

논문 2011-06-21

도시 환경을 위한 센서 융합 기반 저속 근거리 충돌 경보 알고리즘 개발

(Development of Sensor Fusion-Based Low-Speed
Short-Distance Collision Warning Algorithm for Urban Area)

전 종 기, 김 만 호, 이 석*, 이 경 창

(Jong-Ki Jeon, Man-Ho Kim, Suk Lee, Kyung-Chang Lee)

Abstract : Although vehicles become more intelligent for convenience and safety of drivers, traffic accidents are increased more and more. Especially, car-to-car single rear impacts in the urban area are increased rapidly because of driver inattention. To prevent rear impacts in the urban area, commercial automobile vendor applies the low-speed short-distance collision warning system. This paper presents low-speed short-distance collision warning algorithm for the city driving by using sensor fusion of laser sensor and ultrasonic sensor. An experiment using embedded microprocessor in the driving track was used to demonstrate the feasibility of the collision warning algorithm.

Keywords : Intelligent vehicle(지능형 자동차), Collision warning algorithm(충돌 경보 알고리즘), Sensor fusion(센서 퓨전), Laser sensor(레이저센서), Ultrasonic sensor(초음파센서)

기호 설명

$V_m(k)$: 주행 차량의 속도
 $V_d(k)$: 전방 차량과의 상대속도
 $A_d(k)$: 전방 차량과의 상대가속도
 $D(k)$: 레이저센서에 의해 측정된 거리
 D_{max} : 최대 차간거리
 D_s : 최소 정지거리
 $C_S(k)$: 충돌위험도
 S_C : 충돌위험도의 변화 민감도

전자의 안전 운전을 보조하는 ADAS(advanced driver assistance system)와 운전자에게 다양한 정보를 제공해 주는 IVIS(in-vehicle information system)으로 구분되어 개발되고 있다 [3-5]. 지능형 자동차의 ADAS는 전방 충돌 상황이 발생할 때 속도를 줄이고 운전자에게 위험을 경보하는 ACC(adaptive cruise control)나 차선을 이탈할 때 차선을 유지하도록 하고 운전자에게 경보하는 LDWS(lane departure warning system)와 같은 기능을 운전자에게 제공한다 [6-10].

1. 서 론

운전자 및 승객의 안전성과 편의성을 향상시키는 지능형 자동차(Intelligent Vehicle)에 대한 관심이 증가되고 있다 [1-2]. 특히, 지능형 자동차는 운

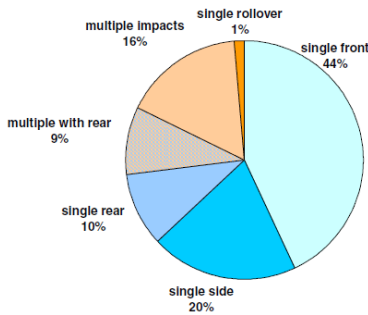
최근 V. Eis 등에 의하여 이루어진 1996년부터 2004년까지 독일에서 일어난 교통사고 통계 분석 연구에 따르면, 차량 간 후방 접촉사고(car-to-car single rear impact)는 전체 교통사고 중 10%이며, 이 중 70%가 도시 환경에서 발생하였다고 조사되었다 (그림 1(a)). 또한, 후방 접촉사고 시 차량속도 별 사고 발생 비율을 나타내는 그림 1(b)에서 보듯이, 차량 간 후방 접촉사고의 90%는 충돌한 차량(striking car)의 속도가 55km/h 이하, 충돌된 차량(struck car)의 속도가 20km/h 이하로 나타났다. 특히, 이러한 사고의 70%는 충돌한 차량의 속도가 30km/h 이하, 충돌된 차량의 속도가 15km/h 이하

* 이석(Corresponding Author)

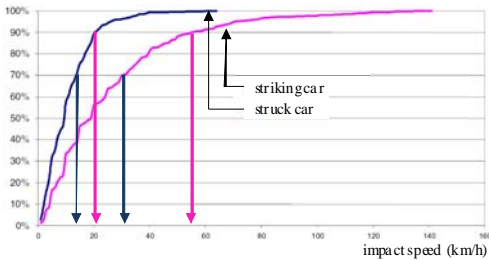
논문접수 : 2011. 04. 08., 수정일 : 2011. 05. 06.,
 채택확정 : 2011. 05. 06.

전종기, 김만호, 이석 : 부산대학교 기계공학부
 이경창 : 부경대학교 제어계측공학과

※ 본 논문은 부산대학교 자유 과제 학술연구비(2년)로 수행된 연구결과임.



(a) Distribution of impact types in passenger car accidents



(b) Impact speed of striking and struck car in single rear, car-to-car impacts

그림 1. 교통사고 통계 분석[11]

Fig. 1. Analysis of traffic accidents[11]

로 나타났다 [11-12].

이러한 시내 저속 주행 환경에서의 교통사고를 줄이기 위하여 상용 자동차업체를 중심으로 저속 근거리 충돌 경보/회피 시스템(low-speed short-distance collision warning/avoidance system)에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 가장 최초로 개발된 기술인 city safety 시스템 [13-14]은 차량 속도가 30km/h 이하에서 레이저센서를 이용하여 전방 6~8m 이내의 전방 장애물의 거리를 측정 한 후, 전방 장애물과 충돌할 가능성이 커지게 되면 운전자에게 경보를 울린다. 또한, 운전자의 의지로 전방 차량과 충돌을 회피할 수 없는 상황이라고 판단되면 자동으로 제동 시스템을 동작시켜 충돌을 회피하거나 최소화한다. 또 다른 연구로는 레이저 스캐너[15]를 이용하여 저속 주행에서 발생하는 충돌을 경보하거나 방지하는 기술도 발표된 바 있다.

