

◆특집◆

ITS분야에서의 계측제어 및 통신기술

최재원*, 이석*, 이만형*, 박운식*

Control, Instrumentation, and Communication Technologies in ITS

Jae Weon Choi*, Suk Lee*, Man Hyung Lee*, and Un Sik Park*

Key Words : ITS(지능형 교통시스템), CW/CA(충돌경보 및 충돌회피), Platooning(군집주행), CNS(차량항법장치), VICS(도로교통 정보통신 시스템)

1. 서론

자동차가 이 세상에 출현한지도 거의 백년을 넘어서고 있다. 이제 이 문명의 이기를 이용한 도로교통은 현대사회의 운영과 인간의 윤택한 삶을 위해서 필요 불가결한 요소로 자리잡아 가고 있다. 그러나, 한편으로 자동차의 보급이 1000만대를 넘어서고 있는 현 시점에서 교통사고, 교통혼잡, 환경오염, 에너지 낭비 등 자동차의 대량이용에 따른 많은 문제점을 야기하고 있다. 따라서, 자동차가 인간에게 가져다 주는 편리성과 이익을 미래에도 향유하기 위해서는 이러한 문제를 근본적으로 해결하지 않으면 안되게 되었다. 이러한 해결책의 일환으로 ITS(Intelligent Transportation Systems)라는 새로운 개념의 교통시스템이 등장하게 된 것이다^{1), 2)}.

ITS는 최첨단의 전자, 전기, 통신, 제어 및 메카트로닉스 기술을 도입하여 도로와 차량을 일체화된 시스템으로 구축하고, 차량운행에 필요한 정보를 신속하고 정확하게 운전자에게 제공하며 차량항법시스템(CNS: Car Navigation Systems), 자동요금수납시스템(ETC: Electronic Toll Collection), 첨단차량제어시스템(AVCS: Advanced Vehicle Control Systems)과 도로교통의 최적화, 도로관리의 효율화를 통하여 안전운전의 지원, 도로교통의 안전화, 도로 이용

효율의 향상, 쾌적한 운전환경, 환경보전 등을 실현하는 것을 목표로 하고 있다. 이러한 전체 ITS는 다음의 Fig. 1에서 도시한 바와 같이 지능형 차량과 자동화 도로의 협조와 이들을 유기적으로 연결하는 통신네트워크 환경을 구축함으로써 완성되게 된다³⁾.

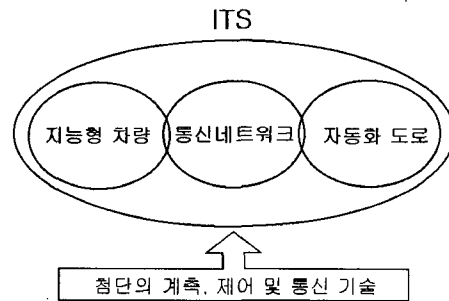


Fig. 1 Concept of ITS

미국, 유럽, 일본을 포함한 선진 각국에서는 일찍부터 ITS의 필요성을 인식하고 꾸준히 관련기술들을 개발하고 있으며, 부분적이지만 실용화를 준비하고 있는 단계까지 기술적으로 앞서나가고 있다. 먼저, 미국에서는 1990년에 지금의 ITS America의 전신인 IVHS America를 설립하여 미국 운수성(U. S. DOT)과의 협조하에 많은 ITS관련 프로젝트

* 부산대학교 기계공학부 및 기계기술연구소

Tel. 051-510-2470, Fax. 051-514-0685, Email choijw@pnu.edu

첨단 안전자동차 구현을 위한 차량 및 통신네트워크 제어에 관한 연구를 수행중

를 추진해오고 있다. 최근 미국 운수성은 ITS America와의 협조하에 IVI(Intelligent Vehicle Initiative)라는 프로그램을 추진하고 있으며 주로 전방충돌(Rear-end crash)과 차선변경충돌과 같은 차량중심의 충돌방지기술을 개발하고자 하고 있다. 또한, 캘리포니아 교통국과 U. C. Berkeley가 공동으로 추진하여 온 PATH프로젝트^[4]는 세계적으로 널리 알려진 가장 대표적인 ITS프로젝트라고 할 수 있다. 이 프로젝트에서는 노면을 따라 매설된 영구 자석 열을 이용한 횡방향제어와 군집주행(platooning)이라는 아주 좁은 차간거리를 유지하며 2대 이상의 차량이 군집을 이루어 고속으로 주행하는 종방향제어에 관한 연구를 수행하였다. Fig. 2는 San Diego DEMO 97에서 시행된 군집주행 장면을 도시한 것이다.

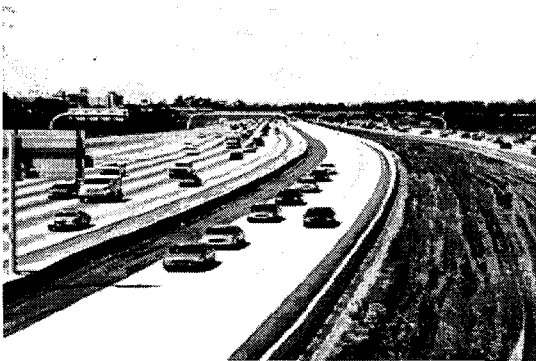


Fig. 2 Platooning in PATH

유럽에서는 정부주도의 DRIVE와 민간주도의 PROMETHEUS의 2개의 대형 프로젝트를 추진해오고 있으며, 최근에는 CHAUFFEUR라는 프로젝트를 통하여 Fig. 3에 도시된 Two-bar시스템을 구현하였다^[5].



