

차량용 센서융합 정밀 측위 기술

송정훈, 서대화*

임베디드소프트웨어연구센터, *경북대학교

요약

본고에서는 도심지역을 주행하고 있는 차량의 정확한 위치정보를 획득하기 위한 정밀 측위 시스템 기술과 개발현황을 소개한다. 그리고 위성항법 기반의 정밀 측위 시스템에서 발생하는 측위 오차를 줄이고 위성 신호의 음영지역에서도 차량의 정밀한 위치 결과를 얻기 위하여 차량용 센서를 융합하는 정밀 측위 기술과 개발현황을 알아본다.

I. 서론

최근 자동차 기술에 IT 기술을 접목하는 연구가 가속화 되면서 자동차는 단순한 이동 수단에서 센서와 정보처리 기술의 진화를 바탕으로 점차 진화하고 있으며 이러한 흐름은 지능형 자동차 시스템 개발로 이어지고 있다. 지능형 자동차 시스템에서 차량 위치의 정밀 측위 분야는 많은 연구자들이 관심을 가지고 있는 분야로 운전자의 안전 운전을 보조하고 더 나아가 무인 주행 자동차를 실현하는 핵심 기술로 간주 되고 있다. 지능형 자동차를 위한 핵심 기술은 Google, GM, Volkswagen 등에서 주도적으로 연구를 진행하고 있으나, 정밀한 측위를 위해 사용되는 장치가 고가의 센서에 의존하고 있어 양산되는 자동차에 적용할 수 없는 문제가 있다[1][3].

대부분의 차량 위치 측위 시스템은 절대적인 위치 정보를 제공하는 위성항법 기술의 GNSS (Global Navigation Satellite System)를 기반으로 하고 있다. 지능형 교통체계(ITS, Intelligent Transportation System) 분야에서는 도로와 위성항법 시스템의 인프라를 개선하여 위치 정확도를 높이기 위한 노력도 진행하고 있다. 인프라를 통한 접근 방법은 정부 주도의 천문학적인 자금의 투입을 필요로 하기 때문에 위성항법 기술의 고도화, 차량용 센서의 성능 개선, 센서 융합 측위를 중심으로 연구 개발이 이루어 지고 있다. 이러한 센서와 측위 알고리즘은 대부분 해외 업체에서 개발되고 있어 핵심기술을 확보하

기 위한 국내 연구진의 연구도 활발히 이루어 지고 있다.

차량용 센서융합 기술은 GNSS, 관성센서뿐 아니라 레이더(Radar), 라이다(LiDAR), 비전센서(Vision Sensor) 등을 활용하는 방법으로 발전되고 있다. 한편, 센서를 통한 장애물 인식, 차선 인식 등의 기술은 지능형 주차보조장치(PAS, Parking Assistant System), 차선유지보조시스템(LKAS, Lane Keeping Assistant System), 적응순항제어시스템(ACC, Adaptive Cruise Control) 등의 ADAS(Advanced Driver Assistance System) 형태로 상용화 되고 있다.

차량의 정밀 측위를 위한 센서융합 기술은 관성측정장치(IMU, Inertial Measurement Unit)를 이용하는 관성항법시스템(INS, Inertial Navigation System)과 GNSS를 융합하는 형태가 가장 일반적이다. INS를 활용하면 위성신호의 음영지역인 터널이나 지하 주차장에서도 연속적인 측위결과를 출력할 수 있는 장점을 가진다. 또한, 도로 주행환경에서 측위 정확도를 높이기 위해 GNSS, IMU에 비전센서와 확장전자지도(EDM, Extended Digital Map)를 융합하는 연구가 시도되고 있다[2]. 센서융합을 통한 정밀측위 시스템의 상용화를 위해서는 차로 수준 이상의 정밀도를 가지도록 하는 기술 개발과 측위를 위한 임베디드 모듈의 저가화 개발이 반드시 해결되어야 한다[4].

본고에서는 차량의 정밀측위를 위한 위성항법 측위 기술과 차량용 센서를 융합한 기술에 대하여 알아보고, 센서융합 측위 시스템의 개발 동향에 대하여 소개한다. 본고의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서는 위성항법을 기반으로 하는 차량의 정밀측위 기술과 시스템 개발 동향을 살펴보고 III장에서는 차량용 센서를 융합한 차량용 정밀측위 기술과 시스템 개발 동향을 소개한다. 그리고 IV장에서 결론을 내린다.

II. 위성항법 정밀 측위 기술

GNSS는 우주궤도를 돌고 있는 인공위성에서 발신하는 전파를 이용해 지구 전역에서 움직이는 물체의 위치, 고도, 속도를

계산하는 위성항법시스템이다. 국내에서는 미국에서 운용하는 GPS(Global Positioning System) 시스템에 의존하고 있으며, 차량의 절대적인 위치정보를 제공하기 때문에 차량용 항법 장치에 주로 사용되고 있다.

