

로보틱스및응용 연구회

자율 주행 시스템의 안정적 주행을 위한 방향센서

최 승 욱, 이 장 명
부산대학교

1. 자율 주행 시스템의 현황

최근의 산업 고도화에 따른 자율 주행 시스템의 발전은 특히 자동차 분야에서 두드러지고 있다. 현재 자동차에서는 컴퓨터를 사용하여 할 수 있는 많은 일들을 할 수 있도록 지원하고 있으며, 이를 텔레메틱스(telematics) 기술이라고 일컫고 있다. 이는 텔레커뮤니케이션(telecommunication)과 인포메틱스(informatics)의 합성어로, 자동차 안에서 이메일을 주고받고, 인터넷을 통해 각종 정보도 검색할 수 있는 오토(auto) PC를 이용한다는 점에서 '오토모티브 텔레메틱스'라고도 부른다.

이러한 텔레메틱스는 운전자가 무선 네트워크를 통해 차량을 원격 진단하고, 무선모뎀을 장착한 오토 PC로 교통 및 생활 정보, 긴급구난 등 각종 정보를 이용할 수 있으며, 사무실과 친구들에게 전화 메시지를 전할 수 있음은 물론, 음성 이메일을 주고받을 수도 있고, 오디오북을 다운받을 수도 있다. 즉 무선이동통신과 위치추적 시스템이 자동차와 결합되어 위치추적(GPS), 사고감지, 교통정보, 인터넷 접속, 차량 원격제어 등의 다양한 일들을 차 안에서 가능케 하는 첨단 자동차 정보통신 시스템이다. 운전자는 자동차에 장착된 서비스 단말기를 통해 첨단 서비스 센터와 연결되어 각종 정보를 제공 받을 수 있고 인터넷 접속, 위치추적(GPS), 원격 차량진단, 사고감지, 교통정보 등 일상 생활공간이나 사무공간에서 가능했던 일들이 이제는 차안에서도 가능하다. 미국의 제너럴 모터스(GM)와 모토롤라의 합작회사인 온스타(On-Star)가 이 분야의 선두주자로, 이미 위성항법시스템(GPS:global positioning system) 위성을 이용해 서비스를 제공하고 있으며, 포드-윌컴, 벤츠-도이치텔레콤 등 자동차 메이커와 이동통신 전문업체 간의 협력이 활발하게 이루어지고 있다.

한국도 텔레메틱스 서비스 개발을 위해 자동차 회사와 이동통신업체 간의 협력이 활발해 현대·기아자동차는 LG텔레콤과 무선차량 정보서비스 개발을 위한 전략적 제휴를 체결하였고, 대우자동차는 한국통신프리텔과 손잡고 이동통신과 위치추적기술을 접목한 드림넷 서비스 제휴를 체결하였다.

이처럼 텔레메틱스 서비스는 자동차 메이커와 이동통신업체 간의 협력 형태로 이루어지는 것이 일반적이다. 서비스 형태에 따라 뉴스수신, 주식투자, 전자상거래, 금융거래,

호텔예약, 팩시밀리 송수신, 게임, 차량 사고 및 도난 등 다양한 서비스가 가능하며, 특히 교통사고가 났을 경우 GPS위성을 이용해 자동적으로 사고차량의 위치를 추적, 가장 근접한 119구조대에 전달해 줌으로써 구난 활동에 용이하다는 장점이 있다.

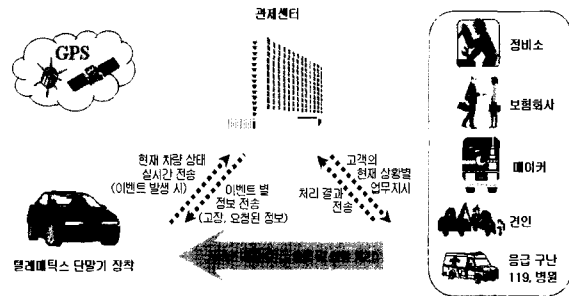


그림 1. 현재 텔레메틱스의 개략도.