Fig. 3 Two-bar system in CHAUFFEUR

Two-bar시스템은 첨단 차량제어기술을 이용하여 2대의 트럭이 전자적으로 결합되어 선행차에 탑승한 운전자에 의해 추종하는 트럭이 마치 하나의 트럭처럼 운용되는 시스템이다. 실제실험을 통하여 Two-bar시스템은 15%의 연료절감 및 CO₂배출량의 감소효과를 가져올 수 있다고 보고하고 있다. 이러한 시스템은 안정성의 향상은 물론 연비와 운전자의 인건비 감소로 인한 다양한 경제적 효과를 기대할 수 있는 시스템으로서 2020년까지 실용화를 목표로 적극적으로 개발에 몰두하고 있으며, 이 프로젝트에서는 궁극적으로 완전한 자율주행이 가능한 선행차를 2대 이상의 추종차가 군집을 이루어 주행하는 자동군집주행시스템을 실현하려고 하고 있다.

일본은 그동안 운수성과 건설성을 중심으로 추진해오던 ASV와 AHS관련 프로젝트의 성과를 정리하여 도로와 차량이 협조하여 운전자에게 정보제공 및 경보를 통해 운전조작을 지원함으로써 안전하고 쾌적한 주행환경을 실현하려는 7가지 주행지원서비스를 근간으로 하는 Smart Cruise 21 실증시험^[6]을 2000년 10월부터 시행하고 있다. 또한, 2000년 11월에는 Smart Cruise 21·Demo 2000이라는 공개 시연회를 개최하여 일본 국내외의 전문가와 관계자들을 초청하여 실제 차량시승도 행하였으며, 10월부터 시행해오던 공동 실증시험의 결과와 더불어 최첨단의 주행지원시스템 관련기술을 일반인들도 체험할 수 있게 하였다.

일본은 이러한 주행지원시스템을 통하여 교통사고의 50%를 감소시키고자 하는 목표를 가지고 조기실용화를 적극적으로 추진하고 있는데, 이를 위하여 다음과 같은 7가지 주행지원서비스를 선정하였다. Fig. 4는 7가지 주행지원서비스의 개념을 도시한 것이다.

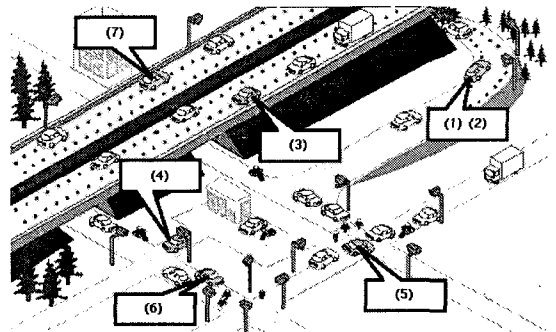


Fig. 4 Smart Cruise Systems

- (1) 전방 장애물 충돌방지
- (2) 커브길 진입 위험방지
- (3) 차선이탈 방지
- (4) 교차로 진입시 충돌방지
- (5) 우회전 충돌방지
- (6) 횡단보도 보행자 충돌방지
- (7) 노면정보 활용 차간거리 유지

앞에서 ITS기술을 선도하고 있는 미국, 유럽 및 일본의 최근 ITS분야의 개발현황을 간략히 살펴본다. 지금까지 ITS관련기술의 개발은 이 기술을 선도하고 있는 몇몇 나라에 의해 집중적으로 진행되어 왔으나 최근에는 우리나라를 포함하여 세계 각국에서 ITS에 대한 필요성을 인식하고 개발계획을 추진하고 있다. 따라서, 앞으로는 ITS기술의 개발뿐만 아니라 ITS의 국제적 표준화 및 규격의 통일화가 더욱 중요한 이슈가 될 것으로 판단된다.

본 고에서는 다양한 형태로 개발되고 있는 각 나라의 ITS관련 기술가운데에서 ITS를 구현하기 위해서 핵심적이고 기반이 되는 요소기술들과 이와 관련된 계측제어 및 통신기술을 살펴봄으로써 앞으로 다가올 ITS라는 새로운 교통시스템에 대하여 조망해보고자 한다.

2. ITS에서의 계측제어 및 통신기술

먼저 ITS를 통해 해결하고자 하는 교통문제 중에서 가장 큰 물적, 인적손실을 가져다주는 교통사고의 원인을 분석한 결과를 Fig. 5에 도시하였다. 이 결과를 살펴봄으로써 지능화된 차량제어시스템의 필요성과 역할을 명확하게 알 수 있을 것이다.

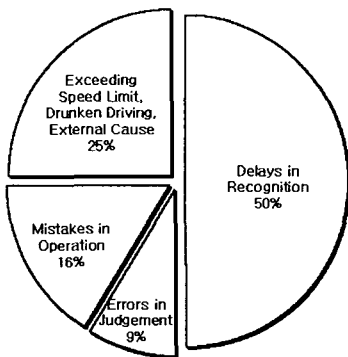


Fig. 5 Causes of traffic accident

Fig. 5에서 알 수 있듯이 교통사고의 75%가 운전자의 인식의 지연, 판단의 오류 또는 조작의 실수에 의한 것으로 나타나 있다. 이러한 운전자의 실수는 고도의 센서기술과 제어 및 메카트로닉스 기술을 이용하여 지능형 차량제어시스템을 통하여 보완될 수 있다.

