with dead reckoning is proposed. For the verification of the designed integrated navigation algorithm, we drove to acquire data and showed post-processing experiment results with monitoring program. Vehicle driving movie and aerial photograph in monitoring program is designed to show lane keeping and lane separation.

Key words : GPS/DR, Lane keeping, Lane Departure Warning System, Monitoring Program

I. 서 론

GPS(Global Positioning System)는 시간, 공간, 기상 상태에 관계없이 신뢰성 있는 위치정보를 알려주는

지구 전역에 사용 가능한 위성기반 항법시스템이다. 최근 GPS를 활용하여 운전자의 안전성과 편의성을 향상시키는 동시에 다양한 첨단 기능을 부여하는 지능형 자동차 개발이 활발하다. GPS를 활용한 대표적

* 한국항공우주연구원(Korea Aerospace Research Institute)

** (주)한화(Hanwha Corporation)

· 제1저자 (First Author) : 박순철

· 투고일자 : 2010년 10월 20일

· 심사(수정)일자 : 2010년 10월 22일 (수정일자 : 2010년 12월 17일)

· 게재일자 : 2010년 12월 30일

인 지능형 자동차 기술에는 연료 부족시 가장 가까운 주유소를 안내해주는 시스템, 차선을 이탈할 경우 자동으로 알려주는 차선이탈경보시스템과 사고 시 위치정보를 전송해주는 긴급구난시스템 등이 있다.

한편, GPS는 지형지물에 의해 가시위성수 부족으로 위성 신호를 수신하지 못하는 단점이 있는데 높은 정확도와 안전성을 얻기 위하여 GPS와 관성 센서를 함께 사용한다.

관성 센서로는 단위시간당 회전각의 변화를 검출하는 gyroscope와 단위시간당 속도의 변화를 검출하는 가속도계를 들 수 있는데 이러한 센서들은 처음 있던 위치를 입력하면 이동해도 자기의 위치와 속도를 항상 계산해 이동한 거리를 구할 수 있다. 하지만 긴 거리를 이동하면 오차가 누적되어 커지므로 GPS와 통합하여 GPS/DR 시스템을 구성하면 정확한 위치 및 속도 정보를 연속적으로 제공할 수 있다[1]-[3].

II. GPS/DR 통합항법시스템 기술

2-1 GPS 성능 분석

육상 차량의 경우 고층 빌딩, 나무 등의 도로주변의 환경의 영향으로 GPS 신호의 성능이 크게 저하되는데 주로 다중경로 오차에 의하여 발생하고, 특히 반송파 측정치에 매우 큰 영향을 미친다. 실험은 주변 사물의 영향이 없는 개활지와 주변에 고층 아파트와 나무가 존재하는 도심환경에서 데이터를 수집하여 반송파기반의 측위 성능을 확인하였다.

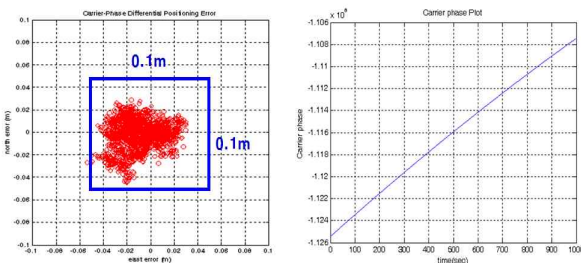


그림 1. 개활지에서의 CDGPS 수평위치오차와 반송파 위상 측정치

Fig. 1. CDGPS horizontal position error and carrier phase measurement at open sky.

그림 1은 개활지에서의 반송파기반의 CDGPS 수평위치오차와 반송파 위상 측정치를 나타낸다. 실험 방법은 한국항공우주연구원 본관 옥상에 설치된 안테나로부터 수집한 신호를 이용하여 영기저선으로 실험하였기 때문에 공간이격오차가 없는 환경이다. 위 결과에서 확인 할 수 있듯이 주변에 영향을 주는 장애물이 없는 환경에서 반송파를 사용하는 경우에는 10cm이하로 매우 정밀하게 위치를 구할 수 있다.