2. 차량 항법 시스템의 사용 예

모바일 시스템의 정확한 위치 추정에는 비단 자동차에서 뿐만 아니라 산업 전반에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있다. 특히 노동인구의 부족이 심각한 농업분야에서도 이를 대체하기 위한 자동화 시스템에 차량 항법 시스템을 적용하고 있다.

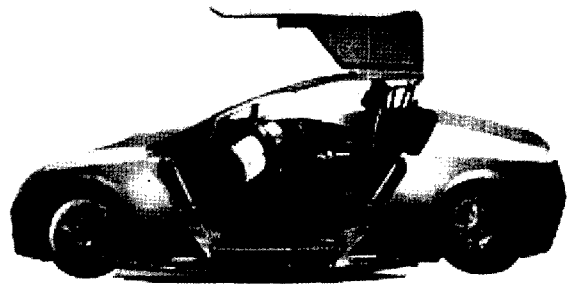


그림 2. 텔레메틱스 시스템이 내장된 미래자동차 컨셉.

예를 들어, 일본 농업연구센터는 long mat를 이용한 무인 자율주행이앙기로 모내기를 연시했다. 이 무인자율주행이앙기는 농업연구센터가 개발한 것으로 위치제어에 Real-time Kinematic GPS(RTK GPS)를 이용하여 고정밀도의 위치 제어를 실현하는 것이다. 이앙기의 본체는 일본 안마 농기

제품이며, GPS는 토린폴 저팬이 제공하였다. 무인 자율주행 이앙기는 원격제어장치의 버튼을 누르면 이앙기가 천천히 움직이기 시작하면서 식부장치가 작동하여 모를 심게 된다. 처음에는 저속으로 이앙하지만 점차 속도가 빨라진다. 이앙기가 상대편의 논둑에 접근하면 속도가 감소되면서 식부장치가 자동으로 올라가 이앙기가 선회하게 되며, 식부위치 정도 오차가 8cm 이내이다. 이는 개발을 시작한지 1년 반만의 일로 좀더 개발하면 이앙상태도 좋고, 선회도 원활할 것으로 기대된다. 무인 자율주행이앙기가 실용화되면 한 사람이 3~4대의 이앙기를 동시에 조작 관리할 수 있어 규모화 영농이 가능해지고 유희농지도 감소될 것으로 본다. 다른 한편으로는 정밀한 농작업의 輕勞化와 쾌적화가 한발 더 다가오면서 사람이 직접하던 정밀농작업의 무인 작업체계가 확립될 것으로 본다.

위와 같은 작물 재배를 위한 필드에서의 주요 작업은 경운·정지·시비·파종·제초·병충해 방제(주로 약제 살포)·수확 등이다. 그 중에서도 가장 기본적인 작업이 흙을 파헤쳐 부드럽게 하여 다음 작업을 준비하는 경운작업이다. 이 작업은 무거운 흙을 일으키는 중노동이기 때문에 큰 엔진에 차륜을 장착한 농업용 트랙터가 사용된다. 경운작업은 비료를 투입하거나 수확물을 운반하는 등의 다른 작업이 없는 단순한 작업이기 때문에 무인 로봇화에 적합하며 실현단계에서 이미 많이 소개되어 지금은 실용화를 위한 연구 개발이 진행되고 있다.

경운 로봇은 종전의 시판형 트랙터를 이용하여 지자기 방위 센서, 컴퓨터 그리고 신호 입력으로 조타나 브레이크, 스톱을 조절할 수 있는 기구를 자율주행을 하기 위해 부가하고 있다. 흙을 가는 로터리라고 하는 경운작업 장치가 트랙터의 후부에 장착되어 있으며 로터리를 15cm~20cm의 깊이로 내려 조를 회전시켜 흙을 파헤친다.