지능형 차량제어시스템에 대한 개념을 Fig. 6에 나타내었다. 일반적으로 인간의 운전은 먼저 주위의 도로교통환경을 시각, 청각을 통해 인지하고, 상황에 따른 적절한 판단을 한 뒤 가감속 및 조향의 조작을 행함으로써 차량을 운행하게 된다.

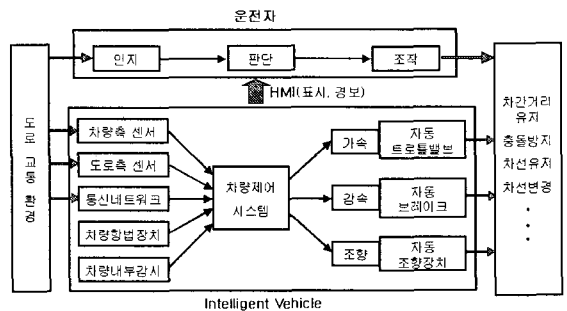


Fig. 6 Concept of an intelligent vehicle

지능형 차량의 경우도 위와 비슷한 과정을 거치게 되는데, 최첨단의 센서기술을 이용하여 실시간으로 다양한 도로 및 교통상황을 감지하고 이러한 정보를 바탕으로 차량제어부에서 신속하고 정확한 판단을 하여 자동으로 구동되는 전자식 가감속 및 조향장치를 조작함으로써 차간거리유지, 충돌방지, 차선유지, 차선변경 등과 같은 복잡하고 다양한 차량주행과 기동이 가능하게 된다.

본 장에서는 ITS를 구성하는 지능형 차량제어 시스템과 자동화 도로, 또한 이들을 유기적으로 결합하는 통신네트워크에 있어서의 계측제어 및 통신기술의 현황에 대해서 개략적으로 살펴본다.

2.1 계측기술

현재 ITS에서 개발되고 있는 계측방법들을 차량측과 도로측으로 나누어 다음과 같이 Table 1에 정리하였다^[1, 8].

먼저, 차간거리유지 및 전방 장애물 검출을 위한 종방향제어용의 센서들로는 laser radar, millimeter wave radar, CCD카메라, 적외선카메라가 주로 사용되고 있다. laser radar는 경제적이고 소형

화에 대한 이점이 있지만, 안개, 눈, 비와 같은 악천 후에는 정밀도가 떨어지는 단점이 있다. 따라서, 최근에는 기후변화의 영향을 받지 않고 정밀도를 보장하는 millimeter wave radar가 차량제어용 센서로써 각광을 받고 있으며 또한 관련된 많은 연구가 이루어지고 있다. 또한, CCD카메라와 화상처리기술을 이용한 machine vision은 인간과 동일하게 시계가 확보되지 않는 악천후나 야간에는 사용이 어렵다. 반면에 종방향과 횡방향제어용 센서로 동시에 사용할 수 있다는 장점이 있다. 적외선카메라는 주, 야간에 관계없이 사용할 수 있는 장점이 있다.

Table 1 Sensor technologies in ITS

구분	목적	종류	특징
차량측 센서	종방향제어 · 차간거리계속 · 정밀 장애물 검출	Laser Radar (RIDAR)	중·장거리용 (150m이상) 저비용, 소형화에 유리
		Millimeter Wave Radar	중·장거리용 (150m이상) 악천후(안개, 눈, 비)의 영향을 받지 않음
		CCD카메라	다양한 상황 인식가능 해상도, 정밀도가 우수함
		적외선카메라	야간주행 해상도, 정밀도가 우수함
	횡방향제어 · 기준선 및 차선 검출 · 속/방향 장애물 검출 · 차선유지 · 차선변경	Magnetic Sensor	Magnetic Marker
		Inductive Coil Sensor	Inductive Cable
		Radar	Radar Reflective Strip
		Machine Vision	Lane Marker 주행선
		Ultra Sonic Sensor	속벽 혹은 Guard Rail 근접센서
		GPS Dead Reckoning	기준선이 필요없음 비교적 큰 속도오차
도로측 센서	노면감시	Machine Vision	비교적 넓은 범위 측정가능
		Optical Fiber Sensor	매우 넓은 도로구간 측정가능
	도로상황감시	Machine Vision	이동물체의 인식기 가능 비교적 넓은 범위 측정가능 해상도, 정밀도가 우수함
	보행자감지	Laser Radar	주·야간 측정가능

차선유지 및 차선변경을 위한 횡방향제어에 사용되는 센서들은 노면상의 기준선이나 차선을 검출하거나 측방의 장애물을 검출하는 목적으로 사용되고 있다. 횡방향제어의 경우에 대부분의 계측방법은 노면 위에 설치된 특정한 기준선을 인식하도록 하여 이 기준선으로부터의 횡방향 거리오차를 측정하는 방법을 많이 사용하고 있는데, 도로에 매설된 영구자석 열이나 유도케이블을 자계센서나 자기유도 코일센서를 이용하여 감지하는 방법 등이 있다. 이러한 방법은 도로에 영구자석이나 유도케이블을 매설해야 하므로 초기의 도로 인프라투자와 유지 및 보수에 대한 막대한 추가비용이 든다는 단점이 있다. 다른 한 방법으로 CCD카메라나 적외선카메라와 화상처리기술을 기반으로 한 machine vision을

이용하여 도로의 주행선이나 lane marker를 인식하게 함으로써 횡방향제어가 가능하다. 하지만, 이러한 방법은 앞서 설명한 바와 같이 기후상황에 대한 영향을 많이 받는다는 단점이 있다.