하지만 고층 아파트와 가로수가 도로주변에 있는 도심지의 경우 주변 장애물이 GPS신호에 여러 오차를 발생시켜 위치 오차가 증가하게 된다. 그림 2는 도심지에서 다중경로에 의한 측정치와 위치결과를 나타내었다.

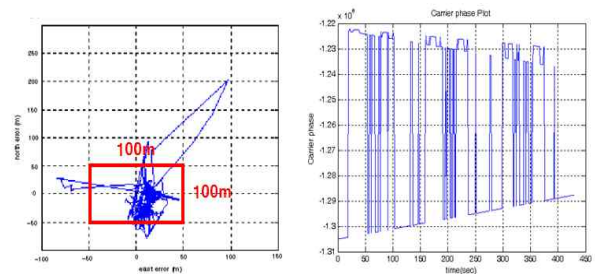


그림 2. 도심지에서의 Stand-Alone GPS 수평위치오차와 반송파 위상 측정치

Fig. 2. Stand-alone GPS horizontal position error and carrier phase measurement at urban canyon.

실험결과 도심지의 경우 도로주변에 장애물이 있는 환경에서 반송파를 사용하는 경우에는 위치 정확도가 100m정도에 이르게 된다. 또한 반송파 위상 측정치에서 사이클 슬립(cycle slip)이 빈번하게 발생함을 확인할 수 있다. 따라서 차량이 주로 운행하는 도심환경에서는 주변 장애물에 의하여 항상 신호가 차단되거나 다중경로 오차 등이 심하게 발생하므로, 이를 검출하고 보정해야만 정확도가 높은 위치정보를 얻을 수 있다.

2-2 MEMS IMU 성능 분석

직선왕복운동과 동일한 사각형트랙을 도는 실험을 통해서 MEMS IMU의 헤딩 변화 유무를 측정하는 실험을 하였다. 그림 3은 직선왕복 운동 실험결과를 그래프로 나타내었다. 첫 번째 실험에서는 아주 천천

히 움직이면 직선 왕복운동을 하였는데 그래프에서 보이는 것처럼 낮은 속도 변화와 반환점에서의 heading 변화를 확인할 수 있었다.

그림 4는 사각형트랙 운동 실험결과를 그래프로 나타내었다. 직선 왕복운동실험보다 속도를 올려서 실험을 하였는데 그래프에서 보이는 것처럼 빠른 속도 변화와 반환점에서의 heading 변화를 확인할 수 있었다.

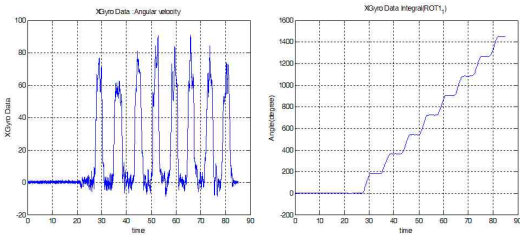


그림 3. 직선왕복 운동 실험결과
Fig. 3. Experiment results of a straight line reciprocating motion.

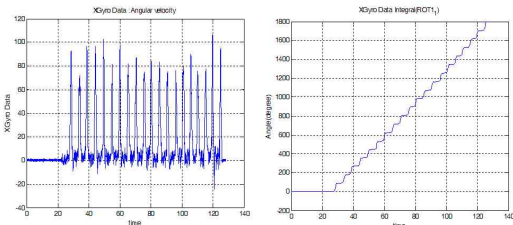


그림 4. 사각형트랙 운동 실험결과
Fig. 4. Experiment results of a rectangular motion.

2-3 GPS/DR 통합항법시스템

GPS/DR 통합항법시스템은 잘 알려진 GPS/INS 통합항법시스템과 같은 구조를 갖는다.