GPS를 통한 측위 결과는 위성시계오차, 궤도 오차, 전리층 과 대류권에 의한 전파 지연, 선택적 사용(SA, Selective Availability), 다중경로(Multipath) 등의 오차를 포함하고 있다. 이러한 오차로 인해 상용 GPS 시스템을 통하여 차로 수준 이상의 정확한 차량 위치와 속도를 인식하는데 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 상대 측위를 이용한 정밀측위 기술이 개발되었다. 이 기술은 코드기반 측위(Code based positioning) 방식인 DGPS(Differential GPS)와 반송파기반(Carrier phase based positioning) 측위 방식인 실시간 이동 측위 (RTK, Real Time Kinematic)가 대표적이다.

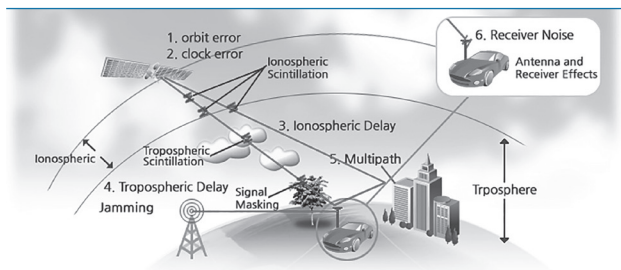


그림 1. GPS 시스템의 오차발생 원인

1. DGPS

DGPS는 측량을 통하여 정확한 위치를 알고 있는 기준국(Reference Station)으로부터 위치 보정 데이터를 전송 받아 항법 성능을 향상시킨다. GPS 단독항법은 10m 수준의 위치 오차를 가지는 것으로 알려져 있으나, DGPS를 이용하면 위치 오차를 1m 수준으로 크게 감소시킬 수 있다. 이 장에서는 DGPS 시스템의 구성과 현재 국내에서 제공하고 있는 서비스와 개발에 착수하는 서비스에 대하여 소개한다[10].

1.1 시스템 구성

GPS를 통하여 수신된 신호는 다양한 오차 성분을 포함하고 있으므로, 기준국은 이러한 오차 성분들로 인한 위치 오차(측정치 오차)에 대한 보정 데이터를 생성한다. 사용자는 전달 받은 보정 데이터를 차분하여 GPS의 오차 성분을 제거할 수 있다. DGPS시스템은 중앙사무소, 기준국, 감시국으로 구성된다. 중앙사무소는 기준국과 감시국의 DGPS 시스템 운영상태에 대한 실시간 원격 감시 및 제어, 측위정보에 대한 감시, 기준국 및 감

시국 측위오차 분석을 통한 GPS 가용상태 확인 등의 역할을 수행한다. 기준국은 정확한 기준점에서 GPS 위성 신호를 수신, 측정된 거리와 이미 알고 있는 거리를 비교한 이후 위성 오차값을 보정해 이용자에게 실시간으로 전달하며, 감시국은 기준국으로부터 약 185km 떨어진 지점에서 GPS 안테나를 이용해 위성오차 보정신호를 감시, 한계치를 벗어날 경우와 위성신호 이상 시 정보 메시지를 중앙사무소에 전달하는 역할을 담당한다.

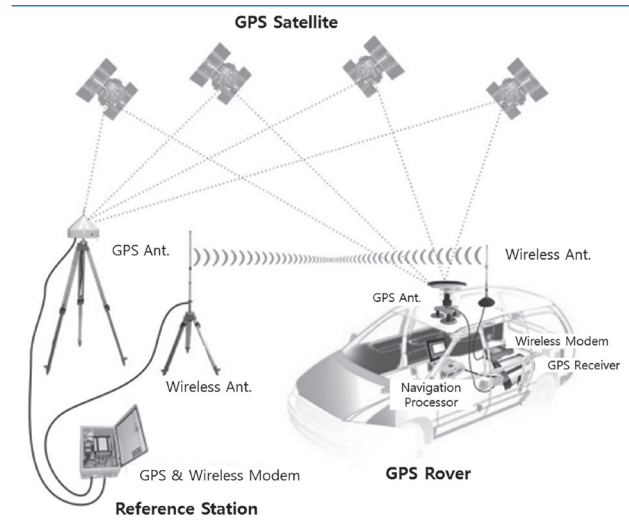


그림 2. DGPS 시스템 구성도

국내 DGPS 시스템은 중파(283.5~325KHz)와 인터넷망을 통하여 RTCM SC-104 (Radio Technical Commission for Maritime Service Special Committee-104) 형식으로 오차 보정 데이터를 실시간으로 방송하는 서비스를 제공하고 있다. 인터넷을 통한 실시간 GPS 보정정보의 전송은 HTTP(Hyper Text Transfer Protocol) 기반의 NTRIP(Networked Transport of RTCM via Internet Protocol) 시스템을 통하여 이루어진다.