부가적인 기준선을 필요로 하지 않고 도로상에서의 차량의 절대위치를 검출할 수 있는 방법으로는 GPS(Global Positioning Systems)를 이용한 위성항법장치를 들 수 있다. 하지만 GPS는 현재 미국방성 공식발표 기준으로 위치측정오차가 20m정도이므로 차량제어에 필요한 고정밀도의 위치정보를 제공하기에는 부족하다고 할 수 있다. 하지만, 향상된 정밀도를 제공하는 실시간 DGPS(Differential GPS) 기법, 오차보정알고리즘의 개발, GPS와 추측항법(DR: Dead Reckoning)을 병용한 하이브리드항법, 고정밀도의 디지털지도 제작 등을 통하여 차량제어에 필요한 정도의 정밀도를 얻을 수 있을 것으로 기대되며 GPS를 차량제어에 이용한 연구도 행해지고 있다^{9, 10}.

도로측 센서는 노면의 상태나 교차로, 커브길과 같이 차량측 센서로는 계측이 불가능한 지역의 도로와 교통상황을 감지하고 이를 차량-도로간의 무선통신을 통하여 차량제어에 필요한 정보를 제공하게 된다.

2.2 제어기술

일반적으로 차량은 도로라는 정해진 궤적을 따라 2차원의 평면운동을 하는데, 가속이나 감속으로 인한 속도 및 가속도의 변화를 가져오는 종방향 동역학과 핸들의 조향각을 변화시켜 차선유지, 차선변경 등의 기동이 이루어지는 횡방향 동역학으로 크게 나뉘어진다. 따라서, 안전성의 향상과 도로 이용효율의 향상을 목적으로 하는 차량의 주행제어도 크게 종방향제어와 횡방향제어로 나누어 살펴보기로 한다.

2.2.1 종방향제어

자동으로 차량의 가감속운동을 제어함으로써 자동순항주행, 차간거리유지, 충돌방지 등이 가능하다. 일반적으로 차량의 종방향 동역학은 바람에 의한 항력, 노면과의 마찰, 엔진내부의 연소과정 등과 같은 이유로 비선형적인 특성을 띠게 되며, 이를 Fig. 7에 간략화된 모델로 나타내었다. 여기서, $K_{di} x^2$ 는 바람에 의한 항력을 나타내며 d_m 은 마찰

로 인한 감쇠력을 나타낸다. 차량의 종방향제어는 일반적으로 기준이 되는 선행차의 속도 및 가속도를 추종하도록 하면서 일정한 차간안전거리를 유지하도록 하는 제어방법이다.

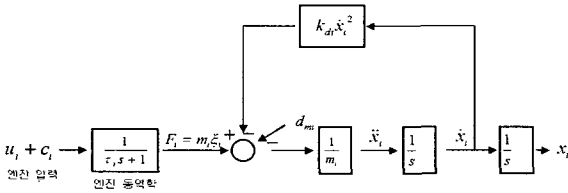


Fig. 7 A simplified longitudinal vehicle model

군집주행제어의 경우에는 선행차와의 좁은 차간안전거리를 오차없이 유지하면서 선행차의 속도를 추종하게 하는 정밀한 제어가 필요하다. 충돌방지를 위해서는 선행차의 속도, 가속도와 선행차와의 차간거리에 관한 정보를 센서를 통해 계측하고, 차량의 제동거리에 대한 정보를 이용하여 충돌위험을 판정하고 이를 운전자에게 경보한다. 경보에도 불구하고 운전자의 대처가 없을 경우 자동 브레이크 장치를 작동하여 긴급한 감속조작을 행함으로써 충돌을 방지하거나 혹은 충돌후의 피해를 대폭적으로 경감시킬 수 있다.

충돌경보에 있어서 중요한 문제는 차량의 감속 능력에 따른 제동거리를 계산하여야 하는데, 이러한 제동거리는 차량의 순간가속도 및 속도, 차량의 총중량, 타이어의 상태, 노면과의 마찰계수 등과 같은 복잡한 요인들에 의해 영향을 받으므로 정확한 정지거리 혹은 제동거리를 추정해내는 것이 매우 어렵다.

종방향제어를 위한 제어알고리즘으로는 PID기법, 피드백선형화기법^[11], 적응제어기법^[12], 퍼지-슬라이딩모드제어기법 등을 적용한 연구들이 있다.

2.2.2 횡방향제어

차량의 횡방향제어는 차선의 유지 및 차선변경 등의 기능시에 필요하며 센서를 통해 기준선이나 차선을 인식하고 이로부터 측정된 횡방향 거리오차를 제어에 사용하게 된다. 먼저, 차선의 유지를 위해서는 기준선과의 횡방향 거리오차를 영으로 수렴하도록 하는 조향각을 제어입력으로 인가하여 제어가 가능하며, 차선변경을 위해서는 이동하고자 하는 차선까지의 거리만큼 횡방향 거리오차를 발생시켜 이를 영으로 수렴하도록 조향각입력을 인가하여

제어하게 된다.