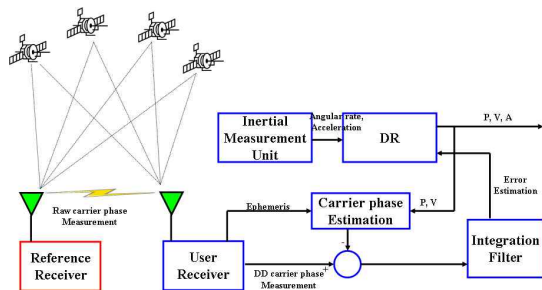


그림 5. 반송파 위상 측정치 기반 GPS/DR 통합시스템
Fig. 5. Carrier phase based GPS/DR integration system.

그림 5에서 보는 바와 같이 통합 필터가 추측항법(Dead Reckoning)시스템 오차를 추정하여 추측항법시스템의 상태변수를 직접 보정하는 되먹임 구조이다. 반송파 위상 측정치는 기준국의 측정치와 이중 차분한 측정값을 사용한다.

기존의 추측항법알고리즘으로는 Odometer등과 같은 접촉식 센서를 사용하는 것과, 가속도계와 같은 비접촉식 센서를 사용하는 알고리즘으로 구분할 수 있는데, 여기서는 3축의 가속도계와 1축 자이로의 비접촉식 센서를 사용하였고 추측항법알고리즘과 GPS/DR 통합 필터 알고리즘 등은 MMS(Mobile Mapping System)등을 위한 CDGPS/INS 통합항법시스템에서와 유사한 알고리즘을 사용하였다[4].

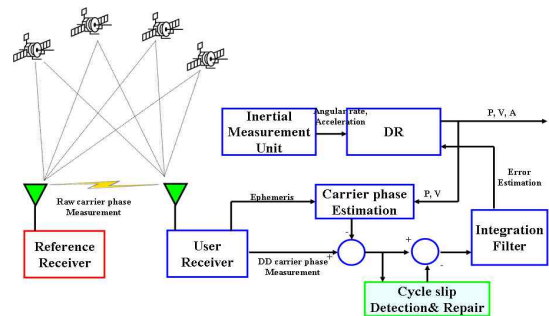


그림 6. 사이클 슬립 검출과 보정기능을 갖는 GPS/DR 통합시스템
Fig. 6. GPS/DR integration system with cycle slips detection and repair.

GPS/DR 통합시스템에서 사이클 슬립 검출과 보정은 그림 6과 같이 통합 필터에서 사용되기 전에 수행한다. 수신기의 이중 차분된 반송파 위상 측정치는 DR정보로 추정한 이중차분 측정치와 비교된다. 초기 반송파 측정치의 미지정수가 결정되었고, 사이클 슬립과 같은 이상이 발생하지 않는다면, 이 값은 일정한 범위 내에 존재하는데, 사이클 슬립이 발생하면 이 범위를 초과한다. 여기서, 이 범위만 알 수 있으면 사이클 슬립이 발생 여부를 검출 할 수 있는데, 이 범위는 수신기의 잡음과 DR의 위치 추정 정확도에 의하여 결정된다.

수신기에서 이중 차분된 반송파 위상 측정치는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla\Delta(t) = \frac{1}{\lambda} \nabla\Delta\rho_{ij}(t) + \nabla\Delta C_{ij}(t) + n_{ij}^{\nabla\Delta\Phi} \quad (1)$$

여기서, $\nabla\Delta\Phi$ 는 이중 차분된 반송파 위상 측정치, $\nabla\Delta\rho_{ij}$ 는 위성간 수신기간 이중 차분된 거리, $\nabla\Delta C_{ij}$ 는 사이클 슬립, $n_{ij}^{\nabla\Delta\Phi}$ 은 잡음을 나타낸다. 통합 필터에서 사용하는 측정치는 수신기의 이중차분 측정치와 식 (2)와 같이 DR 정보를 이용하여 추정된 이중차분 측정치와의 차로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla\Delta\hat{\Phi}(t) = \frac{1}{\lambda} \nabla\Delta\hat{\rho}_{ij}(t) + n_{dr}^{\nabla\Delta\Phi} \quad (2)$$