그러나 city safety와 같은 레이저센서만을 사용하는 저속 근거리 충돌 회피 시스템은 레이저센서의 근거리 측정 정밀도가 높기 때문에 전방 장애물을 정확하게 검출할 수 있다는 장점이 있지만, 측정

각도가 좁기 때문에 옆 차선에서 진입하는 장애물을 정확하게 검출하지 못한다는 단점이 있다. 또한, 레이저 스캐너는 넓은 감지 범위로 인하여 옆 차선에서 진입하는 장애물을 검출할 수 있다는 장점이 있지만, 상대적으로 매우 고가라는 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 저속 근거리 충돌 회피 시스템이 가지고 있는 문제점을 보완하기 위한 방법으로서, 레이저센서와 초음파센서를 융합한 센서 융합 기반 충돌 경보 시스템(sensor fusion-based collision warning system)을 제안한다. 또한, 본 논문에서는 시속 30km/h 이하의 저속 주행 환경에서 정지거리를 기준으로 위험 단계를 구분하여 충돌 위험을 경보할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 마지막으로, 제안된 알고리즘을 내장형 시스템(embedded system)으로 차량에 구현하여 정차 상태와 주행 상태에서 적용 가능성을 평가한다.

본 논문은 서론을 포함하여 5장으로 구성되어 있다. 2장에서는 제안된 센서 융합 기반 저속 근거리 충돌 경보 시스템의 구조에 대해서 서술하고, 3장에서는 충돌 경보 알고리즘에 대해서 설명한다. 4장에서는 제안된 센서 융합 기반 충돌 경보 알고리즘을 구현하여 적용 가능성을 평가하고, 5장에서 결론 및 향후 연구 방향에 대해서 서술한다.

II. 센서 융합 기반 저속 근거리 충돌 경보 시스템의 구조

본 논문에서는 전방 차량 및 옆 차선에서 끼어드는 차량의 검출이 가능하도록 그림 2와 같은 센서 융합 기반 저속 근거리 충돌 경보 시스템을 제안한다. 그림에서, 충돌 경보 시스템은 전방 및 측방 차량이나 장애물을 검출하는 레이저센서(laser sensor)와 초음파센서(ultrasonic sensor), 충돌 경보 알고리즘이 내장된 ECU(electronic control unit), 위험 상황을 운전자에게 알려주는 경보 모듈(warning module)로 구성되어 있다.

전방 및 측방 장애물을 검출하기 위하여, 1개의 레이저센서와 4개의 초음파센서가 그림과 같은 높이(h1과 h2)와 간격(w1 및 w2)으로 설치된다. 먼저, 레이저센서는 원거리 장애물 측정에 사용되는 레이더 센서에 비하여 높은 근거리 측정 정밀도를 가지고 있다. 특히, 저속 근거리 충돌 경보 시스템은 저속이지만 근거리에서 동작하기 때문에 근거리 측정 정밀도가 높은 레이저센서를 사용하는 게 유효

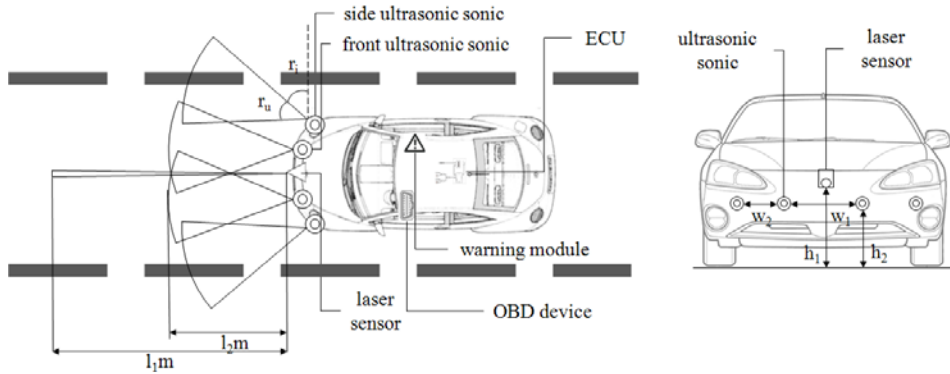


그림 2. 저속 근거리 충돌 경고 시스템의 구조

Fig. 2. Structure of low-speed short-distance collision warning system

센 효과적이다. 다음으로, 초음파센서는 측면 차량을 검출하기 위하여 사용된다. 레이저센서의 감지거리(11)는 초음파센서보다 길지만 감지 범위가 매우 좁은 반면(수 도(degree) 이내의 범위), 초음파센서는 레이저센서에 비하여 감지 거리(12)는 짧지만 감지 범위(r_u)가 상당히 넓다. 따라서 측면 초음파센서(side ultrasonic sensor)를 그림과 같이 r_i 의 각도를 가지도록 설치하고, 전면 초음파센서(front ultrasonic sensor)를 그림과 같이 정면을 바라보도록 설치하면 옆 차선에서 끼어드는 차량을 검출할 수 있을 뿐만 아니라, 레이저센서의 좁은 감지 범위가 미치지 못하는 곳에 위치한 보행자나 장애물도 검출할 수 있다.

다음으로, 차량의 정보를 수집하기 위하여 차량용 OBD 장치(on-board diagnostics device)가 사용된다. 차량용 OBD 장치는 자기 차량의 속도, 조향 및 제동 정보를 자동차의 CAN 네트워크로부터 수집한 후, 유선 또는 무선 통신을 이용하여 ECU로 전달한다. ECU는 이 정보를 바탕으로 차량의 상태를 판단한다.

마지막으로, 센서 융합 기반 저속 근거리 충돌 경고 알고리즘이 내장된 ECU는 레이저센서와 초음파센서의 정보, OBD 장치로부터 수신된 자기 차량의 정보를 이용하여 차량의 충돌 위험도(collision danger state)를 판단하는 기능을 담당한다. 그리고 나서, 경고 모듈을 이용하여 위험 상황에 따라 운전자에게 단계적으로 충돌 위험을 알려준다.