차량의 횡방향모델은 선형화가 가능하며 Fig. 8과 같이 옆 미끄럼각(sideslip angle) β , 요우각(yaw angle) ψ 와 무게중심에서의 횡방향변위 y 를 상태로 가지는 선형 2차원 싱글트랙 모델로 표현될 수 있다.

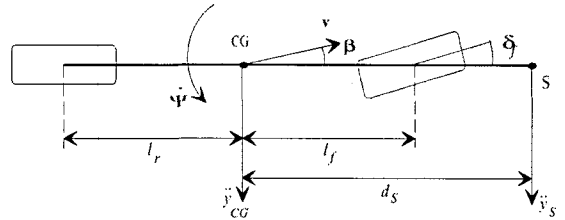


Fig. 8 A lateral vehicle model

횡방향제어는 앞서 설명한 바와 같이 횡방향 거리오차를 측정하기 위하여 센서를 통하여 기준선 및 차선을 인식하고, 또한 자이로나 편요우각(yaw rate)센서를 이용하여 요우각을 측정된 뒤, 차량의 조향각 δ 를 제어입력으로 인가하여 요우각과 횡방향 거리오차를 항상 영으로 수렴시키는 제어를 하게 된다.

차선인식을 위해 CCD카메라와 같은 시각센서를 이용하는 경우에는 영상데이터의 처리속도가 전체 제어시스템의 성능을 크게 좌우하게 된다. 또한, 횡방향의 동역학은 차량의 중량, 관성모멘트, 종방향 속도, 타이어의 강성 및 노면과의 마찰 등의 영향을 받으며, 이러한 파라미터는 실제 주행상황에서 시간에 따른 변화가 심하다. 이는 결국 횡방향 제어시스템에 있어서 커다란 불확실성으로 작용하게 되고 이러한 불확실성을 보상할 수 있는 견실한 성능을 보장하는 견실제어기법이 횡방향제어에는 요구된다. 이러한 이유로 횡방향 제어알고리즘으로 슬라이딩모드^[13], H_∞ 제어기법^[14]과 같은 견실제어기법을 적용한 연구결과가 많이 발표되었다.

2.3 통신기술

ITS에 있어서의 통신기술은 매우 중요하며, 기본적으로 다음과 같은 3가지 관점에서 생각해 볼 수 있다.

- 도로인프라와 차량을 연결하는 도로-차량간 통신
- 인접하여 주행하는 차량간 통신
- 인프라 측에서 정보를 수집, 처리, 제공하는 정보통신 네트워크

2.3.1 도로-차량간 통신

도로를 주행하는 차량과 외부사이에 정보를 주고받기 위해서는 무선통신기술에 기반한 도로-차량간 통신(RVC: Road to Vehicle Communication)이 필요하다. RVC는 그 통신형태에 따라 방송형, 국소송신형, 광역개별통신형, 국소개별통신형으로 나눌 수 있는데, 각각을 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

① 방송형: FM다중방송이 대표적인 예로서, 기존의 FM방송파에 데이터를 중첩하는 방법으로 각종의 정보를 제공할 수 있다. 일본에서 실시되고 있는 VICS가 대표적인 실례이고, 국내에서는 현재 MBC에서 도로교통정보와 DGPS보정신호를 시범적으로 방송하고 있다.

② 국소송신형: 방송형과 마찬가지로 단방향통신으로 매우 좁은 무선통신영역을 가지므로 국소적인 정보만을 제공할 수 있으며, 대표적인 예로는 도로변에 설치하는 무선 혹은 광통신 비콘(beacon)을 들 수 있다.

③ 광역개별통신형: 광역의 쌍방향통신기능을 이용하는 것으로 휴대용 전화 등이 이에 속한다.

④ 국소개별통신형: 매우 좁은 무선통신지역에서 쌍방향 통신이 가능하며 연속적으로 도로변에 설치된 기지국의 통신영역을 차량이 통과하는 짧은 시간동안에 쌍방향통신이 가능하다. 차량으로부터의 도로교통정보의 수집과 국소적인 도로정보제공 및 개별데이터 통신도 가능하다.

2.3.2 차량간 통신

도로를 주행하는 각 차량이 주행정보를 상호교환할 수 있으므로 해서 군집주행의 성능을 향상시킬 수 있으며, 종래의 자동주행차량의 정보통신수단으로서 주목받고 있는 것이 차량간 통신(IVC: Inter-Vehicle Communication)이다^[15]. 그 형태는 크게 특정 차량군내의 통신과 불특정 차량들과의 통신으로 나눌 수 있다. 전자는 통신연결이 비교적 쉬우나 차량의 제어를 위해서는 고속, 고신뢰도의 통신이 요구되며, 후자는 고정된 기준이 없는 통신 형태이므로 동기와 통신제어수단을 어떻게 구축하는가가 기술적인 관건이다^[16].

차량간 통신에 사용되는 통신매체로서는 차량간의 간섭문제 때문에 지향성을 가지며 비교적 단거리의 전파특성을 가지는 광파나 millimeter wave radar^[17]의 이용이 주로 연구되고 있다.

