

## 자동차 추돌경보 시스템 개발을 위한 컴퓨터 비전과 레이저 레이더의 응용

### An Application of Computer Vision and Laser Radar to a Collision Warning System

이 준 응\*

Joonwoong Lee

#### ABSTRACT

An intelligent safety vehicle (ISV) should have an ability to predict the possibility of an accident and help a driver avoid the accident in advance. The basic function of the ISV is to alert the driver by warning when the collision is to occur. For this purpose, the ISV has to function efficiently in sensing the environmental context. While image processing provides lane information, laser radar senses road obstacles including vehicles. By applying a simple clustering algorithm to radar signals, it is possible to obtain the vehicle information. Consequently, we can identify the existence of the vehicle of interest on my lane. The reliability of the sensing algorithm is evaluated by running on the highway with a test vehicle.

주요기술용어 : Intelligent Safety Vehicle(지능형 안전자동차), Collision Warning(추돌경보), Computer Vision(컴퓨터비전), Radar Signal Processing(레이더 신호처리)

#### 1. 서 론

지능형 안전자동차는 1) 운전자의 인식·판단 기능을 보조하여, 사고 위협의 능동적인 예방 및 피해감소, 2) 눈·비·안개등 악천후 하에서도 작동하는 전천후 시스템, 3) 운전자의 불안감과 운전 부담을 줄여 편안한 운전의 지원을 목표로 개발된 차량으로서 이를 실현하기 위해서는 우선 차량이 스스로 주행환경을 인식할 수 있는 능력을 가져야 한다. 센서 및 컴퓨터 기술의 비약적인 발전은 수동적이고 소극적인 안전개념으로부터

미연에 사고를 예측하고 방지할 수 있는 능동적이고 적극적인 개념의 지능형 안전차량(ISV)의 개발을 현실화시키고 있다. 또한 엔진성능 향상에 따른 주행속도의 증가로 범퍼, 에어백(air bag)등 사고 후 사고피해의 최소화를 목표로 한 기존의 소극적 개념의 안전장치는 그 효능의 한계에 도달한 데다가 소비자들의 안전의식이 높아지면서 사고를 근본적으로 방지할 수 있는 안전장치에 대한 필요성이 제기되고 있다.

미국이나 일본, 유럽 등 자동차 선진국에서는 80년대 중반부터 ITS, PATH, ASV, PROMETHEUS등 국가적 또는 지역적 프로젝

\*정회원, 기아자동차 중앙연구소

트의 추진을 통하여 이러한 ISV 분야의 연구가 활발히 진행되고 있으며 실용화에 박차를 가하고 있다. 그리고 일부 기술은 최근에 상품화에 이르렀다. 국내의 경우도 90년대 이후 국가와 자동차 메이커에서 관심을 갖고 연구가 진행되고 있다.

추돌경보 시스템(collision warning system, CWS)은 ISV 기술의 기초적인 중요한 분야로서 자동차의 진행방향 전방에 차량의 유무를 식별하고, 충돌 또는 추돌 가능성을 판단하여 그 가능성이 인정될 때 운전자에게 효과적으로 경보를 보냄으로써 운전자에게 경각심을 불러넣어 사고를 미연에 방지하려는 기술이다. CWS 이후의 ISV 기술로서는 엔진과 구동계의 제어를 통해 차간거리를 일정한 간격으로 자동으로 유지해주는 ACC(adaptive cruise control)과 제동장치의 제어를 기반으로 하는 사고회피 시스템(collision avoidance system), 그리고 차량이 스스로 조향(steering)명령을 발생시키는 자율주행 시스템이 있다. 이외에도 차선이탈을 경보하는 차선이탈 경보시스템등이 ISV 기술의 범주에 속한다. 이러한 제어시스템의 공통적인 특징은 주행상황을 인식하고 인식된 정보를 바탕으로 액츄에이터(actuator)를 적절히 구동시켜 차량을 제어하는 것이다. CWS는 인식, 판단 그리고 경보라고 하는 세 단계의 기능으로 이루어지기 때문에 차량 유무의 식별뿐만 아니라 식별된 차량이 자동차의 주행차선상에 있는지 그리고 어느 정도 거리에 있는지, 어떤 속도로 주행하고 있는지 등을 검지할 수 있어야 한다. 이와 관련하여 본 논문에서는 “자차선위의 선행차량 인식”이라는 이슈를 중심으로 한 연구결과를 소개한다. 본 연구의 기본은 컴퓨터비전에 의한 차선인식과 거리계측기(range finder)인 레이더의 계측신호에 의한 차량인식으로 이루어진다. 그림 1은 CCD 카메라에 의한 차선인식시스템과 레이더에 의한 차량인식시스템 그리고 자동차의 운전정보를 검출하고 이들 정보를 결합하여 자차선 위의 선행차량 인식이라고 하는 목적을 달성하고자 하는 센서시스템과 그 역할을 묘사한 것이다.