III. 센서 융합 기반 저속 근거리 충돌 경고 알고리즘

그림 3은 시내 주행에서 저속 근거리 충돌 경고 시스템을 위한 센서 융합 기반 충돌 경고 알고리즘을 나타내고 있다. 그림에서, 충돌 경고 알고리즘은 초기화 과정을 수행하고 주행 차량의 속도(vehicle speed, $V_m(k)$)를 측정된 후, 주행 차량의 속도가 제안된 충돌 경고 알고리즘이 동작되는 속도 범위 인지를 판단한다. 여기에서, 속도 범위는 city safety 시스템에서 사용되는 속도 범위와 동일한 30km/h로 설정되었다. 만약 주행 차량의 속도가 속도 범위를 넘어선 경우라면 충돌 경고 시스템은 동작되지 않는다(non-operation state). 반면, 주행 차량의 속도가 알고리즘 동작 범위 이내라면, 측면 초음파센서에 장애물이 검출되는지를 우선적으로 확인한다. 만약 측면 초음파센서에 의해 장애물이 검출되면 전면 초음파센서에도 장애물이 검출되는지를 검사한다. 여기에서, 측면과 전면 초음파센서가 동시에 ON되는 경우 측면 차량이 옆 차선으로부터 끼어들고 있는 상태로 간주하여 충돌(collision) 상태로 판단한다. 반면, 측면 초음파센서만 ON되는 경우 위험(danger) 상태로 판단한다.

초음파센서에 의해 장애물이 검출되지 않았을 때, 레이저센서를 이용하여 전방 장애물과의 거리를 측정한다. 만약 레이저센서가 ON되지 않는다면 전방에 장애물이 없는 것으로 판단한다. 반면, 레이저센서에 의해 장애물이 검출된다면, 유효한 직전 10개 값($D(k-9) \sim D(k)$)의 평균을 현재 값($D(k)$)으로 취하는 이동평균법(moving average method) [16]을 이용하여 레이저센서의 거리(distance, $D(k)$)를 결정한다. 이때 유효한 값이란 레이저센서에서 장애물이 검출되고 난 이후의 값을 의미한다. 즉, 이동평균법에서는 레이저센서로부터 값이 출력되고 난 후 5번째 값은 직전 5개($D(0) \sim D(5)$)의 값만을 이

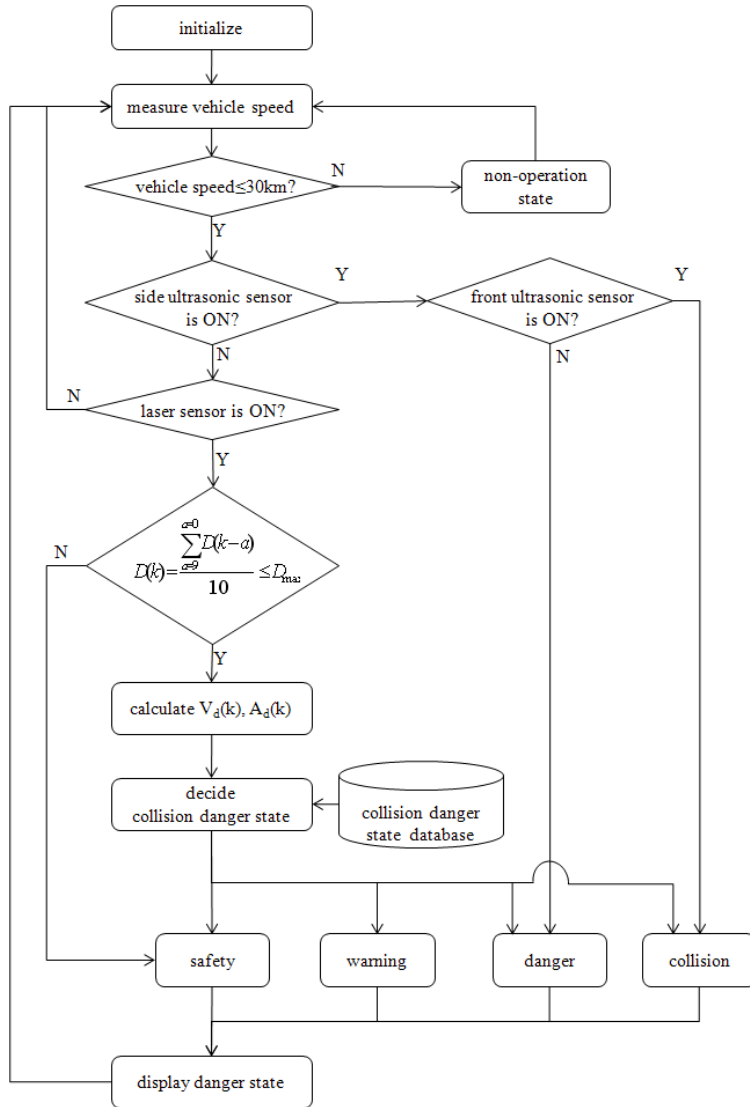


그림 3. 센서 융합 기반 저속 근거리 충돌 경보 알고리즘의 구조

Fig. 3. Structure of sensor fusion-based low-speed short-distance collision warning algorithm

용하지만, 15번째 값은 직전 10개(D(6)~D(15))의 값을 이용한다. 여기에서, 이동평균법을 사용하는 이유는 도로 노면의 요철에 의한 진동이나 차량 자체의 진동에 의하여 생기는 거리 값의 미세한 변동에 의한 영향을 최소화시키기 위함이다.

만약 계산된 레이저센서의 거리가 최대 차간거리(maximum distance, D_{max})보다 크다면, 안전(safety) 상태로 판단한다. 여기에서, 최대 차간거리란 시속 30km/h에서 차량을 정지시키기 위하여 필요한 최소 정지거리(minimum stopping distance,

D_s)에 안전계수를 고려하여 설정된다. 즉, 최대 차간거리는 운전자가 시속 30km/h에서 차량을 정지시킬 만큼 충분한 값으로 설정되면 된다. 여기에서, 최소 정지 거리는 속도에 따라 결정되고 운동에너지와 위치에 따라 결정되는 위치에너지의 에너지 보존법칙에 의해 식(1)과 같이 계산될 수 있다.

$$\frac{1}{2}MV_m^2 = \mu MgD_s \tag{1}$$

$$D_s = \frac{V_m^2}{2\mu g}$$

여기서, M은 차량의 질량이며 μ 는 마찰계수이다. 일반적으로, 마찰계수는 ABS의 설치 유무나 도로의 상태 등에 따라서, 매우 다양한 값으로 표시된다. 그러나 건조한 노면(dry pavement)에서는 0.8의 값이 일반적으로 사용된다고 알려져 있기 때문에 [17-18], 차량의 속도가 30km/h일 때 최소 정지거리는 약 4.5m로 계산된다.