1.2 국내외 현황

이동하는 차량에서는 인터넷 망을 통한 보정정보의 수신보다는 정지 궤도 위성 기반의 SBAS(Satellite Based Augmentation System)를 이용하는 것이 유리하다. 현재 우리나라는 SBAS 시스템을 운용하고 있지 않다. 하지만 일본에서 운용 중인 MSAS(Multi-functional Satellite Augmentation System)을 이용할 수 있다. 국내에서의 MSAS 사용은 무결성 측면에서 문제가 있음이 연구된 바 있어 궁극적으로는 한반도 지역에 적합한 SBAS 시스템의 도입이 필요한 상황이다.

이러한 필요성의 대두됨에 따라, 국토교통부는 2013년 9월초 우리나라의 전 국토에 인공위성을 통해 실시간 1m 이내의 정밀 위치정보를 제공해 주는 초정밀 GPS 보정시스템(SBAS)을 내

년부터 개발에 착수하여 2018년 시험서비스를 개시한다고 발표하였다. 일본은 2013년 5월에 미쓰비시 전기, NEC, 우주항공연구개발기구(JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency)에서 차세대 위성을 활용해 세계에서 가장 정밀한 위치 측정 기술을 공동개발 하였다고 발표하였다. 새로 개발된 기술은 위성 위치확인시스템 측정 오차를 1~2cm 수준으로 줄인 것으로 알려져 있고, 자동차와 철도 무인 운전 등 차세대 교통시스템 기반 기술로 활용하기 위해 2018년 상용화를 목표로 하고 있다.

위치정보기술 시장은 아시아 태평양 지역에서만 연간 44조 7400억원 규모로 예상하고 있으며, 일본은 현재 미국 위성에 의존적인 상황에 대하여 정부 차원에서 대응하고 있다. 일본 정부는 일본 상공에 '준천정 위성(일본 GPS 위성)'을 3개 이상 올릴 계획이며, 위성과 기지국을 정비해 2018년부터 민간기업에 24시간 위치정보 서비스를 제공할 방침을 세운 상태이다.

2. RTK

코드기반의 위치 결정방식인 DGPS와 달리 GPS 수신기로 수신된 반송파 파장의 개수를 이용하여 계산하면 정밀도를 향상시킬 수 있다. 위성과 GPS 수신기 사이에 존재했던 반송파의 정현파수를 위성의 모호정수(Integer Ambiguity Number)라고 부르는데, 이를 알면 상대 측위에 의하여 두 점 간의 기선 벡터의 계산이 가능하게 된다. 그러나 반송파는 모든 파장의 파형이 고르기 때문에 파장의 개수를 정확하게 구하기 어려운 문제가 있다. 현재 측지분야에서 주로 활용되던 방식을 수행하는 차량에 적용하기 위하여 모호정수를 적은 량의 데이터로 빨리 구할 수 있는 시스템을 개발하는 시도가 이루어지고 있다[11].

2.1 RTK 시스템 구성

GPS의 신호체계상 반송파에 의한 위치결정 방법이 코드에 의한 위치결정보다 정밀도면에서 이득을 주지만 광범위한 관측점의 정밀 좌표들을 빠른 시간내에 획득하기 위해서 이동측량을 수행하면서 후처리 자료처리 수준의 정밀도를 갖는 방법이 요구된다. RTK기법은 정밀한 위치를 확보한 기준점의 반송파 오차 보정치를 이용하여 사용자는 실시간으로 수cm의 정밀도를 유지하는 측위결과를 계산할 수 있다. RTK의 기본개념은 오차 보정을 위해 기준국에서 전송되는 데이터가 반송파 수신자료라는 것을 제외하고 DGPS의 개념과 유사하다. RTK가 각 위성에 대한 반송파 측정치를 지속적으로 제공해야 하고, 정보의 전송 장애로 발생할 수 있는 오차의 한계가 DGPS 보다 상대적으로 크기 때문에 보다 안정적이고 신속한 정보전달 통신 시스템이 요구되는 특징을 가진다.

세계 각국에서는 국토의 효율적인 관리와 위치정보의 제공을 위해 GPS 상시 관측망을 이용한 네트워크기반 실시간 이동측위(Network-RTK) 시스템을 운영하고 있으며, 우리나라도 국토지리정보원의 GPS 상시 관측망을 이용하여 Network-RTK 방식인 VRS(Virtual Reference Station)와 FKP(Flachen Korrektur Parameter) 위치보정 서비스를 제공하고 있다[12].