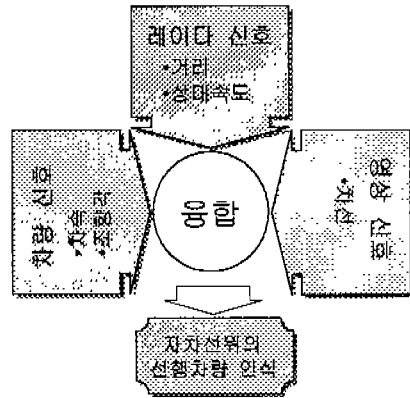


Fig. 1 Role of sensor system

CCD 카메라로부터 입력된 도로영상에서 차선을 인식하는 컴퓨터 비전시스템은 예측이 어려운 여러 가지 랜덤(random)한 잡음요인에 노출되어 있다. 즉, 다양한 날씨변화로 인한 조명조건의 변화, 일일 시간대별로 변화하는 조명조건, 도로의 마모에 의한 차선식별의 어려움, 앞차에 의한 차선가림, 터널의 입출구에서 광량의 급격한 변화, 램프로, 시골도로 및 고속도로등 여러 형태의 도로, 도로포장재질에 따른 빛에 대한 반사조건의 변화등 이루 헤아리기 어려운 만큼 많은 잡음요인이 있다. ISV 실현을 위한 차선인식 시스템은 이러한 도로교통 환경에서 신뢰성을 확보해야 한다는 점이 중요한 과제이다. [1]

현재 ISV의 거리계측용 레이더는 크게 레이저 빔의 송·수신에 의한 방법과 RF(radio frequency)파의 송·수신에 의한 두가지 방법으로 대별되고 있다. 일반적으로 레이저 레이더는 환경변화나 검출 대상의 오염등에 약한 특성을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 이를 극복하기 위한 방안으로 최근들어 77GHz 부근 대역의 밀리미터파(millimeter wave) 레이더 개발이 미국, 일본, 유럽등지에서 활발하게 이루어지고 있고, 국내에서도 최근 학계와 전장품 메이커에서 연구가 시작되었다. 하지만 두 방법 모두 각각의 장·단점을 가지고 있는 것도 사실이다. [4][9]

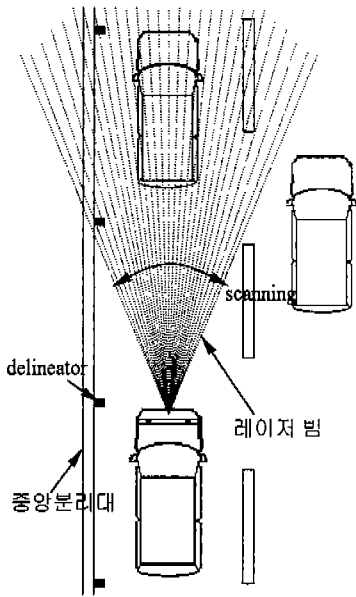


Fig. 2 Radar scanning

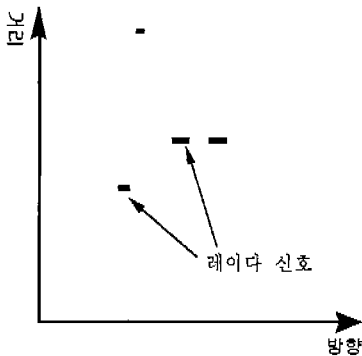


Fig. 3 Detected radar signal

본 논문에서는 오프론사에서 개발한 스캐닝(scanning)형식의 레이저 레이더를 차간거리 계측용 센서로 사용한다. 스캐닝은 그림 2에서 보인 바와 같이 이루어진다. 사용된 레이더는 좌우 200mrad의 계측범위를 갖는 것으로 도로폭 3.5m인 도로에서 17m 이상의 전방에서는 3개 차선정도가 계측범위내에 포함되며 신뢰성이 확보된 검지거리는 약 130m이다. 스캐닝은 1초에 10회 이루어지며 스캐닝 해상도는 2.5mrad이다. 따라서 1회의 스캐닝에 80개의 거리계측 데이터

가 산출된다.

그림 3에 보인바와 같이 레이더는 스캐닝 영역 내에서 차량만을 검지하는 것이 아니고 중앙분리대위의 델리네이터(delineator)등 레이저빔에 대한 반사특성이 양호한 장애물을 모두 검지하므로 검지된 신호로부터 어느 것이 실제 차량으로부터 검출된 것인지 식별하기 위해서 별도의 클러스터링(clustering) 알고리즘이 필요하다. 또한 식별된 차량들 가운데서도 어느 것이 자차량의 주행차선상에 있는지 판단이 필요하다. 이 문제는 CCD 카메라로부터 입력되는 도로영상으로부터 인식된 차선정보와 레이더 신호로부터 검출한 차량정보를 융합시킴으로써 해결될 수 있다.

다음 그림 4는 영상처리에 의한 차선인식과 레이더에 의한 차량인식, 그리고 두 정보의 융합결과를 표현하고 있다. 실제의 도로교통환경에서 자동차를 운전하면서 차량에 설치되어 있는 CCD 카메라와 레이저 레이더로부터 센싱되어 입력된 신호에서 각각의 인식 알고리즘을 통해 원하는 차선과 차량정보가 검출되고 융합알고리즘에 의해 서로 다른 좌표계에서 검출된 두 정보가 동일 도메인상에 결합되어 나타내어진다.

자동차 충돌경보 시스템은 1) 그림 4에서 설명한 바와 같이 센싱 및 융합알고리즘에 의하여 레이더 신호처리에 의해 식별된 차량들을 영상처리 과정을 통하여 얻은 주행차선별로 분류함으로써 자차의 주행차선상을 주행중인 차량을 검출하고, 2) 충돌경보알고리즘에 의하여 자차로부터 실질적으로 어떤 차량이 가장 큰 충돌 및 추돌 가능성을 가지고 있는지를 예측한다. 추돌가능성에 대한 예측은 센싱문제와 함께 CWS 구현의 양대축이다. [3][5] 본 논문은 센싱문제에 초점을 맞춘 것으로 추돌가능성의 예측 및 경보 알고리즘은 저자의 소속기관에서 발표한 참고문헌 [5]에 자세하게 소개되어 있다.