자율주행 방법은 우선 오퍼레이터가 승차, 운전하여 필드의 편단을 직선으로 1왕복의 교시작업을 한다. 이때 왕복의 지자기방위·필드의 끝에서 끝까지의 주행시간 등을 데이터로서 읽어내어 다음 공정에서 무인으로 교시된 방위를 향하여 주행작업을 한다. 필드 끝에 도착하면 편차륜을 브레이크로 로크하고 귀로의 방위까지 선회하여 작업 폭 만큼 옆의 위치에서 다음 공정의 작업으로 들어간다.

트랙터를 자율 주행시키는 연구는 이밖에도 많이 있으며 일본 농림수산성 초지시험장에서는 광파이버 자이로와 초음파 속도계로 프로그램되어 목표 방향에 대한 각도와 거리를 인식하는 방식을 채용, 부정형의 필드에서도 대응할 수 있는 자율주행 기술을 개발하고 있으며, 국내에서도 정밀농업기계 기술은 농촌진흥청 농업기계화연구소와 농업과학기술원을 중심으로 개발되고 있다. 농업기계화연구소는 1998년부터 농업기계의 무인화 연구를 수행하여 농기계 자율주행기술, 원격제어기술 등을 개발하였고, 1999년부터 미국 미조리 주립대와 국제공동연구를 통해 정밀농업관련

기초기술을 개발하고 있다.

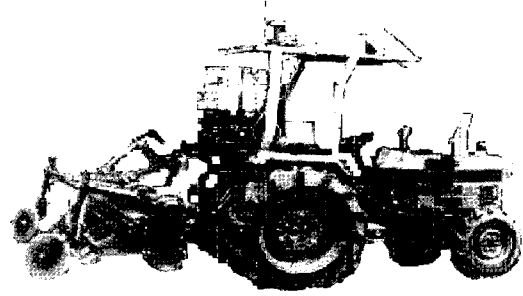


그림 3. 자율 주행 트랙터.

한편, 군사용 목적으로도 자율 주행 시스템의 응용은 활발히 이루어지고 있다. 병사의 안전성 확보가 강력하게 요구되는 오늘날 인적 손실이 클 것으로 예상되는 전투에서는 무인병기, 즉 로봇은 아주 효과적인 무기이다. 미국은 걸프전과 코소보 및 보스니아 분쟁에서 급조한 지뢰탐지·처리 로봇을 사용하여 로봇의 효과가 엄청나다는 사실을 확인하고 향후의 전투에 대비해 로봇화를 추진하고 있다.

한편 미 육군은 신속한 대응과 긴급전개, 높은 생존성 및 장기전지속 등을 가능케하는, 미래 전투시스템(FCS : Future Combat System)이라 불리는 새로운 체제로 전환을 도모하고 있으며, 이러한 체제(體制) 전환의 중심이 되는 무기가 바로 로봇이다. 정보 수집에서 공격에 이르기까지 무기를 로봇화하여 다양화되는 전투에 대처하려 하고 있다.

특히, 2001년 미 워싱턴 교외에서 개최된 국제 로봇학회(AUVSI 2001)에서 발표된 미 군용로봇의 연구개발 현황 중, 지상용 로봇(UGV : Unmanned Ground Vehicle)에서 자율주행 시스템이 응용된 사례에 관해서 살펴보면 다음과 같다.

이동식 무인경비 시스템(MDARS : Mobile Detection Assessment Response-System)은 레이더와 IR 센서 등을 탑재하고 자율 주행으로 인적이 드문 군 관계 시설을 순찰하며 침입자의 탐지, 창고와 벽등 시설 주변의 상황조사, 창고 내 상품의 보관 상황 및 문단속 확인, 화재 감시 등을 실시하여 이러한 정보를 관리센터에 통보함과 동시에 이상이 발생시에는 비디오의 수록을 실시한다. MDARS에는 건물의 외부를 순회하는 MDARS-E (Exterior) 및 내부만을 순회하는 MDARS-I (Interior)가 있는데, 이번에는 외부를 순회하는 MDARS-E에 대한 발표가 있었다.

현재 개량형인 MDARS-E를 개발 중이다. 개량형에서는 한사람의 관리자가 최대 8대의 플랫폼을 제어할 수 있으며, 미리 프로그램된 경로를 최대 속도 15km/h 로 순찰한다. 동 시스템은 2006년에 개발이 완료될 예정이다.