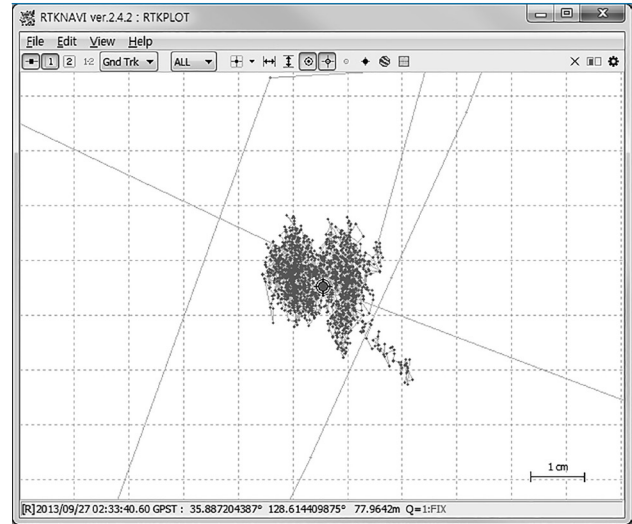


그림 3. RTK 시스템의 측위결과 (Receiver: LEA-6T, FKP 방식)

3. 정밀측위 플랫폼

경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터(CEST)는 차량용 DGPS, RTK 시스템의 고도화 기술을 적용한 저가형 임베디드 플랫폼 개발을 진행하고 있다. 단독측위(Single), DGPS(SBAS), RTK 방식의 측위기능을 선택할 수 있으며, 차량 이동환경에서 위치보정 신호의 안정적인 수신, 신호 수신 환경에 따른 동적 측위모드 선택, 측위 출력결과에 대한 신뢰도 제공 기능을 가진다. Adv-GPS라 불리는 이 측위시스템은 위성 수신부, 무선 통신부, 데이터 처리부로 구성되고, 기준국의 정보 수신을 위한 무선 인터페이스로 WCDMA, LTE뿐 아니라

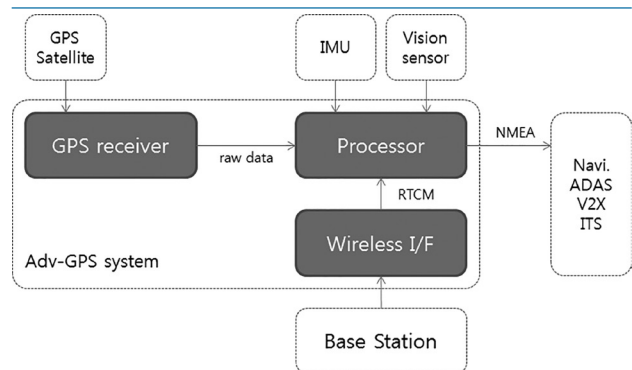


그림 4. GPS 기반의 고도화된 측위시스템(Adv-GPS) 구성

2014년 상용서비스 예정인 DMB 방식도 채택하여 적용할 예정이다.

Ⅲ. 센서융합 정밀 측위 기술

차량의 위치 정보를 제공하는 위치 측정 시스템은 차세대 ITS 서비스나 무인 자율주행 자동차의 구현에 필수적으로 요구되는 시스템이다. 특히 무인 자율 주행은 현재 위치를 기반으로 차량의 운행이 이루어 지기 때문에 매우 높은 수준의 정확도와 신뢰도를 가지는 위치 정보의 제공이 필요하다. 하지만 DGPS, RTK와 같은 GPS 고도화 기술도 위성신호의 음영지역, 신호에러, 위치정보의 오차에 의한 문제를 발생할 수 있다. 이러한 위성항법의 환경적인 요소로 인해 발생하는 문제는 관성센서, 비전센서, 전자지도의 융합 기술을 통해 해결이 가능하다. 이 장에서는 GPS 와 차량용 센서를 융합한 정밀 측위 기술과 정밀 측위 시스템 개발 현황에 대하여 소개한다.

1. 센서 융합 정밀 측위

주행하고 있는 차량에서 정확하고 연속적인 위치 정보를 획득하기 위하여 여러 센서 기술 들이 통합되고 있다. 가장 대표적으로 통합되고 있는 센서의 융합연구 방향은 <그림 5>와 같이 구분할 수 있다.

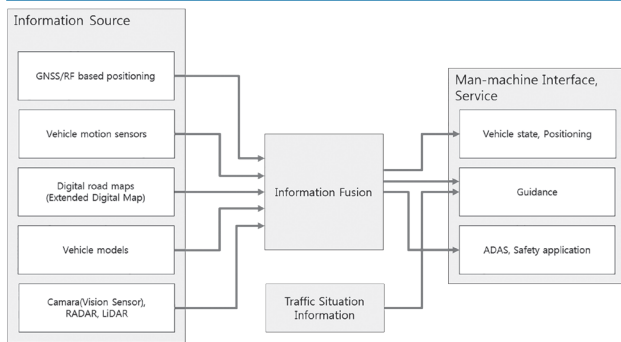


그림 5. 차량의 정밀 측위를 위한 센서융합 기술 및 연구분야

GPS/RF(Radio Frequency) 기반 위치 센서는 위성 및 RF 신호를 바탕으로 절대 위치를 제공한다. 신호의 적분으로 인한 드리프트(Drift) 오차가 존재하지 않으나 건물, 터널 등의 도로 환경에 영향을 받는 특징을 가진다. 차량용 모션 센서 기술은 관성센서의 가속도, 각속도를 적분하여 현재 위치를 추정하는 방법으로, 연속적인 정보를 제공하는 장점이 있으나 측정 데이터의 적분으로 인해 오차가 발생한다. 이외에도 도로지도 정

보를 이용하거나 2DOF Bicycle Kinematic model, Dynamic model, 2 Wheel model과 같은 차량 모델을 통해 현재 위치를 추정하는 방법이 있다[7].