## 2. 선행차량 인식

### 2.1 레이더 데이터의 구성

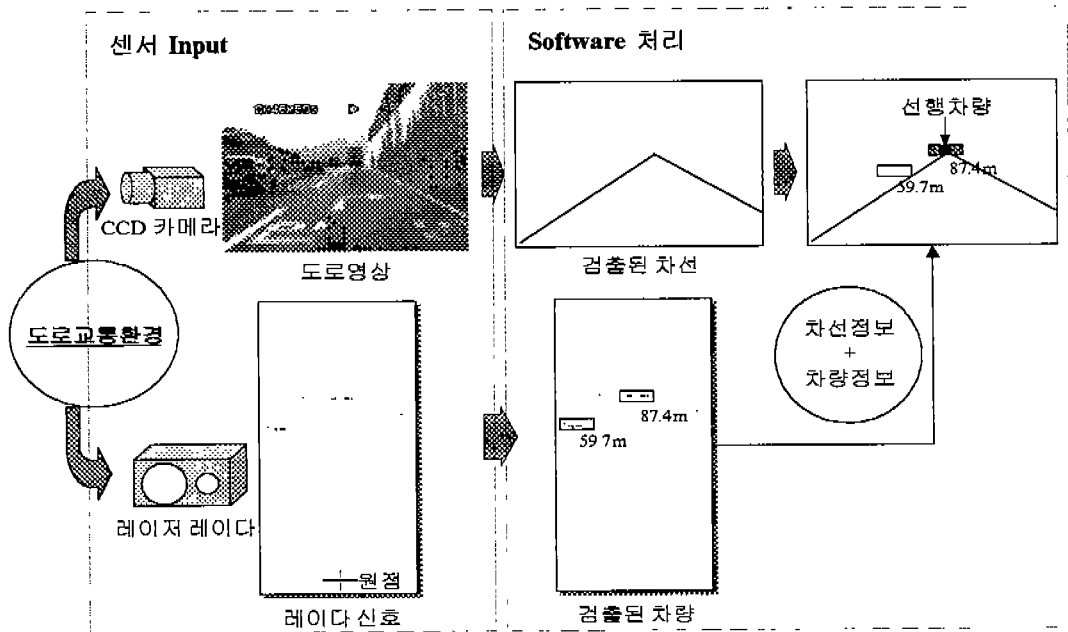


Fig. 4 Fusion of radar signal and image signal

레이더에서 출력되는 데이터는 3바이트 기준  
으로 하나의 패킷을 이룬다. 첫 번째 바이트는 스  
캔순서로 A1H~F4H로 표현되며 스캔방향각도  
를 나타낸다. 두 번째 바이트는 수신된 레이저빔  
의 수광강도, 그리고 세 번째 바이트는 검지된 거  
리를 표현하는데 사용된다. 실험에 사용한 레이  
더는 1회의 스캐닝에서 84개의 데이터 패킷을 제  
공하며 이 84개의 데이터 패킷을 하나의 데이터  
프레임으로 본다. 표 1은 레이더에서 얻은 데이  
터 프레임의 16진 형태로 보인 예다.

## 2.2 차량 검출

검출된 레이더 신호는 그림 3에서 보인바와 같  
이 각도와 거리의 극좌표계 형식이므로 검출된  
각각의 데이터를 x-y 직교좌표계로 변환한 후,  
변환된 각 신호간의 떨어진 거리를 구하여 차량  
의 군집된 특성을 이용하여 차량을 추출한다. 레  
이저빔은 차량 후미에 붙어 있는 리트로 리플렉  
터(retro reflector)에 대해 강한 반사특성을 갖  
기 때문에 선형차량이 존재한 곳에서는 다른 영

역에 비해 레이더 검출 신호가 많다. 군집된 특성  
이란 떨어진 거리가 짧은 신호가 집중적으로 많  
이 검출된다는 의미이다. 표 1에서 보면 스캔순  
서를 나타내는 첫 번째 바이트를 제외하고 나머  
지 2바이트의 값이 077FH인 데이터가 많음을 알  
수 있다. 077FH를 이진수로 나타내어 분석을 하  
면 수광강도는 0, 거리는 153.45m로 레이저빔이  
반사되지 않은 경우에 해당한다. 따라서 077FH  
의 경우는 데이터 처리부에서 제외한다. 그리고  
남은 데이터들이 차량에서 반사된 것이라면 군  
집된 특성을 가지고 있을 것이므로 이런 특성을  
갖지 않은 데이터는 잡음의 영향에 의해 발생한  
데이터로 판단하여 제거하면 차량의 위치는 판별  
할 수 있다. 즉, 현대의 차량에서 여러 개의 레이  
더 데이터가 발생 가능하므로 각 데이터들을 하  
나의 차량단위로 군집화(clustering)하는 방법이  
필요하다. 군집화기법은 지역화가 잘 되어 있다  
는 가정아래 다음과 같이 데이터간의 거리가 임  
계치보다 작으면 하나의 클러스터로 합치는 방법  
을 적용한다.