$$D_{ij}(t) = \nabla\Delta\Phi(t) - \nabla\Delta\hat{\Phi}(t) \quad (3)$$

여기서, $\nabla\Delta\hat{\Phi}$ 는 DR 정보로 추정된 이중차분 반송파 측정치로 위성궤도 정보와 DR로 구한 위치, 기준국 위치정보를 이용하여 계산한 $\nabla\Delta\hat{\rho}_{ij}$ 로 추정할 수 있는데, DR도 오차 $n_{dr}^{\nabla\Delta\Phi}$ 를 가지고 있으므로 수신기와 DR의 이중차분 반송파 측정치의 차 D_{ij} 에는 두 측정치의 잡음이 모두 포함되며, 사이클 슬립 발생시 사이클 슬립항이 포함된다. 이 때 이중 차분된 거리는 큰 차이가 없다고 하면 식 (4)처럼 나타낼 수 있다.

$$D_{ij}(t) = \nabla\Delta\Phi(t) - \nabla\Delta\hat{\Phi}(t) = \nabla\Delta C_{ij}(t) + n_{ij}^{\nabla\Delta\Phi} - n_{dr}^{\nabla\Delta\Phi} \quad (4)$$

사이클 슬립 발생은 식 (5)과 같이 임계치와 비교를 통하여 알 수 있다.

$$D_{ij} > T_D \quad \text{or} \quad D_{ij} < -T_D \quad (5)$$

여기서 임계치 T_D 는 D_{ij} 가 갖는 확률적 특성과 오보 확률 및 미검출 확률로 결정하는데, 식 (5)을 이용한다.

$$P_{FA} = 2 \cdot \text{erfc} \left(\frac{T_D}{\sigma_D} \right) \quad (6-a)$$

$$P_{MD}(k) = \text{erfc} \left(\frac{k - T_D}{\sigma_D} \right) + \text{erfc} \left(\frac{k + T_D}{\sigma_D} \right) \quad (6-b)$$

여기서, P_{FA} 는 오보 확률, P_{MD} 는 미검출 확률, σ_D 는 D_{ij} 의 1-sigma 값으로, 먼저 오보 확률과 미검출 확률을 선택하면 임계치를 결정할 수 있다. 오보 확률과 미검출 확률은 응용에 따라 달리 선택할 수 있다.

사이클 슬립 발생 여부 검출 이후에는 사이클 슬립의 개수를 추정하여 원시 측정치에서 보정하는 것이 필요하다. 사이클 슬립 개수는 그림 7과 같이 1개 부터 -1개, 2개, -2개N개의 사이클 슬립이 발생하였을 때의 임계치와 차례로 검사를 수행한다. 만약 N 번째 사이클 슬립 발생시의 임계치는 초과하고, N+1 개째 사이클 슬립 발생시의 임계치를 초과하지 못한 경우에는 측정치에 발생한 사이클 슬립 개수가 N개 하고 추정할 수 있다.

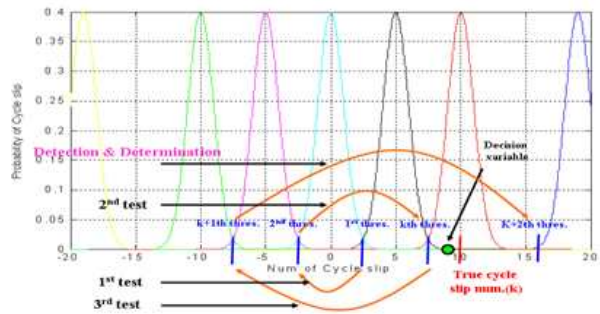


그림 7. 사이클 슬립 검출과 보정
Fig. 7. Cycle slips detection and repair

이 때, 실제 발생한 사이클 슬립이 큰 경우, 이러한 반복 검사에 많은 시간이 요구되므로 식 (7)과 같이 시각간 차분한 측정치를 이용하여 검사 시작 위치를 선택하면 검사 시간을 감소시킬 수 있다[4]-[7].