1.1 GPS, INS 융합

INS는 이미 알고 있는 출발점에 대한 차량의 위치와 속도, 진행방향을 결정하는 시스템으로 3차원 공간정보를 측정하기 위해 자이로스코프(Gyroscope)와 가속도계(Accelerometer)를 각각 3개씩 내장한다. 기본 동작원리는 IMU에서 가속도를 구해 적분하여 속도를 구하고, 속도를 적분하여 이동한 거리를 계산한다. 계산된 이동거리에 출발 지점의 위치를 입력하여 현재 위치를 출력하게 된다[5].

표 1. GPS, INS 측위시스템 비교

구분	GPS	INS
측위방식	Position Fixing	Dead Reckoning
정밀도	Max < 30m	< 1m/min (medium grade)
가격	수만원	수십~수백만원
장점	저렴한 가격, 오차가 누적되지 않음	차량의 관성을 측정, 외부 조건과 무관함
단점	GPS 음영지역에서 서비스 제공 불가	고가 시스템, 시간에 따라 오차 누적

GPS와 INS를 융합하는 통합 항법 알고리즘은 약결합, 강결합, 초강결합 등의 방법이 있으며, 초강결합 방법은 수신기 내부의 신호추적 루프를 제어할 수 있는 환경에서 가능하기 때문

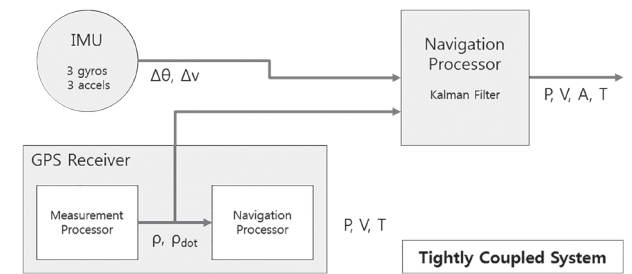
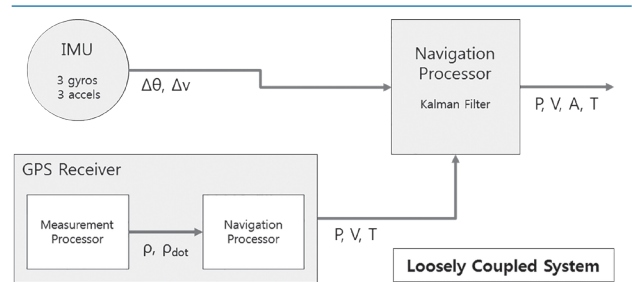


그림 6. GPS/INS 약결합, 강결합 방식의 시스템 구성 비교

에 약결합과 강결합이 주로 활용된다. 약결합 방식은 GPS수신기에서 나오는 위치 결과를 바탕으로 IMU 측정치와의 통합이 이루어지는 형태로서, 계산량이 적은 장점이 있으나, 칼만필터 구성 시에 준최적성 발생문제가 있다. 반면 강결합 방식은 GPS 수신기의 의사거리(Pseudorange)와 반송파 위상 측정치를 기반으로 IMU 측정치와 통합하는 형태로서, 계산량은 상대적으로 증가하나 칼만필터를 이용하여 최적 구성이 가능한 장점이 있다[6].

1.2 GPS, INS, Vision, EDM 융합

차량용 센서를 융합하는 연구가 국내에서 진행되어 왔으나 센서의 정밀도를 높이기 위한 방향으로 주로 과제가 진행되어 왔다. 특히 절대 위치를 출력하는 센서는 위성항법을 이용하는 방법이 유일하여 도시 고층화에 따른 멀티패스 현상이 심한 지역에서는 차량의 정밀한 위치를 여전히 파악하기 어렵다. 도심지역에는 다양한 도로의 랜드마크를 이용할 수 있기 때문에, 도로 표지 정보를 이용해 차로 정밀도 수준 이상의 정밀도를 가지는 EDM을 기반으로 GPS와 IMU, 비전센서를 이용한 연구가 시작되었다. 이러한 연구의 핵심은 차량 위치의 차로 수준 이상으로 끌어올리는 융합 알고리즘과 저가형 임베디드 모듈의 개발이다. 양산 차량에 적용 하기 위해서는 측위 시스템의 제조비용이 수 십만원 수준에 도달해야 상용화가 가능하기 때문이다.