Table 1 A frame of radar data

A1077F	A2077F	A3077F	A4077F	A5077F	A6077F	A7077F	A8110B
A9310C	A9310C	AB310D	AC490D	AD390D	AE410D	AF490C	B0410D
B1490D	B2390D	B3390D	B4490C	B5510D	B6490D	B7410D	B8510D
B9390D	BA510D	BB490D	BC510D	BD510C	BE490D	BF510D	C0490C
C1510D	C2490C	C3077F	CA077F	CS077F	C6077F	C7077F	C8077F
C9490D	CA490D	AB490D	CC410D	CD490D	CE410D	CF490D	D0410D
D1410D	D2490D	D3390D	D4390D	D6310D	D6290D	D7210E	D8110E
D9210D	DA490D	DB077F	DC077F	DD077F	DE077F	DF077F	EE077F
E1090B	E20106	E3077F	E4090A	E5210B	E6110A	E73077	E84877
E94877	EA4877	EB077F	EC077F	ED077F	EE077F	FF077F	EE077F
F1077F	F2077F	F3077F	F4077F				

```
do i=1... MaxData-1; {
  do j=i+1 ... MaxData;
    if(Distance(Di,Dj) < 임계치)
      Clusteri = Clusterj
  }
```

여기서 MaxData는 검출된 레이더 신호의 수량이고, Distance(x,y)는 각 데이터간의 유클리디안 거리를 의미하며 임계치는 차량의 폭을 이용하여 결정된 실험값이다.

군집화기법을 조금 상세하게 정리하면 다음과 같다. 처음 레이더 신호가 입력되었을 때 모든 신호를 차량에 관련된 신호로 간주하고, 각각의 신호에 토큰 t<sub>k</sub>를 할당한 후 토큰매칭 과정을 통하여 매칭기준을 만족시키는 토큰에 한하여 차량후보로 선정한다. 토큰 매칭은 다음과 같은 간단한 세 가지 조건을 부여하여 토큰들을 차량의 후보군으로 분류해 낸다.

● 거리조건-1

토큰 t<sub>i</sub>와 t<sub>j</sub>에 대하여(i ≠ j)

$$Dist_1(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } |t_i - t_j| < \delta \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

를 만족하면 두개의 토큰은 통합된다. 모든 토큰에 대하여 거리조건-1을 만족시키는 것이 없을 때까지 루프(loop)를 실행한다. 만약, 어떤 토큰 t<sub>k</sub>가 이 조건을 끝까지 만족하지 않을 경우 차량

후보군에서 제외된다.

● 상대속도조건

거리조건-1을 만족하여 차량 후보군에 속해 있는 토큰 t<sub>i</sub>와 t<sub>j</sub>에 대하여

$$Rvel(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } |R_{t_i} - R_{t_j}| < \varepsilon \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

를 만족하면 다음의 거리조건-2를 만족하는지 체크한다. 여기에서 R<sub>t<sub>i</sub></sub>는 토큰 t<sub>i</sub>의 상대속도로서 연속된 두 프레임 사이의 거리의 차를 샘플링시간으로 나눈 값을 취한다. 즉,

$R_{t_i} = \frac{P_i(k-1) - P_i(k)}{T_s}$  로 주어지며 T<sub>s</sub>는 샘플링시간을 나타낸다.

● 거리조건-2

$$Dist_2(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } |t_i - t_j| < \Omega \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기에서 Ω는 토큰 t<sub>i</sub>와 t<sub>j</sub>가 포함될 수 있는 검색영역이다. 모든 토큰에 대하여 상대속도 조건과 거리조건-2를 만족시키는 것이 없을 때까지 루프(loop)를 실행한다. 만약, 어떤 토큰 t<sub>k</sub>가 이 두 조건을 끝까지 만족하지 않을 경우 차량 후보군에서 제외된다. 차량검출에 이용한 군집화 기법은 참고문헌 [6]과 [7]에 잘 묘사되어 있다.

### 3. 영상처리에 의한 차선인식

컴퓨터비전은 인간이 직접 관측할 수 없는 곳까지 인간의 시각기능을 대신하여 관측하고, 2차원 투영(projections)으로부터 3차원 씬(scene)에 대한 유용한 정보를 얻어낸다. 현재 그 응용분야는 산업, 우주, 국방, 교통, 의용, 멀티미디어, 민생등 여러 방면으로 늘고 있다. 비전시스템은 머신 비전, 로봇 비전, 컴퓨터 비전등 여러 이름으로 불려 지고 있지만 기본개념은 동일하며 연산기능을 가진 프로세서에서 영상처리를 근간으로 한다. [1]

본 논문에서 컴퓨터비전은 차량의 실내에 설치

되어 있는 흑백의 CCD 카메라로부터 입력되는 전방의 도로영상으로부터 차선인식을 위해 응용된다. 사람이 운전중에 차선을 잘 따라가는 것은 차선에 대한 다음의 세가지 사실적 증거(evidences)를 잘 이용하기 때문이라고 여겨진다. 1) 차선의 방향은 급격하게 변하지 않는다. 2) 차선의 위치는 급격하게 변하지 않는다. 3) 차선의 경계는 밝기분포가 다른 두 영역을 나누는 곳에 있다. 도로상에서 차선 외에 어떠한 표식이나 잡음도 이 세가지 사실을 동시에 그리고 지속적으로 만족시키기는 경우는 드물다. 물론 사람이 운전할 때 이 세가지 사실만을 이용하는 것이 아니고 선행차량의 주행방향이나 도로상의 지형지물 그리고 경험적 직관등도 이용하지만 영상처리에 의해 이러한 정보를 추론하는 것은 아직은 어려운 일이다. 사람도 차선식별이 거의 어려운 곳에서 이러한 정보마저 이용할 수 없다면 운전은 곤란할 것이다.