상기 프로그램은 3군이 공동 연구개발하며 각 군 모두가 각각独自の 운용을 생각하고 있는데, 해군에서는 MDARS의 발전 응용형으로서 해안선 방어 시스템을 개발하여 연안 부근의 방어에 운용하고자 한다.



그림 4. 이동식 무인 경비 시스템.

위의 예에서와 함께 항만 현장에서도 차량 항법 시스템은 광범위하게 사용되어지고 있다. 일례로 현대중공업은 2003년 11월 23일 독일, 일본에 이어 세계에서 3번째로 컨테이너 부두 자동화 장비를 개발하였으며, 이러한 자동화 부두 기술은 기존 컨테이너 부두보다 인건비를 절반으로 줄여 주는 한편 24시간 하역작업이 가능해 항만 생산성 향상과 선박의 재항 시간 단축에 기여하는 선진 물류시스템이다.

이 장비는 부두안벽에서 장치장까지 컨테이너를 운송하는 무인 자동 차량인 '자동 컨테이너 운송차(AGV)'와 장치장에서 컨테이너를 장치하거나 분류, 이적 작업을 수행하는 '자동 야드 크레인(ATC)'으로 구성됐다.

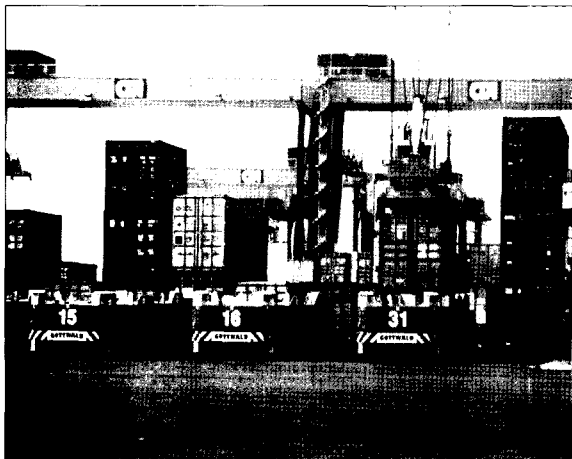


그림 5. 무인 컨테이너 운송차.

3. 차량 항법 시스템의 구성

앞서 예에서와 같이 차량 항법 시스템은 자동차 및 산업 현장에서 뿐만 아니라, 농업, 군사, 항만 등 광범위하게 활용되고 있으며, 이를 위해 반드시 사용되어지는 차량 항법 시스템(Car Navigation System)은 추측 항법(DR)과 측위 시스템(GPS)을 통합한 혼합항법(Hybrid Navigation)이 사용된다.

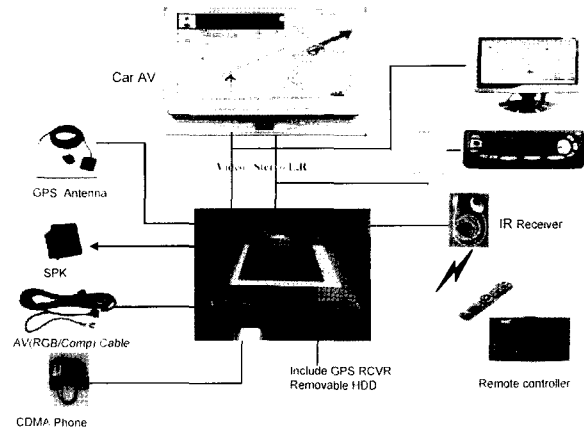


그림 6. 상용의 차량항법 시스템.