반면, 레이저센서의 거리가 최대 차간거리보다 작다면, 전방 차량과의 상대속도($V_d(k)$)와 상대가속도($A_d(k)$)를 계산한다. 여기에서, 상대속도는 식(2)와 같이 단위시간(Δt)당 주행 차량과 전방 장애물과의 거리로 단순화할 수 있으며, 상대가속도는 단위시간당 상대속도로 단순화할 수 있다.

표 1. 최소 정지거리 이상에서의 충돌 위험도

Table 1. Collision danger state over minimum stopping distance

	$\alpha < V_d(k)$	$-\alpha < V_d(k) < \alpha$	$V_d(k) < -\alpha$
$\beta < A_d(k)$	safety	safety	warning
$-\beta < A_d(k) < \beta$	safety	safety	danger
$A_d(k) < -\beta$	safety	warning	collision

표 2. 최소 정지거리 미만에서의 충돌 위험도

Table 2. Collision danger state under minimum stopping distance

	$\alpha < V_d(k)$	$-\alpha < V_d(k) < \alpha$	$V_d(k) < -\alpha$
$\beta < A_d(k)$	safety	safety	danger
$-\beta < A_d(k) < \beta$	safety	warning	collision
$A_d(k) < -\beta$	safety	danger	collision

$$V_d(k) = \frac{D(k) - D(k-1)}{\Delta t} \quad (2)$$

$$A_d(k) = \frac{V_d(k) - V_d(k-1)}{\Delta t}$$

마지막으로, 충돌 경고 알고리즘은 실차 실험을 통하여 경험적으로 작성된 충돌 위험도 데이터베이스(danger state database)로 부터 상대속도와 상대가속도에 따른 충돌 위험도를 결정한 후, 그 결과를 경고 장치에 표시한다. 본 논문에서 충돌 위험도 데이터베이스는 실차 실험 결과로부터 표1 및 표2와 같이 작성하였다. 여기에서, 충돌 위험도(CS(k))는 표3에서 정의된 바와 같이 4단계, 즉, 안전

(safety), 경고(warning), 위험(danger)과 충돌(collision) 단계로 구분된다.

본 논문에서 충돌 위험도는 최소 정지거리(4.5m)에 따라 표1과 표2로 나누어지며 상대속도와 상대가속도에 따라 결정된다. 먼저, 상대속도가 속도 한계값(velocity threshold, α)보다 큰 경우($\alpha < V_d(k)$)에는 선행차량과의 거리가 멀어지는 경우이므로 충돌의 위험이 극히 낮기 때문에 상대가속도에 상관없이 안전 단계로 정의하였다. 그러나 상대속도가 $\pm\alpha$ 내에 있는 경우($-\alpha < V_d(k) < \alpha$)와 $-\alpha$ 보다 작은 경우($V_d(k) < -\alpha$)에는 선행차량과의 거리가 유지되거나 좁혀지는 상황이므로 상대가속도가 가속도 한계값(acceleration threshold, β)보다 큰 경우($\beta < A_d(k)$), $\pm\beta$ 내에 있는 경우($-\beta < A_d(k) < \beta$), $-\beta$ 보다 작은 경우($A_d(k) < -\beta$)로 나누어서 충돌 위험도를 정의하였다.

표 3. 충돌 위험도의 정의

Table 3. Definition of collision danger state

충돌 위험도(CS)	상태(state)
안전(safety)	충돌 위험이 전혀 없는 상태
경고(warning)	충돌 위험이 예상되는 단계로 운전자의 주의가 요구되는 상태
위험(danger)	충돌이 예상되는 단계로 주행 차량의 속도를 일부 줄이는 기능을 수행하는 상태
충돌(collision)	충돌이 확실한 단계로 충돌을 회피하기 위하여 주행 차량의 속도를 최대한 줄이는 기능을 수행하는 상태

IV. 센서 융합 기반 충돌 경고 알고리즘의 성능 평가

본 절에는 센서 융합 기반 저속 근거리 충돌 경고 알고리즘의 성능 평가를 위하여 그림 4와 같은 실험 차량을 구성하였다. 실험용 차량은 국내 G사의 L 차량을 이용하였으며 그림과 같이 레이저센서와 초음파센서를 장착하였다. 실험 차량에 설치된 레이저센서로는 감지 거리가 $l1=6m$ 인 Data sensor사의 S80-YLO 모델이 사용되었으며, 앞 범퍼에 장착된 초음파센서로는 감지 거리가 $l1=3m$, 감지 범위가 $ru=25^\circ$ 인 SensorTec사의 차량용 STMA-506 모델이 사용되었다. 특히, 레이저센서는 유리

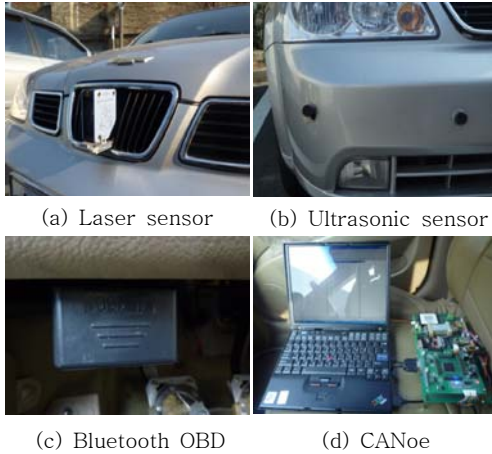


그림 4. 실험차량의 구성

Fig. 4. Implementation detail of experimental vehicle

를 통과하면 거리 정보의 오차가 커지는 산업용 레이저의 특성 때문에 실내가 아닌 실외에 설치하였고 차량의 중앙에 지면으로부터 $h_1=0.65\text{m}$ 높이에 설치하였다. 초음파센서는 지면으로부터 $h_2=0.6\text{cm}$ 높이에 $w_1=60\text{cm}$, $w_2=30\text{cm}$ 로 설치하였다. 여기서, 전면 초음파센서 2개는 정면을 바라보도록 설치하였고 측면 초음파센서는 $\text{ri}=70^\circ$ 를 이루도록 설치하였다. 마지막으로, 최대 차간거리, D_{max} 는 레이저센서의 측정거리인 6m로 설정하였다.