$$\text{integer}[D_0] = [\Phi(t) - \Phi(t-1)] - [\hat{\Phi}_{dr}(t) - \hat{\Phi}_{dr}(t-1)] \quad (7)$$

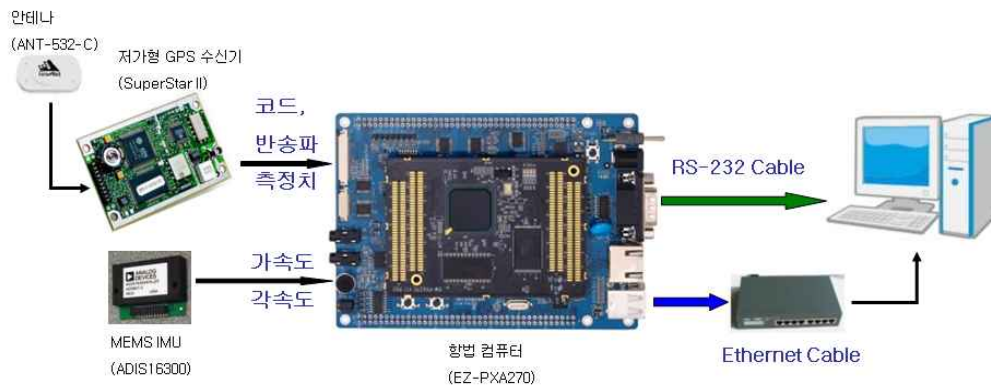


그림 8. 차량용 GPS/DR 통합항법시스템 전체 하드웨어 구성도
 Fig. 8. GPS/DR integrated navigation system hardware structure.

이와 같이 사이클 슬립 검출과 보정을 수행하면, 빈번하게 발생하는 사이클 슬립에 의한 위치 정확도 저하 방지는 물론, 가용성도 향상시킬 수 있어, 육상 교통과 같이 위성항법에 열악한 환경에서도 높은 요구조건을 만족시켜 여러 가지 분야에서의 응용이 가능할 것이다.

표 1. 각 시스템의 특징
 Table 1. Each hardware feature.

분류	특징	
MEMS IMU (ADIS 16300 @Analog Device)	Accel. Bias	50mg
	Accel. Random	0.048m/sec/root-hr
	Gyro. Bias	3deg/sec
	Gyro. random	1.9deg/root-hr
GPS receiver (SuperStar II @Novatel)	채널수	12ch.
	코드/반송파 측정치	0.75m(RMS) 0.01m(RMS)
	위치정확도	5m(CEP)
	출력율	최대 5Hz
항법 컴퓨터 (EZ-PXA270)	CPU	ARM270 (400MHz)
	I/O I/F	Ethernet(1ch.), USB(2ch.), RS-232(3ch.)
	OS	Linux
	출력율	최대 10 Hz
프로그램 개발용 호스트 컴퓨터	PC(Linux 2.6)	
개발 환경	Linux C ARM용 크로스 컴파일러 및 어셈블러	

III. 차량용 GPS/DR 시스템 개발

3-1 차량용 GPS/DR 시스템 하드웨어

전체 하드웨어는 크게 NOVATEL사의 SUPERSTAR II GPS 수신기와 Analog Device사의 ADIS16300 IMU 센서와 FALINUX사의 EZ-PXA270 항법컴퓨터, 그리고 알고리즘 및 통합 소프트웨어 개발을 위한 호스트 컴퓨터로 구성된다. 전체 하드웨어 구성도를 그림 8에 나타내었고, 각 시스템의 간략한 특징을 표 1에 나타내었다.

3-2 차량용 GPS/DR 시스템 소프트웨어

본 논문에서는 GPS 수신데이터는 10Hz로 IMU 측정데이터는 100Hz로 샘플링하였다. 통합 소프트웨어는 GPS에서 수신된 데이터와 IMU 센서에서 측정된 데이터를 이용하여 통합 항법을 수행하는데, 1초 주기로 전체 소프트웨어가 동작되도록 설계하였다. GPS 수신기의 각 메시지와 IMU 측정데이터는 각각 환형큐(circular queue)에 저장되고 GPS 수신데이터와 IMU 측정데이터는 하나의 프로세서가 제한된 시간 내에 동시에 처리하기 위하여 멀티쓰레딩(multithreading)으로 구현하였다. 다음 그림 9는 차량용 GPS/DR 시스템의 소프트웨어 구조를 나타내었다.