논문에서 제안하는 차선인식 방법은 단안(monocular)의 흑백영상에서 에지(edge)라는 특징을 추출하고, 에지가 가지고 있는 물리적 성질에 기반하여 도로차선에 대한 상기 세가지 사실적 증거를 추론하는 것을 기본 개념으로 하고 있다. 그러나 에지와 같은 영상의 특징(feature)에 기반한 기존의 차선인식 방법은 다양하게 발생하는 영상의 외적 잡음요인뿐만 아니라 외관상 도로차선의 경계처럼 보이는 많은 유사특징치의 존재, 임계값결정의 휴리스틱스, 과도한 계산량등에 의하여 신뢰성확보 및 실시간 처리에 많은 애로를 겪는다. 현존하는 영상처리기술로 이와 같은 문제를 완전하게 극복할 수 있는 차선인식 알고리즘의 제안은 쉬운 일이 아니지만 목적에 부합된 최선의 알고리즘을 개발하는 노력은 널리 이루어지고 있다. [1][8]

에지는 이론적으로 밝기값의 함수로 표현된 영상의 경사도(gradient)에 의해 정의한다. 차선의 경계는 위에서 언급한 도로차선의 세 번째 사실적 증거에 의해 밝기값의 경사도가 큰 곳에 존재할 가능성이 높다. 이 사실은 에지가 차선을 잘

표현할 수 있음을 뒷받침한다. 영상의 어떤 한 점  $(x,y)$ 에서 영상  $f(x,y)$ 의 에지는 다음 벡터로 표현된다. [1]

$$\nabla f = [G_x, G_y]^T = \left[ \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (4)$$

이 벡터의 중요한 물리량은 다음의 (5)와 (6) 식으로 표현된 크기(magnitude)와 방향(direction)이다.

$$\nabla f(x,y) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \quad (5)$$

$$\alpha(x,y) = \tan^{-1}(G_y/G_x) \quad (6)$$

에지는 미분에 의해 얻어지는 특징이므로 잡음에 민감한 성질을 보인다. 따라서 에지가 가지고 있는 특징을 재처리 없이 단순하게 이용한다면 유사특징이 혼재된 잡음속에서 차선의 경계에 속한 에지만을 찾아내는 일은 참으로 어려운 것이다. 이러한 본질적인 문제를 극복하기 위하여 에지의 두가지 물리량을 다음과 같은 방법으로 재처리하여 차선정보를 추출하는 것이 논문에서 제안하는 차선인식 방법의 기본 아이디어이다. 재처리과정은 다음과 같이 이루어진다. 1) 차선에 관련된 에지픽셀들을 가능한 한 부각시키기 위하여 크기가 작은 에지픽셀들은 제거한다. 이 때 반드시 수반되는 한가지 문제점이 문턱치(threshold value) 선정에 관련된 것이다. 컴퓨터비전 분야에서 이 문제에 대한 명확한 해는 아직까지 제시되지 않고 있지만, 본 논문에서는 사용자의 개입없이 알고리즘이 스스로 입력영상의 밝기 변화에 적응(adaptive)될 수 있는 문턱치 선정방법을 제시한다. 먼저 입력되는 영상 프레임마다 영상의 하단 중앙부에 일정한 크기의 사각형 영역  $\Omega$ 을 택하여 이 영역 내의 에지픽셀들의 크기의 평균과 표준편차를 다음 (7)과 (8)식에 의해 계산한다.

$$\mu = \frac{1}{|\Omega|} \sum_{(x,y) \in \Omega} \nabla f(x,y) \quad (7)$$

$$\sigma = \left\{ \frac{1}{|\mathcal{I}|} \sum_{(x,y) \in \mathcal{I}} (\nabla f(x,y) - \mu)^2 \right\}^{1/2} \quad (8)$$

여기에서  $|\mathcal{I}|$ 는  $\mathcal{I}$ 의 면적을 나타낸다. 최초로 입력된 프레임에 대해 예측된 문턱치  $\hat{\tau}_0$ 는 식 (7)과 (8)의  $\mu$ 와  $\sigma$ 의 합으로 설정하고 그 후 입력된 임의의  $k$ 번째 프레임에서는  $\mu$ ,  $\sigma$  그리고  $\tau$ 를 지수적 가중평균에 의해 다음과 같이 갱신한다.

$$\begin{aligned} \hat{\mu}_k &= (1-\lambda)\hat{\mu}_{k-1} + \lambda\mu \\ \hat{\sigma}_k &= (1-\lambda)\hat{\sigma}_{k-1} + \lambda\sigma \\ \hat{\tau}_k &= \hat{\mu}_k + \hat{\sigma}_k \end{aligned} \quad (9)$$