또한, 레이저센서는 UART를 이용하여 ECU와 연결되었으며, 초음파센서는 인터럽트(interrupt) 핀과 GPI/O(general purpose I/O) 핀을 이용하여 ECU와 연결되었다. 상대속도 및 상대가속도를 계산하기 위한 단위시간(Δt)은 ECU의 연산 처리 주기로 설정하였으며, 근거리 환경을 고려하여 100ms로 설정하였다.

차량의 속도를 측정하는 OBD 장치로는 Free-GPS 사의 free-OBD Plus Mini 모델이 사용되었다. 특히, 사용된 OBD 장치는 블루투스를 이용하여 무선으로 차량 속도 및 정보를 수신할 수 있어 다양한 분야에 활용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 충돌 경보 알고리즘이 내장된 ECU는 FlexRay와 CAN 컨트롤러가 내장된 Freescale 사의 MC9S-12XF512를 사용하여 제작되었다. 여기에서, CAN 트랜시버는 NXP사의 PCA82C250이 사용되었으며 OBD 데이터 수신을 위한 블루투스 수신 모듈은 Firmtech 사의 FB755AX이 사용되었다. 마지막으로



그림 5. 정적 상태에서 충돌 경보 알고리즘의 성능 평가

Fig. 5. Performance evaluation of collision warning algorithm in static state



그림 6. 동적 상태에서 충돌 경보 알고리즘의 성능 평가

Fig. 6. Performance evaluation of collision warning algorithm in dynamic state

로, 관련 정보를 모니터링하기 위하여 Vector사의 CANoe.FlexRay 7.2가 이용되었다.

센서 융합 기반 충돌 경보 알고리즘의 성능 평가 실험은 차량의 주행 조건에 따라서 정적인 상태와 동적인 상태로 구분하여 수행되었다. 우선, 정적인 상태의 실험은 그림 5와 같이 레이저센서의 정확도를 확인하기 위하여 6m 거리의 승용차를 대상으로 주간, 야간 전조등 소등, 야간 전조등 점등의 세 가지 상황에서 100ms 주기로 100번씩 거리를 측정하였다.

동적인 상태의 실험은 그림 6과 같이 30km/h 이하의 속도에서 전방 차량과 함께 주행하면서 충돌 경보 알고리즘이 정상적으로 동작되는지를 평가하였다. 동적인 실험은 주행 차량의 속도 변화, 측면 차량의 끼어들기, 앞 차량의 정지 상황과 같은

세 가지 경우에 대해서 실험을 수행하였다. 동적인 실험은 주변 차량에 의한 충돌이나 사고가 발생할 수 있기 때문에 자동차부품연구원의 주행 시험장에서 수행되었다.

표 1과 2의 속도 한계값과 가속도 한계값은 충돌 위험도의 변화에 영향을 주는 변수이다. 충돌 위험도는 너무 빈번하게 단계가 변화되면 운전자가 위험의 경보에 둔감해질 수 있고, 너무 뜸하게 단계가 변화되면 위험에 적절히 대처할 수 없는 경우가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 실험 차량을 운전하면서 판단한 결과 충돌 위험도는 1sec당 10회, 즉 100msec 당 1회 정도 변화되는 게 운전자에게 가장 적절하다고 판단하였다. 이를 기준으로 하여 충돌 위험도(CS(k))를 각각 안전=1, 경보=2, 위험=3, 충돌=4로 설정한 후, 10초(100회)동안 동적 상태에서의 성능 평가를 수행한 후 식 (3)과 같이 충돌 위험도의 변화 민감도(change sensitivity, SC)를 계산하였다.

$$S_C = \left| \frac{100 - \sum_{k=0}^{k=100} |C_S(k) - C_S(k-1)|^2}{100} \right| \quad (3)$$

그림 7은 α 와 β 값을 1에서 5까지 변화시킬 때, 변화 민감도(SC)의 값을 나타내고 있다. 그림에서 $\alpha=3, \beta=3$ 일 때 변화 민감도가 가장 낮은 값을 나타내고 있다. 즉, $\alpha=3, \beta=3$ 일 때 충돌 위험도가 100msec당 1회 정도 변화된다고 볼 수 있다. 그러나 α 와 β 값은 차량의 성능이나 센서의 설치 위치에 따라 달라질 수 있기 때문에 시스템 설계 시에 적절한 값이 선정되어야만 한다.

표 4는 정적 상태에서 전방 승용차와의 거리를 100회 측정한 평균 거리와 거리의 표준편차를 나타낸 것이다. 표에서, 측정한 평균거리는 거의 6000mm(6m) 전후의 값을 가지며 모든 상황에서 1mm 이하의 표준편차를 가짐을 알 수 있다. 특히, 차량의 색깔과 환경 상태의 변화에도 평균거리는 거의 유사한 값을 가짐을 알 수 있다. 이러한 실험 결과로부터, 차량의 색깔이나 주변 환경에 거의 영향을 받지 않고 정확한 거리를 측정함을 의미한다.