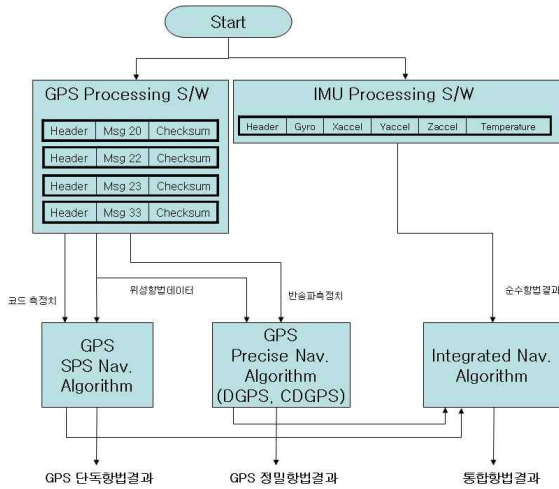


그림 9. 차량용 GPS/DR 시스템의 소프트웨어 구조
Fig. 9. Software structure of an automotive GPS/DR system.

IV. GPS/DR 통합항법시스템 성능 평가

4-1 차선 내 정확도 확인을 위한 주행 실험 및 결과

차선 내 위치 정확도를 확인하기 위해서 도로 위에 기준점을 측량하고, 기준 차로 내에서 왕복운행하는 차량실험을 하였다. 실험은 4차선 도로를 반복적으로 왕복운행 하면서 데이터를 수집하였다. 기준국은 약 10km 정도의 거리에 위치하고 DGPS/DR 통합 알고리즘과 CDGPS/DR 통합 알고리즘을 비교하였다.

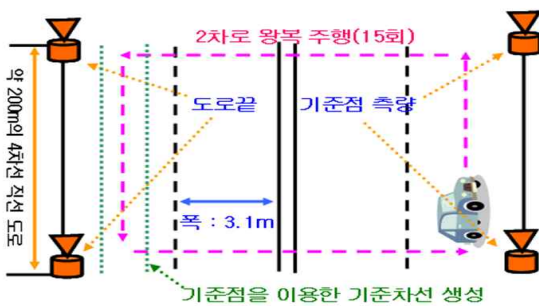


그림 10. 차선 내 위치 정확도 실험 개요도
Fig. 10. Positioning accuracy test structure

그림 10은 차선 내 위치 정확도 확인을 위한 실험 개요도를 나타내었다. 기준점을 이용하여 기준차선을 생성하고 출발점과 반환점의 거리는 약 200m이고 4차선 직선도로의 양끝차선인 2차로를 15회 왕복 주행하였다. 한 차로의 폭은 약 3m이다.

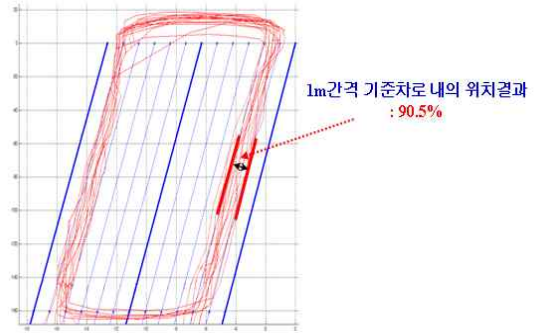


그림 11. DGPS/DR 통합 알고리즘 사용 실험 결과
Fig. 11. Experiment results using DGPS/DR integrated navigation algorithm

그림 11은 기존의 DGPS/DR 통합 알고리즘을 사용한 경우의 항법 결과를 나타내었다. 차로 중앙으로 주행 후 기준선 1m내의 위치결과를 확인하였다. 실험결과 DGPS/DR 통합 알고리즘의 경우 1m간격 기준 차로 내의 위치결과가 90.5%가 나왔다.