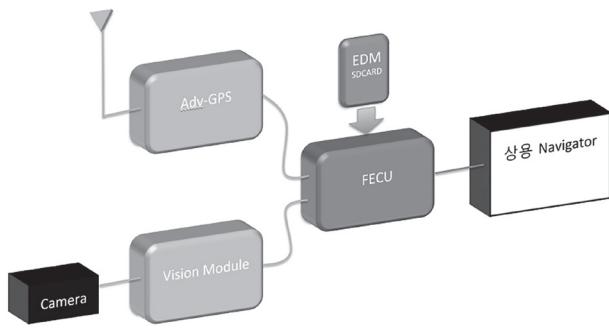


그림 7. GPS/INS/Vision 및 EDM융합 측위시스템 구성도

전체시스템은 GPS, FECU(Fusion Electronic Control Unit), 비전모듈(Vision Module), EDM의 네 부분으로 구성되며, FECU는 도로정보를 담고 있는 EDM 을 기반으로 GPS, 차량 속도정보, 영상 및 차량의 관성량을 융합하는 측위 알고리즘을 수행한다. 비전 모듈은 근거리 전방 영상으로부터 주행 차로 검출 및 차로 내 종횡방향 위치 추정 비전 알고리즘을 수행한다. EDM은 차선 정보 및 도로 랜드마크 정보가 포함되어 있는 확장전자지도로서 비전 모듈의 위치 추정을 위한 기반 데이터를 제공한다 [8][9].

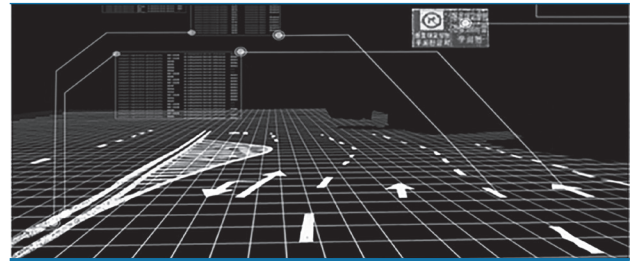


그림 8. 확장전자지도(EDM)의 예

2. 차량용 센서융합 정밀 측위 시스템

경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터(CEST)는 위드로봇(주), 현대엠엔소프트(주), 한양대학교와 공동으로 GPS-DR(Dead Reckoning) 기술에 영상 및 도로정보를 융합하여 횡방향 20cm 수준의 정밀도를 가지는 저가형 차량 측위 시스템 개발에 착수하였다. GPS-DR부분은 기존 연구와 달리 차량의 주행 모드를 정차, 직선주행, 곡선주행의 세가지 모드로 나누어 검출하는 기술을 개발하였다. 또한, 각 상태에 최적화된 융합 알고리즘을 구현 기술과 센서 제품간의 편차 및 장착 시 편향되는 정도를 주행 중에 자동으로 검출하여 온도 변화 및 장착 후 발생하는 오차에 대응 하는 기술을 적용하고 있다. 최종목표인 차로 수준의 정밀도를 제공하기 위해서 비전센서와 EDM에서는 도로정보, 차로정보, 노드정보, 표식점 정보를 추출하여 정밀측위에 이용하며 EDM에 저장되어 사용되는 상세 정보는 표2와 같다.

표 2. 확장전자지도(EDM)에 저장데이터 종류

구분	저장 정보
도로 정보	도로 ID, 시작 노드 ID, 종료 노드 ID, 도로 등급 (종별), 도로 폭, 차선 수, 형상 (Line: x,y,z)
차로 정보	차로 ID, 도로 ID, 차선 수, 차선 폭, 좌/우 차선 마크 정보, 차선 형상(Line:x,y,z)
노드 정보	노드 ID, 노드 종별, 연결 링크 통행/회전 규제, 형상(Line:x,y,z)
표식점 정보	표식점 ID, 도로 ID, 표식점 종별, 차선 정보, 형상 (Line:x,y,z)

차량의 정밀측위를 위한 센서융합 임베디드 시스템은 2015년 까지 상용화를 목표로 개발 하고 있다. 개발이 완료되면 차로 수준의 정밀도를 가지는 고성능 임베디드 모듈이 양산 적용 가능한 수준의 가격으로 개발 될 것으로 기대된다.