2.3.3 정보·통신네트워크

ITS에서는 도로교통상황을 신속하고 정확하게 파악하고 제공하거나 도로교통관리와 도로유지관리를 행할 수 있는 시스템이 필요하며 따라서 정보·통신네트워크 환경의 구축은 필수적이다. 또한, 정보수집과 제공수단의 고도화에 따라 필요한 정보를 최적의 매체를 통해 전달할 수 있는 멀티미디어 통신네트워크의 구축도 요구된다.

3. 충돌 경보 및 회피시스템

차량의 운전은 인지, 판단, 조작의 반복을 통해 이루어지며, 운전자가 이러한 각 단계에서 실수를 하게 되면 곧바로 사고로 이어질 수 있다. 충돌 경보 및 회피시스템은 이러한 운전자의 실수를 보완하기 위한 시스템으로서 전방의 장애물을 감지하거나 선행차량과의 차간거리를 측정하여 위험상황을 판단하고 운전자에게 신속한 대처를 요구하는 경보를 발생하며, 필요에 따라서는 자동 브레이크 조작을 통하여 감속을 행한다. 또한, 능동적인 충돌회피 노력으로서 옆 차선의 차량이 갑자기 끼어드는 경우와 같이 갑작스러운 장애물의 출현으로 인한 불가피한 충돌상황이 예상되는 경우에 긴급한 차선변경기동을 행함으로써 충돌을 회피할 수 있다.

이 시스템에서는 자동감속과 차선변경기동, 즉, 횡방향의 제어가 동시에 이루어져야 할 필요가 있으며, 안전한 차선변경을 위해서는 변경하고자 하는 차선의 교통상황 즉 변경차선의 진행차량에 대한 정보도 센서를 통해 측정할 필요가 있다.

3.1 충돌위험판단

충돌경보시스템에서 중요한 정보는 자기차량의 주행상태와 선행차와의 상대거리, 속도 및 가속도 정보인데, 센서를 통해 측정된 선행차와의 차간거리를 바탕으로 선행차와의 상대속도 및 가속도를 추정해내야 한다. 충돌위험의 판단은 많은 요인들을 고려해야 하고 주행환경에 따라 달라지므로 1개의 수식으로 표현되기는 매우 어렵다. 따라서, 퍼지추론기법과 신경망학습을 이용하여 다양한 주행상황에 있어서의 운전자의 운전특성을 학습과 추론을 통하여 파악하는 과정이 필요하다.

3.2 자동감속에 의한 충돌회피

자동 브레이크는 충돌을 방지하기 위한 긴급수

단으로, 작동판단에는 충돌을 방지하기 위해 필요한 최소한의 차간거리를 이용한다. 이러한 임계차간거리는 운전자의 운전특성에 관계없이 자기차량의 제동능력과 선행차와의 상대운동에 의해 결정되며 이를 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다^[18].

$$v_s < v_r \frac{A_s}{(A_s - a_r)} \text{인 경우:}$$

$$D_s = \frac{v_r^2}{2(a_r - A_s)} + L \quad (1)$$

$$v_s > v_r \frac{A_s}{(A_s - a_r)} \text{인 경우:}$$

$$D_s = \frac{(v_s + v_r)^2}{2a_r} - \frac{v_s^2}{2A_s} + L \quad (2)$$

여기서, D_s 는 임계차간거리, v_r 은 상대속도, v_s 은 자기차량의 속도, a_r 은 상대가속도, A_s 은 자동 브레이크 감속도, L 은 여유 차간거리를 각각 나타낸다. 식 (1)은 선행차와의 상대속도가 작아서 자기차량이 정지하기 전까지 선행차와 동일한 속도로 감속할 수 있는 경우이며, 식 (2)는 상대속도가 커서 자기차량이 정지하기 전에 선행차가 정지하는 경우에 적용될 수 있다. 여기서, 자동 브레이크의 감속능력을 나타내는 A_s 는 차량의 중량, 타이어의 상태, 노면과의 마찰계수 등의 파라미터의 영향을 받게 되어 주행상황에 따라 변화할 수 있는데 이 값을 정확하게 추정해내는 방법에 대한 연구가 앞으로 필요하다.

3.3 차선변경에 의한 충돌회피

차선변경을 통한 충돌회피는 복잡하고 다양한 상황을 모두 고려하여 가장 안전한 기동을 계산하는 고도의 판단(decision making) 알고리즘이 필요하며, 이는 전문가시스템이나 인공지능에 관련된 기술이 필요하다. 또한, 주행 중에 이러한 충돌위험은 이산사건(discrete event)적으로 발생하게 되므로 보다 효율적인 제어를 위해서는 하이브리드(hybrid) 시스템적 접근도 필요하게 된다.

4. 군집주행

군집주행은 PATH 프로젝트에서 주로 연구되고 개발된 차량주행시스템으로 하나의 집단에 속하는 두 대 이상의 차량이 서로간에 짧은 차간 간격을 유지하면서 고속으로 주행하는 방식이다. 따라서

기존의 도로를 확장하지 않고도 차량의 흐름을 원활히 하여 도로의 차량 수용량을 현재보다 훨씬 높은 수준으로 증가시킬 수 있게 된다. 또한 운전자에게 쾌적하고 안전한 운행을 제공하고, 추종 차량의 공기역학적인 저항의 감소로 인해 연료소비의 감소 및 공해배출의 감소 등과 같은 부가적인 이점들을 얻을 수 있다.