그림 8은 자동차부품연구원의 주행 시험장에서 전방 차량과 함께 주행할 때, 차량의 속도, 차량 거리, 상대속도, 상대가속도와 충돌 위험도의 변화를 나타내고 있다. 그림에서, 차간거리가 줄어들고 상대속도 및 상대가속도가 0보다 작은 경우에 단계적

으로 충돌 위험이 증가함을 확인하였다. 반대로, 차간거리가 증가하고 상대속도 및 상대가속도가 0보다 큰 경우에는 충돌 위험 단계가 증가하지 않고 경보 단계를 유지하다 감소함을 확인하였다. 특히, 주행 차량의 속도가 증가하여 거리가 급격히 감소하고 전방 차량의 속도가 감소하는 약 1.4초 전후에는 충돌 위험 단계가 충돌 단계까지 증가하여 위험 상황에 대한 충분한 경보를 제공할 수 있음을 확인하였다.

그림 9는 정면의 장애물에 충돌하는 경우의 차량의 속도, 차량 거리, 상대속도, 상대가속도와 충돌 위험도의 변화를 나타내고 있다. 실험에서, 장애물은 약 4m 전방에 설치하였으며 주행 차량은 정지 상태에서 출발하여 장애물과 충돌할 때까지 전진하였다. 그림에서, 주행 차량은 약 4m 전후의 거리에서 출발하였으며 전방 거리가 감소함에 따라서 충돌 위험 단계는 격상하였다.

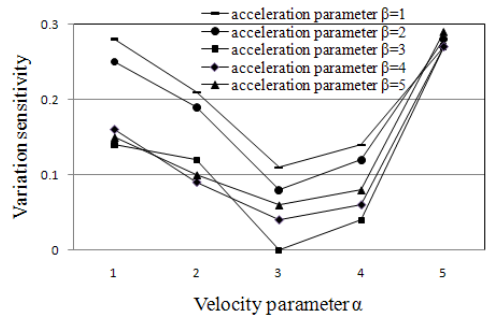


그림 7. 충돌 위험 상태의 변화 민감도 결과
Fig. 7. Result of change sensitivity of collision danger state

표 4. 정적 상태에서 거리 실험 결과 [단위:mm]
Table 4. Experimental result of distance sedan in static state [unit: mm]

mean / standard deviation	day	night light off	night light on
white	6001.55 / 0.500	6002.52 / 0.502	6001.09 / 0.422
silver	6001.92 / 0.580	6001.32 / 0.495	6001.30 / 0.460
black	6002.43 / 0.472	6002.43 / 0.497	6002.54 / 0.500

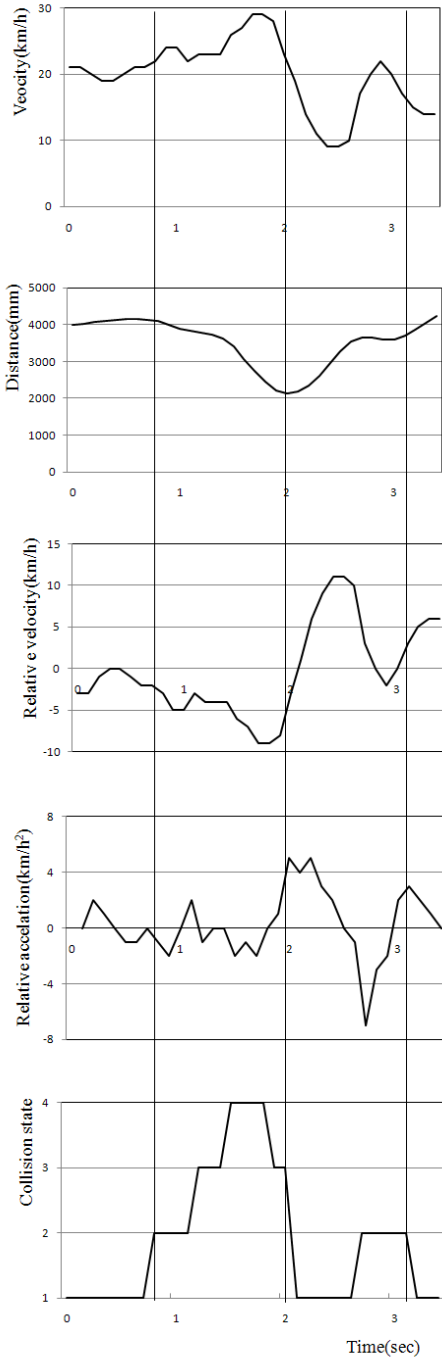


그림 8. 저속 주행에서 충돌 경보 알고리즘 실험 결과

Fig. 8 Excremental result of collision warning algorithm of low speed driving state