현재 식 (9)의  $\lambda$ 는 실험적으로 0.6으로 설정된 값을 사용한다. 이 방법 역시 어떤 이론적 근거는 없지만 차선검출에 기여하는 바는 크다. 2) 차선이 갖는 사실적 증거 1)과 2)에 근거하여 에지픽셀들의 크기를 방향에 대하여 누적시켜 본다. 이 때 얻은 누적분포함수 (cumulative distribution function, CDF)는 차선예지의 방향에 해당되는 각도의 근방에서 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 차선 이외의 예지는 방향에 대한 지속성과 연속성이 없기 때문에 CDF의 누적값이 크지 않다. 이 누적함수를 얻기 위하여 에지 추출시 식 (6)으로 표현된 예지의 방향  $\alpha(x,y)$ 를 0°부터 180° 사이에서 1° 단위로 나타낸다. 실제로 영상에서 보이는 차선은 소실점(vanishing point) 이상의 영역에 존재하므로 소실점 이상의 영역의 에지픽셀들을 대상으로 누적함수  $H(d)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$H(d) = \sum_{\pi(d)} \nabla f(x,y) \quad (10)$$

여기에서  $d$ 는 예지의 각도  $\alpha(x,y)=d$ 를 가리키며,  $\pi(d)$ 는  $\alpha(x,y)=d$ 를 갖는 에지픽셀들의 수량이다. 처리영역 설정시 사용된 소실점의 계산에 대해서는 참고문헌 [3]에 잘 설명되어 있다.

3) 식 (10)의 누적분포함수는 단일영상에서 얻은 값이므로 잡음이 많이 내재된 영상에서는 잡음의 영향으로 차선방향에 대응되는 각도 근방에서 누적값이 크게 두드러지지 않을 수도 있다. 따라서 연속된  $N$ 개의 영상에 대해 이동평균의 원리에 따라 식 (10)의 누적함수를 다시 누적시키면 잡음의 효과는 거의 사라지고 차선의 방향성이 보다 명확하게 나타난다. 편의상 우리는 이 함수를 평균누적함수라 명명한다.

$$\Xi(d) = \frac{1}{N} (H_k(d) + H_{k-1}(d) + \dots + H_{k-N+1}(d)) \quad (11)$$

여기에서  $k$ 는 현재 프레임을 나타낸다. 4) 다음은 평균누적함수의 극부 최대값에 해당되는 각도를 찾고 이 각도값을 가지고 있는 에지픽셀들을 모아 산점도(scatter diagram)를 형성한다. 통계학에서는 산점도의 선형성을 확인하기 위하여 대개 최소자승법을 적용하는데 반해 논문에서는 최소자승법 대신에 참고문헌 [2]에 제시된 주축(principal axis)에 기반한 라인 근사화(fitting)법을 적용하여 선분을 얻는다. 이렇게 얻은 선분이 바로 검출하고자 하는 차선정보를 나타낸다. 주축에 기반한 차선검출 과정은 참고문헌 [1]에 상세하게 기술되어 있다.

#### 4. 실험결과

차선 및 차량인식을 위해 본 논문에서 제안된 알고리즘에 대한 신뢰성 평가는 그림 5에 보인 실험차량으로 평균속도 100km/h로 고속도로 및 일반도로를 주행하면서 ON-LINE으로 이루어졌다. 차량내에 설치된 흑백 CCD카메라는 전방의 주행환경을 촬영하여 비디오 데이터로 컴퓨터에 입력시키고, 범퍼외의 그릴안쪽에 설치되어 있는 레이저 레이다는 전방의 장애물과 자차량간의 거리를 계측한다. 본 실험에서 레이저 레이다와 컴퓨터간의 통신은 RS232C 방식을 이용하여 이루어지고 있다.

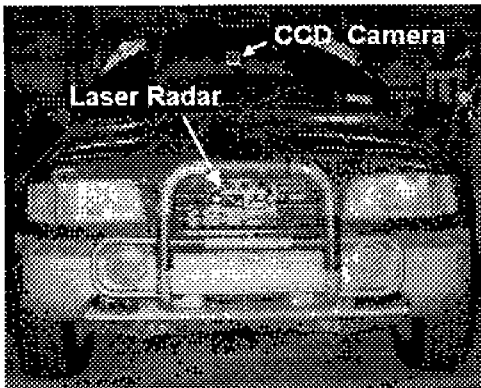


Fig. 5 Experimental Vehicle

#### 4.1 차선검출

그림 6은 여러 형태의 도로와 환경조건하에서 차선인식 알고리즘을 적용하여 얻은 실험결과이다. 첫 번째 그림은 도로폭이 좁은 교외의 도로를 주행하면서 얻은 결과이고, 두 번째 그림은 고속도로의 터널 내부에서 얻은 결과이며, 세 번째 그림은 고속도로의 휘어진 구간에서 얻은 결과이고, 네 번째 그림은 도로상에 글자와 차선이외의 마크가 새겨진 경우에 있어서의 차선인식 결과를 나타낸 것이다. 그리고 다섯 번째와 여섯 번째의 그림은 비가 올 때와 어두운 야간 환경에서 차선인식을 수행한 결과를 소개한 것으로 윈도우 브러쉬의 운동, 빗물, 어두운 조명으로부터 기인한 잡음요소들이 육안으로도 식별된다. 그림 6에서 알 수 있는 바와 같이 도로형태가 바뀌고 환경조건 변화에도 불구하고 제안된 알고리즘에 의해 양호한 차선인식결과를 얻을 수 있다는 것을 확인하였다.