DR에 사용되는 방위각 센서로는 지구 자기장을 이용한 전자 컴퍼스(Magnetic Compass)와 관성을 이용하는 자이로 컴퍼스(Gyro Compass)가 많이 이용된다. 전자 컴퍼스는 절대방위를 지시하는 반면에 외부 간섭자기장에 민감하게 반응하여 측정오차를 유발시킨다. 자이로스코프는 짧은 시간의 방위에 대해서는 비교적 정확한 위치를 얻을 수 있으나, 초기 위치값에 의한 위치오차와 시간이 지남에 따라 오차가 누적되고, 드리프트의 보정이 큰 문제가 된다. 그리고 일정시간마다 센서의 초기화에 많은 노력이 필요하다. 그래서 방위각 센서로서 전자 컴퍼스를 이용한 절대 위치를 가지는 DR을 구성하고 전자 컴퍼스에서 발생하는 간섭자기에 대한 보정방법이 연구되고 있다.

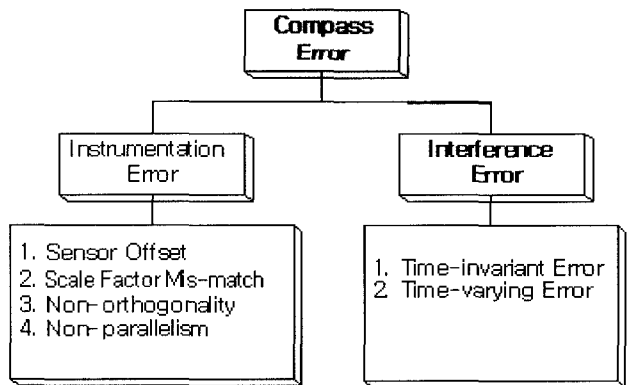


그림 7. 컴퍼스에서 발생하는 에러의 분류.

전자 컴파스에 발생하는 오차에는 어떤 외부의 간섭 없이 설계 상 발생하는 sensor offset, scale factor mismatch, non-orthogonality, non-parallelism의 계측 오차(Instrumentation Error)와 외부의 간섭자기장에 의해서 발생하는 외부 간섭 오차(Interference Error)로 분류할 수 있으며, 현재까지의 기술로는 고정된 위치에 있는 자기장의 간섭에 대해서는 보정이 되지만 순간적인 외부환경에 의해 발생하는 에러에 대해서는 보정되지 않는다. 그래서 현재까지의 전자 컴파스는 차량의 자립항법 시스템을 위한 DR 센서로는 부적합했다. 이것을 보완하기 위해 dual compass와 micro controller를 이용하여 외부 자기장에 강한 전자 컴파스가 요구된다. 따라서 외부간섭 오차를 크게 time-invariant error와 time-varying error로 분류하고, 각 에러의 특징과 보정방법이 필요하다. 차량의 방위측정을 위하여 컴파스를 차량에 부착할 때 차체에 의한 영향을 받으며, 이와 같은 영향에 대한 효과적인 보정은 신뢰할 수 있는 방위 측정을 위해서 요구된다. 아래의 그림은 외부 간섭자기장이 존재하지 않는 곳에서 차량에 컴파스를 장착할 때 차체가 컴파스에 미치는 영향을 나타내었으며, 여기서 간섭자기장 성분은 차체의 자기장이 된다.

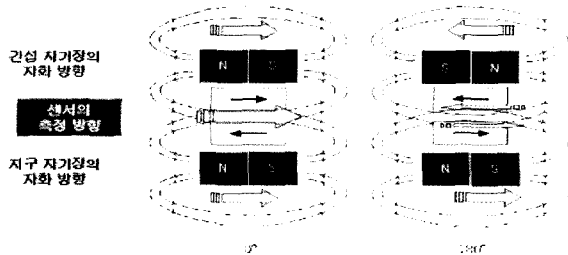


그림 8. 지구자기장과 외부자기장 사이의 자화방.

그림과 같이 지구자기장과 간섭자기장의 방향이 0°에서 차량의 방향과 지구자기장의 방향이 같은 방향으로 작용한다고 가정할 때 두 성분이 크기가 더해지는 형태이며, 차량을 180°회전시키면 간섭자기장의 방향과 컴파스의 방향이 지구 자기장과 반대 방향을 가지게 되어 서로 상쇄되는 형태를 보여준다. 결과적으로 차량의 자체에 의해 생성되는 자화원은 원점에 대하여 이동되고 크기가 변화는 형태로 나타나게 된다.