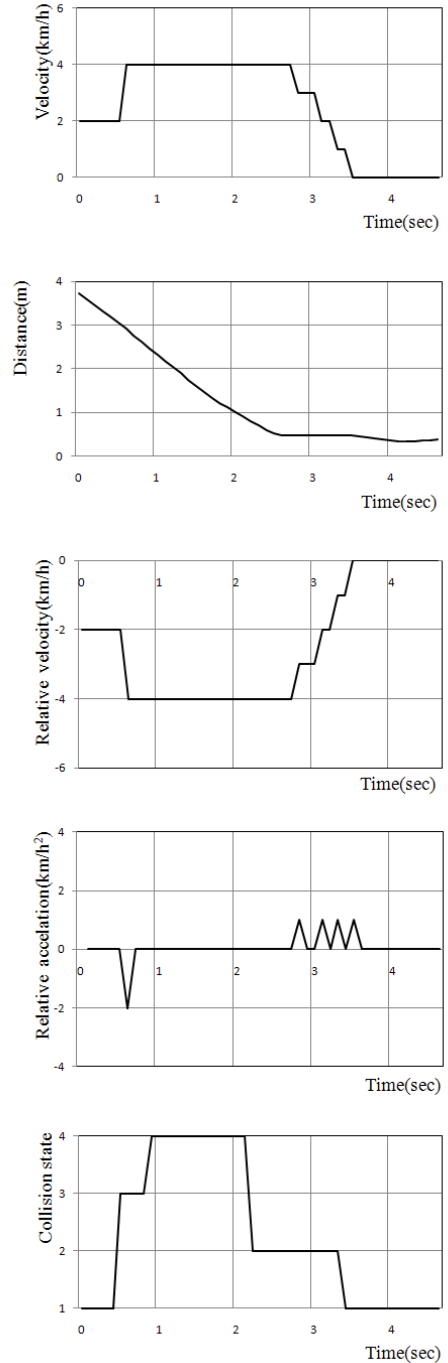


그림 9. 충돌 상태에서 충돌 경보 알고리즘 실험결과

Fig. 9. Excremental result of collision warning algorithm of collision state

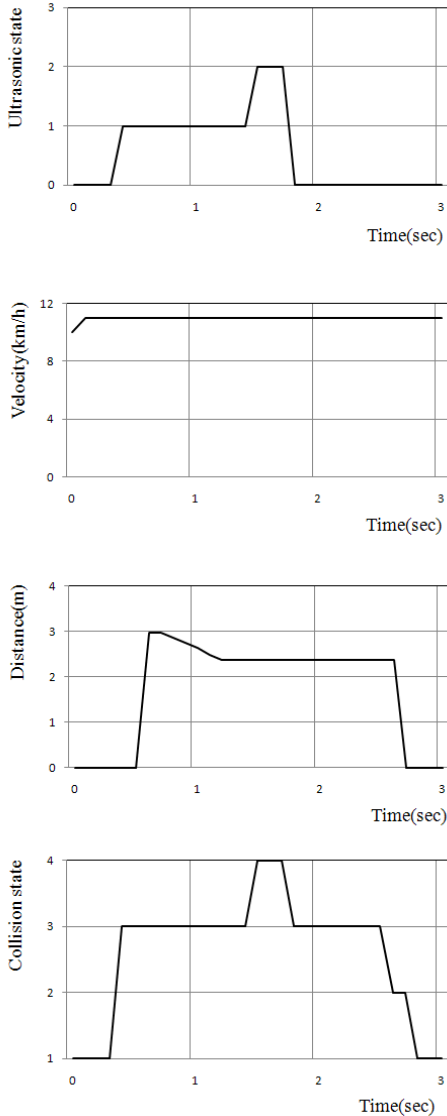


그림 10. 차량이 끼어든 경우 충돌 경고 알고리즘 실험결과

Fig. 10. Excremental result of collision warning algorithm of vehicle barge state

장애물과의 거리가 약 2.5m 전후에서 충돌 위험 단계는 충돌까지 증가하였으며, 장애물과의 거리가 약 1m 전후에서는 자동차의 속도가 충돌 위협으로 인하여 위험단계가 경고 단계로 감소하였다. 약 50cm 이하에서는 레이저센서의 측정 범위를 벗어나 일정한 값을 가지는 것을 확인하였다.

그림 10은 전방차량이 없는 상황에서 30km/h 이하로 주행 중에 오른쪽 측면 차량이 끼어들었을 경우의 차량의 속도, 차량 거리, 초음파 상태와 충돌 위험도의 변화를 나타내고 있다. 측면 차량이 끼어들어서 순간적으로 거리가 증가하는 시점에서 초음파센서의 단계가 1단계(측면 초음파센서 ON)로 격상이 되었다. 동시에 충돌 상태는 안전 단계에서 위험 단계로 증가함을 확인하였다. 측면 차량이 끼어들기 시작해서 주행 차량의 정면에 위치할 시점에서 초음파센서의 단계가 2단계(전면 초음파센서 ON)로 격상되면서 동시에 충돌 상태는 위험 단계에서 충돌 단계로 상향되는 것을 확인하였다. 즉, 30km/h 이하의 시내 저속 주행에서 빈번하게 발생되는 측면 차량의 끼어들기에 대해서도 본 논문에서 제안된 충돌 경고 알고리즘이 정상적으로 동작하며 측면 차량의 끼어들기 상황에 따라 적절한 경보를 운전자에게 제공해 줄 수 있음을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 도시 환경에서 저속 근거리 충돌 경고 시스템의 하나로서, 레이저센서와 초음파센서를 융합한 센서 융합 기반 충돌 경고 시스템을 제안하였다. 특히, 시속 30km/h 이하의 저속 주행 환경에서 최소 정지거리를 기준으로 위험 단계를 구분하여 충돌 위험을 경보할 수 있도록 알고리즘을 개발하였다. 마지막으로, 제안된 알고리즘을 내장형 시스템으로 차량에 구현하여 정차 상태와 주행 상태에서 적용 가능성을 평가하였다.

본 논문에서는 다양한 환경에서의 실차 실험을 통하여, 레이저센서와 초음파센서를 융합하는 경우 도시 환경에서 빈번하게 발생하는 전방 차량의 정지뿐 만 아니라, 측면 차량의 끼어들기 상황에서도 적절한 경보를 운전자에게 제공해 줄 수 있음을 확인하였다.

그러나 본 논문은 실험실 규모에서 레이저센서와 초음파센서를 융합한 충돌 경고 알고리즘의 적용 가능성에 초점을 맞추었다. 이러한 충돌 경고 시스템이 실제 자동차에 적용되기 위해서는 보다 더 현실에 맞는 알고리즘의 개발이 이루어져야 한다. 가장 대표적인 것으로, 거리 정보에 불확실성이 포함되더라도 정확한 거리 값이 계산될 수 있도록 칼만 필터와 같은 필터링 방법이나 전방 장애물의 추적(tracking) 방법에 대한 연구가 필요하다. 또한,

주행 차량의 속도나 가속도, 전방 장애물 거리의 가감 정보 등에 따라 충돌 위험도를 보다 더 세밀하게 결정할 수 있는 개선된 충돌 경보 알고리즘에 대한 연구가 필요하다. 이 외에도, 충돌 상황에 따라 충돌을 회피할 수 있는 제동 방식에 대한 연구도 이루어져야 한다. 마지막으로, 현재 충돌 경보 알고리즘에는 운전자의 차량 제어 의지를 판단하는 요소가 배제되어 있다. 따라서 실차 적용을 위해서는 주행 상황이 운전자가 의도한 상황이라면 차량의 제어를 운전자에게 위임하는 방법에 대한 연구가 이루어져야 한다.