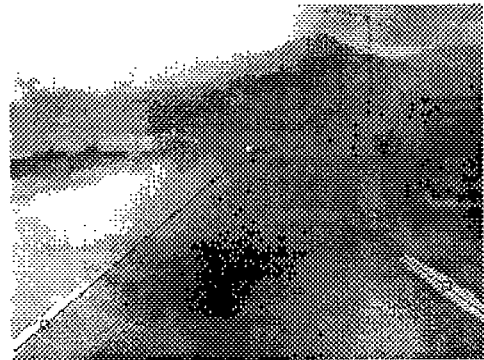
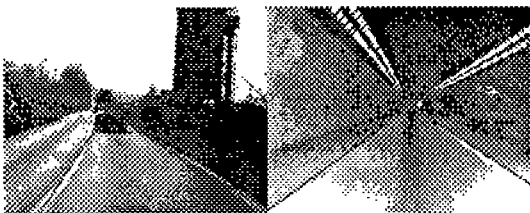


Fig. 6 Lane recognition

#### 4.2 차량검출

그림 7은 레이저 레이다로부터 검출한 거리측정 데이터를 가지고 선행차량을 인식한 결과를 보여 주고 있다. 그림 7(a)는 그림 2와 같은 도로주행 상황에서 2절에서 보인 표 1과 같은 레이더 데이터 프레임을 취득하여 077FH와 같은 무용한 데이터를 버리고 남은 한 프레임의 데이터를 표시한 것이다. 그림 7(b)의 사각형들은 이를 대상으로 논문에서 제안한 군집화 알고리즘을 적용하여 차량을 추출한 결과를 계측된 거리와 함께 나타낸 것이다. 군집화 알고리즘에 사용된 차량 폭의 크기에 대한 임계치는 실험적으로 2m로 선정





하였다. 즉, 직교좌표계로 변환된 후의 레이더 신호간의 좌우 거리의 차가 2m이내이면 동일 차량으로부터 반사된 신호로 간주했음을 의미한다.

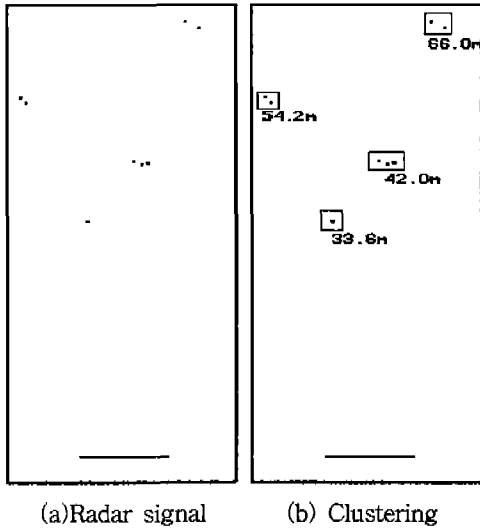


Fig. 7 Leading vehicle recognition by radar

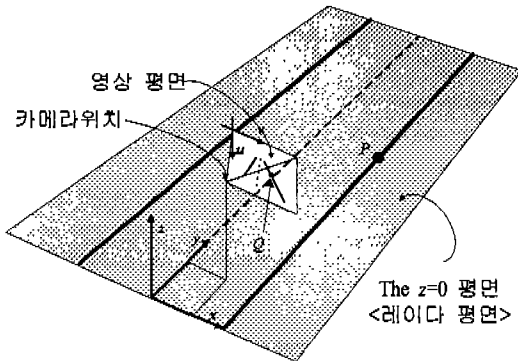


Fig. 8 Radar and image Coordinate system

### 4.3 인식된 차선과 차량정보의 융합

두 정보의 융합에 대한 상세한 기술은 참고문헌 [3]에 서술되어 있다. 두 정보는 서로 다른 좌표계에서 얻은 결과이므로 좌표계변환을 통해 동일 좌표계에서 정보를 나타내야 한다. 이는 그림 8과 같은 2차원의 투영 도메인, 즉 영상평면상에서 얻은 차선정보를 카메라 캘리브레이션 데이터에 의해 월드좌표계에 역투영시키거나 또는 그

반대로 월드좌표계의 레이더 데이터를 영상평면 상으로 투영시킴으로써 이루어진다. 논문에서 월드좌표계의 원점은 레이저 빔의 송신점에 두었는데, 그 이유는 이 점이 차량의 범퍼의 선단부의 위치와 거의 일치하기 때문이다.

그림 9의 실험결과가 차선정보와 차량인식 정보의 융합결과인데 이는 영상평면상에서 얻은 차선정보를 카메라 캘리브레이션 데이터에 의해 월드좌표계에 역투영시킴으로써 얻은 것이다. 상단부는 영상처리에 의해 얻은 차선을 입력영상위에 표시한 것이고, 하단부가 바로 차선정보의 역투영에 의해 차선정보를 월드좌표계로 변환한 후 두 정보를 월드좌표계의 원점을 기준으로 표시한 것이다. 그림 9의 하단부에서 타원은 차차선상의 차량을 나타낸 것이며, 중앙의 두 개의 실선은 역투영된 차차선을 표현한 것이고, 점선은 그림 2에서와 같이 레이더의 스캔영역 200mrad을 표시한 것이다.