그림 12는 사이클 슬립을 검출할 수 있는 CDGPS/DR 통합 알고리즘을 사용한 경우의 항법 결과를 나타내었다. DGPS/DR 통합 알고리즘을 사용한 실험과 똑같은 조건으로 차로 중앙으로 주행 후 기준선 1m내의 위치결과를 확인하였다. 실험결과 CDGPS/DR 통합 알고리즘의 경우 1m간격 기준 차로 내의 위치결과가 97.3%가 나왔다.

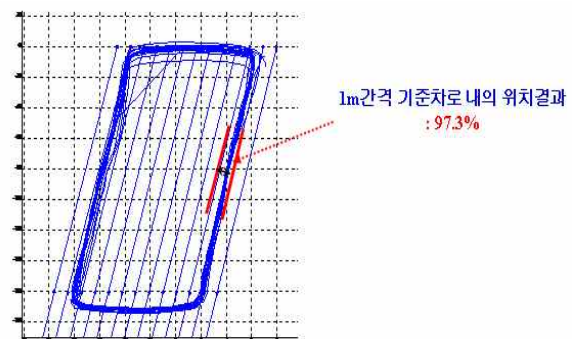


그림 12. CDGPS/DR 통합 알고리즘 사용 실험 결과
Fig. 12. Experiment results using CDGPS/DR integrated navigation algorithm

4-2 차량 도로주행 실험 및 모니터링 프로그램 결과

모니터링 프로그램의 구조는 속도와 heading을 표시하는 아날로그 계기판부분과 위도, 경도, 주행시간 등을 표시하는 디지털 LED부분, 동영상 그리고 항공사진 부분으로 구성되고, 전체 구성도를 그림 13에 나타내었다.

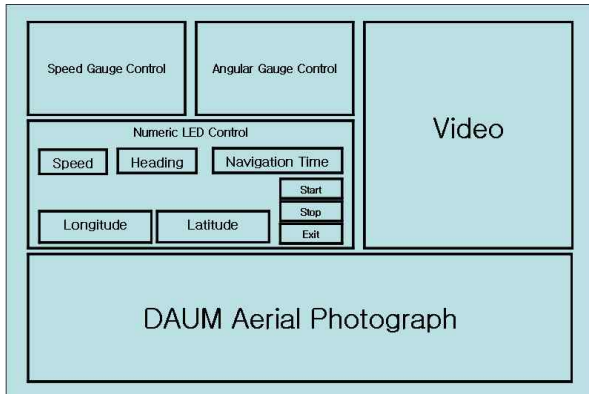


그림 13. 모니터링 프로그램 구성도
Fig. 13. Monitoring program structure.

도로주행실험에서 수집한 항법데이터를 항공사진 위에 표시되도록 후처리한 뒤 촬영한 동영상과 일치되도록 하여 실시간처럼 동작하게 제작하였다. 그림 14는 3차선 도로주행 결과를 보여준다. 그림에서 보이는 것처럼 도로주행 동영상에서 3차선으로 주행 중일 때 항법데이터들이 항공사진에서도 3차선에 표시되는 것을 확인할 수 있었다.



그림 14. 모니터링 프로그램 구성도
Fig. 14. Monitoring Program Structure.

그림 15는 3차선에서 2차선으로 차선변경 후 표시

되는 결과를 나타내었다.



그림 15. 모니터링 프로그램 구성도
Fig. 15. Monitoring Program Structure.

동영상에서 보이는 것처럼 2차선으로 주행 중일 때는 항공사진에서도 2차선위에 항법데이터들이 표시되는 것을 확인할 수 있었다.



그림 16. 모니터링 프로그램 구성도
Fig. 16. Monitoring Program Structure.