참고문헌

- [1] J. C. McCall and M. M. Trivedi, "Driver behavior and situation aware brake assistance for intelligent vehicles", *Proceedings of the IEEE*, Vol.95, No.2, pp. 374-387, 2007.
- [2] 김윤구, 이기동, "지능형 무인자동차 제어 시스템 개발", *대한임베디드공학회는문지*, Vol.3, No.3, pp. 126-135, 2008.
- [3] A. Lindgren, A. Angelelli, P.A. Mendoza, and F. Chen, "Driver behaviour when using an integrated advisory warning display for advance driver assistance systems", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol.3, No.4, pp. 390-399, 2009.
- [4] T. Horberry, A. Stevens, and G. Burnett, S. Cotter, R. Robbins, "Assessing the visual demand from in-vehicle information systems by means of the occlusion technique: the effects of participant age", *IET Intelligent Transport Systems*, Vol.2, No.2, pp. 170-177, 2008.
- [5] 정호기, 윤팔주, "운전자 지원 전자 제어 시스템", *한국자동차공학회논문집*, Vol.29, No.3, pp. 51-57, 2007.
- [6] V. L. Bageshwa, W. L. Gerrard, and R. Rajamani, "Model predictive control of transitional maneuvers for adaptive cruise control vehicle", *IEEE Transactions On Vehicular Technology*, Vol.53, No.5, pp. 1573-1585, 2004.
- [7] 용부중, 심소정, 윤경한, "감용순항장치(ACC)의 안정성 평가", *한국자동차공학회논문집*, Vol.15, No.2, pp. 159-164, 2007.
- [8] J. M. Clanton, D. M. Bevely, and A. S. Hodel, "A low-cost solution for an integrated multisensor lane departure warning system", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.10, No.1, pp. 47-59, 2009.
- [9] 황준연, 허건수, 나혁민, 정호기, 강형진, 윤팔주, "비전센서와 DRPG 알고리즘을 이용한 차선 유지 보조 시스템 개발", *한국자동차공학회논문집*, Vol.17, No.1, pp. 50-57, 2009.
- [10] 김현구, 주영환, 이종훈, 박용완, 정호열, "지능형 자동차의 적응형 제어를 위한 차선 인식", *대한임베디드공학회는문지*, Vol.4, No.4, pp. 180-189, 2009.
- [11] V. Eis, R. Sferco, and P. Fay, "A detailed analysis of the characteristics of European rear impacts", *19th International ESV conference*, paper No.05-385, 2005.
- [12] K. Langwider, U. Frost, and E. Bach, "The requirements for driver assistance systems and their effects on real-life accidents", *16th International ESV conference*, paper No.98-S2-W33, 1998.
- [13] M. Avery and A. Weekes, "Volvo city safety collision avoidance technology and its potential to reduce whiplash injuries", *Conference Neck Injuries in Road Traffic and Prevention Strategies*, 2008.
- [14] Volvo car corporation, "Estimates from NASS and STO data", *Volvo Car corporation*, 2007.
- [15] J. Kibbel, H. Salow, and M. Dittmer, "Low speed collision avoidance system", *Advanced microsystems for automotive applications*, pp. 123-128, 2006.
- [16] 조신섭, 시계열분석, 울곡출판사, 2002.
- [17] 김기남, 문원길, 김민석, 김민호, 옥진규, 박수진, 유완석, "건조 및 젖은 노면에서 자동차의 급제동과 마찰계수의 변화", *한국자동차공학회 춘계학술대회* No.2, pp. 691-696, 2006.
- [18] 김기남, 옥진규, 이지훈, 유완석, 박지영, "ABS 와 Non-ABS 승용차량의 급제동시 마찰계수 변화", *한국자동차공학회논문집*, Vol.16, No.3, pp. 52-59, 2008.

저 자 소 개

전 종 기 (Jong-Ki Jeon)



2009년 : 부경대학교
전기제어공학부 졸업.
현재, 부산대학교
기계공학부 석사과정.
관심분야 : 차량용 네트워크,
임베디드 시스템.

Email : mantaray@pnu.edu

김 만 호 (Man-Ho Kim)



2001년 : 동아대학교
기계공학부 졸업.
2002년 : 부산대학교
지능기계공학과 석사.
2008년 : 부산대학교
지능기계공학과 박사.

2006년~2010년, 대구경북과학기술원(DGIST)
공공원천기술연구센터 연구원.
2010년~2011년, 부산대학교 기계공학연구 정보
센터 전임연구원.
2011년~현재, 부산대학교 차세대물류
IT기술연구사업단 연구교수.
관심분야 : 차량용 네트워크 시스템, 임베디드 시
스템, 결합 허용을 위한 중복시스템, 고령운전자
행동분석 및 운전부하 분석.
Email : kmh@pnu.edu

이 경 창 (Kyung-Chang Lee)



1996년 : 부산대학교
생산기계공학과 학사.
1998년 : 부산대학교
생산기계공학과 석사.
2003년 : 부산대학교
생산기계공학과 박사.

1998~2003년, 기계공학연구정보센터 전임연구원.
2003~2005년, 울산대학교 네트워크기반 자동화
연구센터 전임연구원.
2005년~현재, 부경대학교 제어계측공학과 부교수.
관심분야 : 산업용 네트워크, 차량용 네트워크,
홈 네트워크, 센서 네트워크.
Email : gcleee@pknu.ac.kr

이 석 (Suk Lee)



1984년 : 서울대학교
기계공학과 학사.
1985년 : 펜실바니아
주립대학교 기계공학과 석사.
1990년 : 펜실바니아
주립대학교 기계공학과 박사.

1990~1993년, 신시내티대학교 기계공학과 조교수.
1993년~현재, 부산대학교 기계공학부 교수.
관심분야 : 산업용 네트워크, 차량용 네트워크,
홈 네트워크, 센서 네트워크.
Email : slee@pnu.edu