## 5. 결론

본 논문에서는 CWS용 센서시스템의 구성 및 영상처리에 의한 차선인식 알고리즘과 레이더 신호의 군집화에 의한 차량검출 알고리즘을 기술하였다. 또한 실차 주행테스트 과정에서 얻은 실험결과를 통해 제안된 알고리즘의 강인성을 증명하였다. 특히, 차선검출용 영상처리 알고리즘은 도로의 형태나 차선표식의 형태에 국한되지 않은 일반성을 갖춘 알고리즘의 제한에 초점을 두었다. 하지만 조명조건의 다양성과 차선마크의 마모여부에 상관없이 시스템이 안정적으로 작동하기 위해서는 카메라와 렌즈에 대한 체계적인 연구와 Fail-Safe기능의 추가 등 많은 일이 남아 있다. 또한 레이더 입력정보로부터의 차량식별 알고리즘의 경우도 통신과정에서 수반될 수 있는 검출에러를 줄이기 위해 추적기능에 대한 보완과 더불어 검출 성능의 향상을 위해 군집화 알고리즘 외에 속도정보 및 조향각의 활용 등 더 많은 연구가 진행되어야 한다.

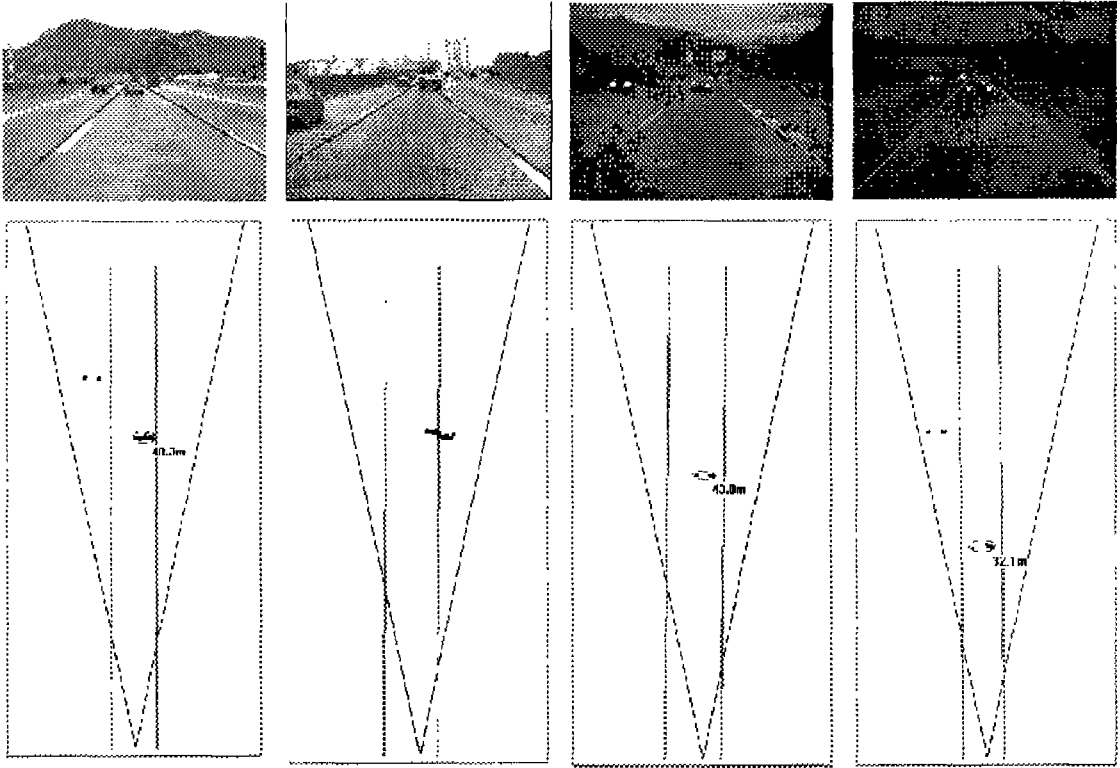


Fig. 9 Fusion of recognized lane and proceeding vehicles

### 참 고 문 헌

1. 이 준웅, "영상처리 기반의 차선인식 알고리즘," 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제4권, 제6호, pp. 631-636, 1998.
2. J. W. Lee and I. S. Kweon, "Extraction of line features in a noisy image," Pattern Recognition, vol. 30, no. 10, pp. 1651-1660, 1997.
3. 장 인수, 금 동교, 이 준웅, "센서퓨전을 이용한 선행차량 검지," 추계자동차공학회 학술대회 논문집, pp. 640-645, 1998.
4. 김 형우, 이 윤근, 이 준웅, 방 중철, "추돌경보를 위한 거리계측 오차 감소에 관한 연구," 추계자동차공학회 학술대회 논문집, pp. 877-882, 1997.
5. 김 성하, 김 동룡, 송 철기, 김 건상, 이 성철, "차간거리 경보장치의 실시간 제어

- 시스템," 제 6회 차세대자동차기술 논문집, pp. 379-384, 1998.
6. Kikuchi, Ishiyama, Nakajima, "Development of Laser Radar for Radar Brake System," AVEC '94, pp. 385-389, 1994.
7. Hiroshima, Araki, Ito, Nishioka, "Development of algorithm to recognize vehicles forward for laser radar," Society of Automotive Engineers of Japan, 9301719, 1993.
8. D. A. Pomerleau and T. Jochem, "Rapidly Adapting Machine Vision for Automated Vehicle Steering", IEEE Expert Intelligent Sys. and Their App., April, pp. 19-27, 1996.
9. 박 공만, "차간거리 경보시스템의 밀리미터웨이브 레이더 개발에 관한 연구," G7 과제 1단계 보고서-기아기술센터, 1998.