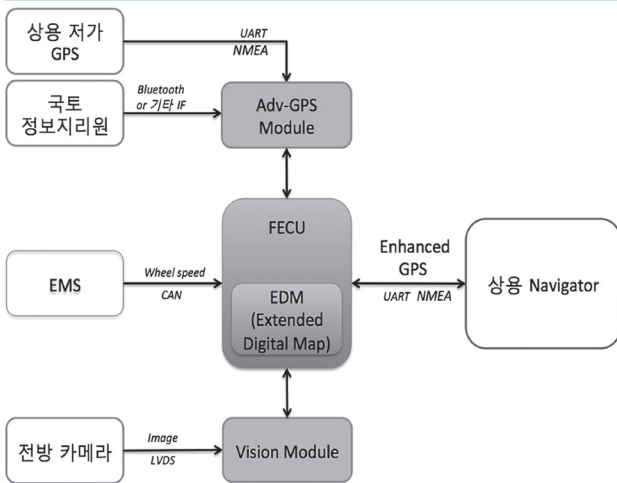


그림 9. 차량용 정밀측위 센서융합 임베디드 시스템 구성



그림 10. 차량용 센서융합 측위 시스템 측정결과

IV. 결론

본고에서는 위성항법과 센서를 융합한 차량용 정밀 측위 기술에 대한 소개와 국내외 기술개발 동향을 살펴 보았다. 차량용 정밀 측위 시스템은 도심지 환경에서 위성항법의 오차를 줄이기 위하여 다양한 센서와 기술의 융합이 가속화 될 것으로 예상된다. 차량의 정밀 측위를 위한 인프라 구축과 더불어 Visual Odometry, LBS(Location Based Service) 기술과의 융합으로 특정 환경, 서비스에 최적화된 형태로의 발전도 가능할 것이다.

또한 차량용 측위 시스템의 상용화를 위해서는 기능 안전성 규격인 ISO26262차량용 규격 준수를 위한 노력과 저가형 임베디드 모듈 개발이 활발히 이루어져야 한다. 차량용 센서를 융합한 정밀 측위 기술은 차세대 ITS서비스 및 무인 자율주행 자동차 기술과 산업발전에 크게 이바지 할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가 관리원의 지능형자동차상용화연구기반구축사업의 일환으로 수행 되었습니다. [10045880, GPS-DR, 영상 및 도로 정보를 융합한 횡방향 정밀도 20 cm 이내의 저가형 측위 시스템 개발]

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행 되었습니다. (NIPA-2013-H0401-13-1005)

참고 문헌

- [1] 송정훈, 이재정, 정희걸, 서대화, “차량용 정밀측위 시스템의 적응적 보정방식 선택 및 위치정보 신뢰도 계산 방법,” 2013년 한국ITS학회 추계학술대회, pp.43~46.
- [2] 이재정, 송정훈, 정희걸, 서대화, “저가형 차량 위치 측위 모듈 설계,” 2013년 한국ITS학회 추계학술대회, pp.101~103.
- [3] 남동균, 박주영, 박현우, 김도윤, “저가형 자이로 센서의 드리프트 감소 방안에 대한 고찰,” KIIS 추계학술대회, 2010
- [4] 이재훈, 김도윤, 성상학, 남동균, 박주영, “임베디드 시스템을 위한 GPS/INS 결합 알고리즘의 실시간 동작 구현,” 2009년 한국지능시스템학회, 2009
- [5] 김도윤, 박현우, 유동현, 박종호, 민대홍, 박주영, “관성 센서와 GPS 신호 융합을 통한 차량 위치 성능 개선에 관한 연구,” 정보 및 제어 심포지움, 2011
- [6] 김도윤, 박현근, “관성 센서와 GPS 약결합을 통한 GPS 음영지역에서 차량 위치 추정,” 2011년도 대한전기학회 하계학술대회, 2011.
- [7] K. Lee, J. H. Bak and C. H. Lee, “A Study on DGPS/GIS-based Vehicle Control for Safe Driving”, Transactions of KSAE, Vol. 21, No. 5, pp.54-58, 2013.
- [8] Sungmin Eum, Ho Gi Jung, “Enhancing Light Blob Detection for Intelligent Headlight Control Unit Using Lane Detection,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, accepted on 6 Dec. 2012 .
- [9] H. G. JUNG, Y. H. LEE, H. J. KANG, Jaihie Kim, “SENSOR FUSION-BASED LANE DETECTION