Time-invariant error는 컴파스가 장착된 차량의 내부 환경변화에 따른 자화원의 이동 및 변형으로 나타나며, 이 경우는 1회전 보정에 의한 고전적 방법으로 최초 보정할 수 있다. 이후에 차량의 운행 중에 변화될 수 있는 차량내부 환경에 의한 자화원의 측정 및 보정은 dual compass 3-point calibration algorithm을 적용하여 보정한다. Time-varying error는 차량운행 중에 발생하는 외부 자기장의 변화에 의한 에러와 도로의 경사와 기울어짐에 의해서 발생하는 에러로 분류하고, 각각의 에러에 대하여 dual compass를 이용한 predictive calibration algorithm이 연구되고 있다.

4. 안정된 차량 항법을 위한 Dual Electronic Compass

자립항법을 위하여 차량에 제작된 DR(Dead Reckoning) 모듈은 도심지역, 터널, 철골 구조 다리 등과 급격한 회전 및 완만한 회전에 서도 안정적인 결과를 보이며 차세대 차량 항법을 위한 핵심 센서로 모듈화 될 수 있다.

테스트에 이용한 컴퓨터는 펜티엄3-800MHz 노트북을 이용하였으며, DR만 독립적으로 제작하여, 차량의 조수석 의자 밑에 장착하였다. 전체적인 시스템 구성은 다음과 같다.

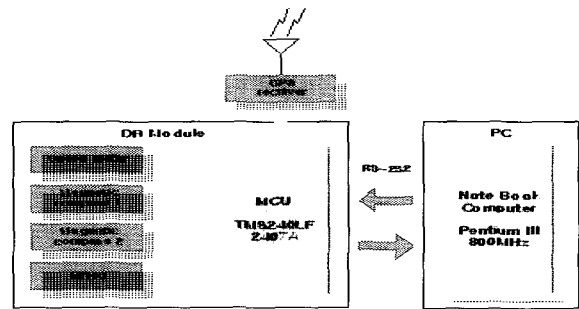


그림 9. DR 구성도.

DR모듈은 Speed meter와 Magnetic Compass 2개를 사용하여 거리정보와 방위 정보를 얻으며, DSP에서는 센서의 출력을 받아 거리정보 및 보정된 방위각 정보를 PC로 전송하는 전체적인 구성을 가지고 있다. PC는 DR 모듈로부터 받은 데이터를 MFC로 제작된 자체 Firmware 환경으로 보내서 현재데이터의 상태를 화면에 출력한다.

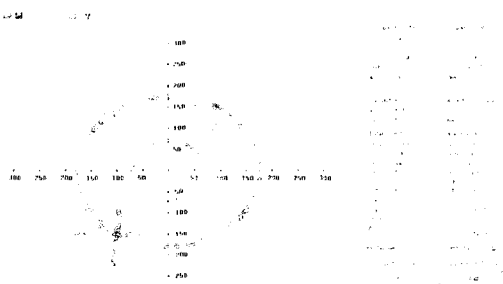
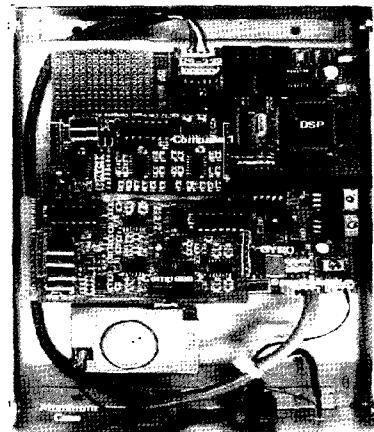


그림 10. 제작된 DR 모듈과 Dual compass 보정.

5. 자율 주행 시스템의 발전 방향

현대의 자동 항법 시스템에 필수적인 자기 위치 추적 시스템에서, 2-axis 컴파스를 이용하여 기존에는 불가능했던 차량 내부의 자기변화 및 시간에 대해 동적인 외부 자기장과 경사와 기울기를 보정하는 방법이 연구되고 있다.