2차선에서 1차선으로 차선변경 후 모습을 그림 16에 나타내었다. 동영상에서 보이는 것처럼 1차선으로 주행 중일 때는 항공사진에서도 1차선위에 도로주행결과 항법데이터들이 표시되는 것을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문은 고정확도의 통합항법시스템을 이용하

여 차선이탈경보를 위한 차선유지 및 차선을 구분하기 위한 모니터링 프로그램을 개발하였다. 통합항법시스템의 성능은 차선이탈경보를 위해서 차선 구분이 가능한 정확도의 위치정보가 필요하다. 그래서 GPS와 DR기반의 위치정보를 융합한 위치결정 알고리즘을 설계하고, 저가의 GPS 수신기와 추측항법(Dead Reckoning)시스템이 결합된 차량용 GPS/DR 통합항법장치를 제작하여 실험하였다. 제작한 통합항법장치를 이용한 차로 내 정확도 실험에서 1m내로 결정된 위치 결과가 DGPS/DR인 경우 90.5%가 CDGPS/DR인 경우 97.3%가 나오는 것을 각각 확인하였다. 또한, 차량의 차선구분유무는 도로주행 실험 결과를 이용하여 모니터링 프로그램을 통해서 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 기초기술연구회의 “재난예방 및 국민안전제고를 위한 위성기반 위치추적기술 연구” 과제의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 남기욱, 허문범, 심주영, “위성항법시스템 및 보강시스템의 구축 현황”, *항공우주산업기술동향*, 제5권 제1호, pp. 65-74, 2007.
- [2] Neil Barbour, George Schmidt, "Inertial Sensor Technology Trends", *IEEE Sensors Journal*, Vol. 1, No. 4, Dec 2001.
- [3] 정도현, “지능형자동차 기술동향 및 미래형자동차 기술개발사업”, *오토저널*, 제 28권 제 4호, pp. 46~52, Aug 2006.
- [4] B. W. Parkinson and J. J. Spilker (Eds.), *Global Positioning System: Theory and Applications*, Vol. 1, AIAA, Washington, Dec 1996.
- [5] K. R. Britting, *Inertial Navigation System Analysis*,

John Wiley & Sons, 1971.

- [6] Michael Lee O'Connor, "Carrier-Phase Differential GPS for Automatic Control of Land Vehicles", *Ph.D. Dissertation, Stanford University*, Dec 1977.
- [7] 민홍주, “MMS용 Carrier Phase DGPS/INS 통합 항법시스템 설계”, *충남대학교 석사학위 논문*, Apr 2003.

박 순 철 (朴淳哲)



2007년 2월 : 울산대학교 전자공학과 (공학사)

2009년 2월 : 광주과학기술원 기전공학과 (공학석사)

2009년 1월~현재 : 한국항공우주연구원 위성항행항법팀 연구원

관심분야 : GNSS, INS, 영상처리

천 세 범 (千世範)



2000년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 (공학사)

2002년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 대학원(공학석사)

2008년 2월 : 건국대학교 항공우주공학과 대학원(공학박사)

2008년 1월 ~ 2010년 3월 : (주)마이크로인피니티 (책임연구원)

2010년 4월 ~ 현재 : 한국항공우주연구원 위성항행항법팀 (선임연구원)

관심분야 : GNSS, 관성항법, 센서퓨전, 비선형 시스템 상태 추정

김 정 원 (金正沅)



2002년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학사)

2004년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)

2008년 2월 : 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

2008년 6월 ~ 2010년 1월 : 한국항공우주연구원 위성항행항법팀 선임연구원

2010년 2월 ~ 현재 : (주)한화 종합연구소 선임연구원

관심분야 : GPS/INS, 임베디드 시스템

허 문 범 (許文範)



1992년 2월 : 경희대학교 기계공학과
(공학사)

1997년 12월 : Illinois Institute of
Technology 항공기계공학과(공학석사)

2004년 12월 : Illinois Institute of
Technology 항공기계공학과(공학박사)

2005년 10월 ~ 현재 : 항공우주연구원 선임연구원

관심분야: GNSS, 위성항법, 항행시스템 등