- FOR LKS+ACC SYSTEM,” *International Journal of Automotive Technology*, Vol. 10, No. 2, April 2009, pp. 219–228.
- [10] U. Vollath, H. Landau and X. Chen, “Network RTK–Concept and Performance,” Trimble White paper.
- [11] RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, <http://rtklib.com>
- [12] Korea National Geographic Information Institute, <http://gps.ngii.go.kr>
- [13] J. K. Suhr, H. M. Kang, H. G. Jung, “Dense stereo based critical area detection for an active pedestrian protection system,” *Electronics Letters*, Vol. 48, Issue 19, Sep. 2012, pp. 1199–1201.
- [14] H. G. Jung, “Medoid selection from sub–tree leaf nodes for k–medoids clustering–based hierarchical template tree construction” *Electronics Letters*, Vol. 49, Issue 2, 17 Jan. 2013, pp. 108–109.
- [15] N. Luo and G. Lachapelle, “Relative positioning of multiple moving platforms using GPS,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 39, no. 3, pp. 936–948, July 2003.
- [16] S. Zeng, “A carrier–phase DGPS based V2V object sensing system using fast incremental Bayesian Network,” in *Proceedings of American Control Conference*, Baltimore, MD, June 30, 2010.
- [17] I. Skog and P. Handel, “In–car positioning and navigation technologies: a survey,” *Ieee Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 10, pp. 4–21, 2009.
- [18] M. A. Quddus, et al., “Current map–matching algorithms for transport applications: State–of–the art and future research directions,” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 15, pp. 312–328, 2007.
- [19] S. Panzieri, et al., “An outdoor navigation system using GPS and inertial platform,” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 7, pp. 134–142, 2002.
- [20] G. Dissanayake, et al., “The aiding of a low–cost strapdown inertial measurement unit using vehicle model constraints for land vehicle applications,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17, pp. 731–747, 2001.
- [21] H. Qi and J. B. Moore, “Direct Kalman filtering approach for GPS/INS integration,” *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 38, pp. 687–693, 2002.
- [22] S. Godha and M. E. Cannon, “GPS/MEMS INS integrated system for navigation in urban areas,” *GPS Solutions*, vol. 11, pp. 193–203, 2007.
- [23] Y. Cui and S. S. Ge, “Autonomous vehicle positioning with GPS in urban canyon environments,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 19, pp. 15–25, 2003.
- [24] J. Huang and H. S. Tan, “A low–order DGPS–based vehicle positioning system under urban environment,” *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 11, pp. 567–575, 2006.
- [25] E. Abbott and D. Powell, “Land–vehicle navigation using GPS,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, pp. 145–162, 1999.
- [26] S. Rezaei and R. Sengupta, “Kalman filter–based integration of DGPS and vehicle sensors for localization,” *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 15, pp. 1080–1088, 2007.
- [27] G. Fiengo, et al., “A hybrid procedure strategy for vehicle localization system: Design and prototyping,” *Control Engineering Practice*, vol. 17, pp. 14–25, 2009.
- [28] S. J. Julier and H. F. Durrant–Whyte, “On the role of process models in autonomous land vehicle navigation systems,” *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 19, pp. 1–14, 2003.
- [29] Y. Bar–Shalom, et al., *Estimation with applications to tracking and navigation*: Wiley–Interscience, 2001.
- [30] H. A. P. Blom and Y. Bar–Shalom, “Interacting multiple model algorithm for systems with Markovian switching coefficients,” *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 33, pp. 780–783, 1988.
- [31] N. Brown, L. Troyer, O. Zelzer and J. van Cranenbroek, “Advances in RTK and Post Processed Monitoring with Single Frequency GPS,” *Journal of Global Positioning Systems*, Vol. 5, No. 1–2, pp.

145-151, 2006.

- [32] Landau H., U. Vollath, X. Chen, "Virtual Reference Stations versus Broadcast Solutions in Network RTK - Advantages and Limitations," Proceedings of the GNSS 2003, Graz Austria, 2003.
- [33] Vollath, U. H. Landau, X. Chen, K. Doucet, C. Pagels, "Network RTK Versus Single base RTK Understanding the Error Characteristics," proceedings of the ION-GPS, Institute of Navigation, pp 2274-2781, Portland, Oregon Sept. 24-27, 2002.
- [34] Wuebbena, G., A. Bagge, M. Schmitz, "Network-Based Techniques for RTK Applications," Proceedings of GPS Symposium 2001, Japan Inst. of Navigation, Tokyo, Japan, pp 53-65, Nov. 14-16, 2001.
- [35] D. Gleason, "Avoiding numerical stability problems of long duration DGPS/INS kalman filters," Journal of Geodesy, vol. 70, no. 5, pp. 263-275, May 1996.
- [36] M. Petovello, M. Cannon, and G. Lachapelle, "Benefits of using a tactical-grade IMU for high-accuracy positioning," Journal of The Institute of Navigation, vol. 51, no. 1, pp. 1-12, Spring 2004.
- [37] S. Sukkarieh, et al., "A high integrity IMU/GPS navigation loop for autonomous land vehicle applications," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 15, pp. 572-578, 1999.

약 력



송 정 훈

2002년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학사
 2004년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 2012년 경북대학교 컴퓨터공학과 공학박사
 2005년~2008년 LG전자 D/D 사업본부,
 디지털기술연구소
 2008년~현재 경북대학교 임베디드소프트웨어연구
 센터 선임연구원
 관심분야: 차량IT융합, 지능형교통시스템,
 차량통신시스템



서 대 화

1981년 경북대학교 전자공학과 공학사
 1983년 한국과학기술원 전산학과 공학석사
 1993년 한국과학기술원 전산학과 공학박사
 1983년~1995년 한국전자통신연구원
 1995년~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수
 2004년~현재 경북대학교 임베디드소프트웨어연구
 센터 센터장
 관심분야: 차량IT융합, 근거리무선통신,
 임베디드시스템