군집주행 시스템은 단순한 차간거리유지를 위한 제어와는 달리 차량간의 통신연결을 필요로 한다. 즉, 차량간의 속도, 가속도 등의 정보를 서로 교환해야만 전체 차량군의 주행 안정성(string stability)이 보장된다.

4.1 차간 안전거리

먼저, Fig. 9에서와 같이 n 대의 차량으로 구성된 차량군을 생각하면, L_i 는 i 번째 차량의 길이와 S_0 는 초기의 차량간격을 각각 나타낸다. 또한 Δ_i 는 선행 차량($i-1$)의 후미로부터 추종 차량(i)의 선미까지의 실제거리를 나타내고, $S_d(t)$ 는 군집주행시 안전을 위해서 필요한 거리를 나타내므로 $\delta_i(t)$ 는 선행 차량과의 실제거리(Δ_i)와 안전거리($S_d(t)$) 사이의 차이를 가리키는 차간거리오차를 나타낸다. 추종 차량은 주행중의 모든 경우에 있어서 선행 차량이 갑자기 멈추었을 때 충돌을 피할 수 있는 충분한 안전거리를 유지하는 것이 반드시 필요하다. 따라서, i 번째 차량의 안전거리를 정의하면 다음과 같다.

$$S_d \equiv S_m + S_0, \quad (3)$$

여기서 S_m 는 선행 차량이 갑자기 멈추었을 때 추종 차량이 충돌을 피할 수 있는 최소한의 차간거리를 나타낸다.

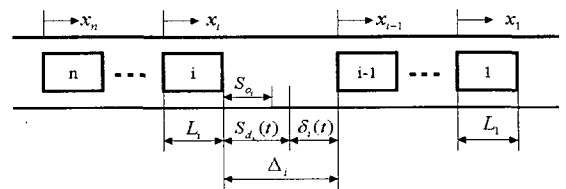


Fig. 9 Platooning model

그리고, S_0 는 안전 여유를 개선하기 위해 추가된 거리를 나타내며 다음의 식 (4)에서 보여지는 λ_3 에

해당한다. Ioannou와 Chien^[11]이 제안한 안전거리 규정을 근거로 식 (3)을 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$S_{d_i} = \lambda_1(v_i^2 - v_{i-1}^2) + \lambda_2 v_i + \lambda_3 \quad (4)$$

여기서, λ_1, λ_2 는 각각의 항들을 가중하기 위해 선정된 상수이다. 밀집된 상태의 군집주행이 이루어진다면(즉, v_i 가 거의 v_{i-1} 과 같다면), 식 (4)는 다음과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$S_{d_i} = \lambda_2 v_i + \lambda_3 \quad (5)$$

차량간의 실제거리는 $\Delta_i = x_{i-1} - x_i - L_i$ 이므로, 실제 차간거리에서 안전거리를 뺀 차간거리오차 δ_i 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\delta_i = x_{i-1} - x_i - L_i - (\lambda_2 v_i + \lambda_3) \quad (6)$$

군집주행에서 차량제어시스템은 최소한의 필요한 안전거리만을 유지하며 선행 차량의 속도를 잘 추종해야 하는데, 이를 위해서는 속도추종제어와 함께 식 (6)의 차간거리오차(δ_i)가 빠르게 0으로 수렴하도록 제어시스템을 설계하여야 한다.

5. 차량항법과 교통정보서비스

최근 국내에도 널리 보급되기 시작하고 있는 차량항법시스템은 차량의 현재위치정보와 디지털 지도를 이용하여 차량운행에 필요한 여러 가지 정보를 제공할 수 있다. 즉, 목적지까지의 최단시간 및 최단거리경로를 알려주며, 통신네트워크환경 하에서는 실시간으로 도로교통상황, 즉 정체구간 등에 관한 정보를 운전자에게 제공함으로써 보다 효율적인 도로이용을 꾀할 수 있는 시스템이다.

5.1 위치측정시스템

위치측정방법에는 근래에 그 이용이 다양해지고 있는 GPS를 이용한 위성항법과 차량에 장착된 차륜센서, 자이로 및 가속도센서를 이용한 추측항법이 있다. 최근 SA(Selective Availability)가 제거된 GPS신호는 그 위치측정오차가 20m이하로 감소하였지만, 고도의 차량항법기능을 제공하기에는 아직 부족한 정밀도를 보이고 있다. 따라서, 보다 향상된 정밀도를 얻기 위해서 기준국으로부터 제공되는 DGPS 보정신호를 이용하는 실시간 DGPS기법으로 2m이하의 위치오차를 구현할 수 있으며, 기존의 추

측항법을 병용한 저가의 하이브리드식 위치측정시스템에 대한 연구도 필요하다.

5.2 지리정보시스템

보다 정확한 GIS(Geographic Information Systems)정보를 바탕으로 한 디지털지도의 제작에 대한 요구가 절실하며 운전자와의 인터페이스를 향상시킨 3차원 디지털 지도에 대한 요구도 높아지고 있다. 가까운 미래에 IMT2000과 같은 고도의 초고속 무선통신환경이 구축된다면 웹GIS서버로부터 실시간으로 GIS정보를 제공받아 차량항법에 필요한 디지털지도를 생성할 수 있으므로 해서 기존의 CD-ROM과 같은 저장매체가 필요 없게 되며 계속적으로 변화하는 GIS데이터의 업그레이드도 용이하게 된다.