또한, 두 개의 전자 컴퍼스 센서를 사용하여 상호 보완적으로 구성된 시스템은 주행 실험에서 실시간으로 수행되는 보정기능을 이용하여 차량의 자율항법을 위한 방위각 센서로서 사용가능하며, 단독 모듈로 설계되어 사용이 용이하다. 따라서 기존의 GPS를 이용한 시스템에 보완 적용되어 더욱 정밀한 위치 추정이 가능하게 되므로, 이를 바탕으로 운전자에게 정확한 서비스 제공이 가능할 것이다.

참고문헌

1. J. A. Farrell & M. Barth, "The Global Positioning System & Inertial Navigation," McGraw-Hill, 1999.
2. E. D. Kaplan, "Understanding GPS Principles and Applications," Artech house, INS., 1996.
3. T. Upadhyay, S. Cotterill and A. W. Deaton, "Autonomous GPS/INS Navigation Experiment for Space Transfer Vehicle," *IEEE trans. on AES*, vol. 29, no. 3, July, 1993.
4. H. Zdzislaw, Lewantowicz, "Architectures and GPS/INS Integration: Impact on Mission Accomplishment," *IEEE AES MAGAZINE*, June, 1992.
5. Whitcomb, L.A, "Using low cost magnetic sensors on magnetically hostile land vehicles," *Position Location and Navigation Symposium*, 1988. Record. Navigation into the 21st Century, pp.34-38, IEEE PLANS'88, IEEE 1988.
6. T. Peters, "Automobile navigation using a magnetic Flux-Gate Compass," *IEEE Tr. Vehicular Technology*, vol. Vt-35, no. 2, May, 1986
7. W.Kao, "Integration of GPS and Dead Reckoning Navigation Systems," *Proc. of VNIS*, 1991
8. Michael, J. Caruso, "Applications of Magnetoresistive Sensor in Navigation System," *Sensors and Actuators*, SAE SP-1220, pp. 15-21, 1997.
9. SW Liu, ZN Zhang, and JC Hung, "A High Accuracy Magnetic Heading System Composed of Fluxgate Magnetometers and a Microcomputer," *Proc. of the IEEE*, May, 1989.

10. Ojeda, L and Borenstein, J, "Experimental Results with the KVHC-100 Fluxgate Compass in Mobile Robots," *Proceedings of the IASTED International Conference on Robotics and Applications*, 2000.
11. Hoshino, M, Xu, H and Aertbelien, E, "A Kalman filter to estimate direction for automotive navigation," *International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 145-150, 1996.
12. Von der Hardt, H.-J, Wolf, D and Husson, R, "The dead reckoning localization system of the wheeled mobile robot ROMANE," *IEEE/SICE/RSJ International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, pp. 603-610, 199.

..... 저자소개



《최 승 욱》

- 1996년 동아대학교 전자공학과 공학사.
- 1998년 부산대학교 전자공학과 공학석사.
- 2001년 부산대학교 전자공학과 공학박사.
- 2001년~2003년 창원전문대학 정보처리과 연구교수.
- 2003년~현재 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신연구소 (RICIC) 연구전담교수, PCA(Philippine Computer Association) Director.
- 주요관심 분야 : 자율주행, 충돌방지시스템, 로봇 비전, 비전 검사시스템.



《이 장 명》

- 1980년 서울대학교, 전자공학, 공학사.
- 1982년 서울대학교, 전자공학, 공학석사.
- 1990년 Univ. of Southern California, Computer Engineering, 박사.
- 1983년 삼성반도체통신 연구원.
- 1983년~1992년 부산공업대학 전임강사-조교수.
- 1985년~1990년 Univ. of Southern California 연구 조원.
- 1992년~ 현재 : 부산대학교 교수, 부산시 도시혁신위원회 정보화 전문위원, 부산시 교통공단 3-3호선 기술자문위원, 제어자동화 시스템 공학회 로보틱스 및 응용연구회 회장.
- 주요관심 분야 : 로보틱스, 자동화 시스템.