5.3 교통정보서비스

효율적인 도로교통관리를 위해서는 운전자에게 도로교통에 관한 정보를 제공하는 것이 필수적이다. 도로와 교통상황을 실시간으로 모니터링하여 얻어진 정보를 무선통신환경을 이용하여 수집하고 중앙의 서비스센터에서 이들 정보를 처리하여 실제로 운전자에게 필요한 정보를 비이콘, FM다중방송, 도로-차량간 통신 등의 무선통신을 통하여 제공하는 시스템이다. 대표적인 예로 VICS(Vehicle Information and Communication System)가 있으며, 일본에서는 이미 VICS단말기가 2000년 9월 기준으로 220만대 이상 보급되어 있고 서비스지역도 거의 전국적으로 확대되고 있는 실정으로 그 실용화에 있어 가장 앞서고 있다^[11].

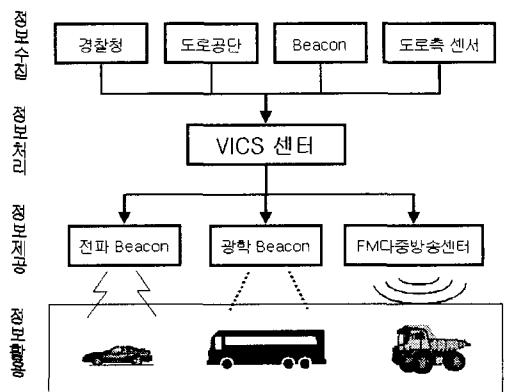


Fig. 10 Structure of VICS

6. 결론

본 고에서는 ITS를 구현하는데 기반이 되는 계측제어 및 통신기술에 대해서 개괄적으로 살펴보고, 또한 실제 구현될 수 있는 몇 가지 대표적인 시스템에 대해 살펴보았다. 본 글이 가까운 미래에 실현될 새로운 교통시스템인 ITS에서의 계측제어 및 통신공학자들이 담당해야 할 기술개발 및 연구분야를 조망해 보는데 적으나마 도움이 되기를 기대한다.

참고문헌

1. (社)交通工学研究会, ITS-インテリジェント交通システム, 丸善株式会社, 1997.
2. Varaiya, P., "Smart Cars on Smart Roads: Problems of Control," IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 38, No. 2, pp. 195-207, 1993.
3. Fenton, R. E., "IVHS/AHS: Driving into the Future," IEEE Control Systems Magazine, Vol. 14, No. 6, pp. 13-20, 1994.
4. Shladover, S. E., Desoer, C. A., Hedrick, J. K., and Tomizuka, M., "Automatic Vehicle Control Developments in the PATH Program," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 1, pp. 114-130, 1991.
5. Fritz, H., "Longitudinal and Lateral Control of Heavy Duty Trucks for Automated Vehicle Following in Mixed Traffic: Experimental Results from the CHAUFFEUR Project," Proc. of the 1999 IEEE International Conference on Control Applications, pp. 1348-1352, 1999.
6. Highway Industry Development Organization of Japan, ITS Hand Book 2000-2001, 2000.
7. Japan Ministry of Construction and AHSRA, Outline of Advanced Cruise-Assist Highway Systems, 2000.
8. Tsugawa, S., "An Overview on Control Algorithms for Automated Highway Systems," Proc. of the IEEE/IEEJ/JSAI International Conference on Intelligent Transportation Systems, pp. 234-239, 1999.
9. Hohman, D., Murdock, T., Westerfield, E., Hattox, T., and Kusterer, T., "GPS Roadside Integrated Precision Positioning System," Proc. of the IEEE 2000 Position Location and Navigation Symposium, pp. 221-230, 2000.
10. Omae, M., and Fujioka, T., "DGPS-Based Position Measurement and Steering Control for Automatic Driving," Proc. of the American Control Conference, pp. 3686-3690, 1999.
11. Ioannou, P. A., and Chien, C. C., "Autonomous Intelligent Cruise Control," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 42, No. 4, pp. 657-672, 1993.
12. Swaroop, D., and Hedrick, J. K., "Direct Adaptive Longitudinal Control of Vehicle Platoons," Proc. of the 33rd IEEE Conference on Decision and Control, pp. 684-689, 1994.
13. Guldner, J., Utkin, V. I., and Ackermann, J., "A Sliding Mode Control Approach to Automatic Car Steering," Proc. of the American Control Conference, pp. 1969-1973, 1994.
14. Wang, J.-Y., and Tomizuka, M., "Robust H_{∞} Lateral Control of Heavy-Duty Vehicles in Automated Highway System," Proc. of the American Control Conference, pp. 3671-3675, 1999.
15. Tank, T., and Linnartz, J.-P. M. G., "Vehicle-to-Vehicle Communications for AVCS Platooning," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 46, No. 2, pp. 528-536, 1997.
16. 최재원, 황태현, 김영호, "차량 군집주행을 위한 제어 네트워크의 변수 추정 및 제어," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제6권, 제8호, pp. 659-665, 2000.
17. Andrisano, O., Tralli, V., and Verdone, R., "Millimeter Wave for Short-Range Multimedia Communication Systems," Proc. of the IEEE, Vol. 86, No. 7, pp. 1383-1401, 1998.
18. 伊東俊夫, 荒木秀夫, "追突防止技術," 計測と制御, Vol. 36, No. 3, pp. 187-189, 1997.