Transactions of KSAE, Vol. 25, No. 3, pp.309-316 (2017)

Check for updates

Copyright © 2017 KSAE / 148-05
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI https://doi.org/10.7467/KSAE.2017.25.3.309

가상주행환경 기반 초음파 센서의 승합차 측면 보행자 인식

윤 현 철[1] · 최 주 용[*2]

경성대학교 메카트로닉스공학과[1] · 경성대학교 융합시스템공학부[2]

Pedestrian Detection Using Ultrasonic Distance Sensors Based on Virtual Driving Environments

Hyun-cheol Yoon[1] • Ju Yong Choi[*2]

[1]Department of Mechatronics Engineering, Kyungsung University, Busan 48434, Korea
[2]School of Mechatronics, Industrial & Management Engineering, Kyungsung University, Busan 48434, Korea
(Received 2 January 2017 / Revised 9 March 2017 / Accepted 13 March 2017)

Abstract : In shuttle vans designed to transport children, the recognition of a child's approach and departure is very important. Ultrasonic sensors are generally used for a short distance around a vehicle. Although ultrasonic sensors are cheaper than other ADAS sensors, the number of sensors installed in a van should be optimized. In order to recognize the presence of a child around a shuttle van, this paper proposes the placement of ultrasonic sensors in the van. Considering the turning radius of the van and the distance from each sensor to a child, collision risk is classified as 'safe', 'warning', and 'danger'. The sensor placement and the recognition algorithm are verified in a virtual driving environment.

Key words : Ultrasonic sensor(초음파 센서), Pedestrian detection system(보행자 인식 시스템), Virtual driving environment(가상주행환경), Region of interest(인식영역), Active safety(능동안전)

1. 서 론

보행자 사고 예방을 위한 제도적 방안으로 사고 예방 캠페인, 운전자 교육 등이 있지만 이러한 방안은 간접적인 사고 예방책으로 사고 예방에 한계가 있기 때문에 능동적으로 사고를 예방할 수 있는 직접적인 안전시스템이 필요하다. 기존의 보행자 보호를 위한 직접적인 안전시스템 기술은 크게 사고 후 상해치를 경감시키는 수동적 안전시스템과 보행자를 검출하고 회피하는 능동적 안전시스템 두 가지 측면으로 나뉜다. 사고 발생 후 상해치를 경감시키는 수동적 안전시스템 연구로는 액티브 후드 리프트 시스템과 보행자 에어백의 설치를 통한 머리 상해지수 저감 효과에 관한 연구,[1] 머리모형 충돌에 가장 효과적인 구조에 대한 연구,[2] 단순링크장치와 2개의 공압실린더를 조합하여 보행자 안전장치 개발에 대한 연구[3] 등이 있다. 능동적 안전시스템 연구로는 Night vision 센서를 기반으로 Support Vector Machine 알고리즘을 사용한 보행자 감지 및 추적에 대한 Xu와 Fujimura의 연구,[4] Poselect와 GlAC 기술을 결합하여 보행자를 감지하는 Tran 등의 제안,[5] GPU를 이용하여 야간 보행자를 검출하고 추적하는 시스템 구현[6] 등이 있다. 이러한 기존 보행자 안전시스템 연구들은 전방에 위치한 보행자 보호를 위한 안전시스템으로 측면 보행자의 보호를 위한 연구는 미미한 실정이기에 본 연구의 필요성이 대두되어진다.

본 연구는 시뮬레이션 환경에서 ADAS(Advanced Driver Assistance Systems : 첨단운전자보조시스템)

*Corresponding author, E-mail: jychoi@ks.ac.kr

및 IV(Intelligent Vehicle : 지능형자동차) 시스템 개발을 목적으로 하는 소프트웨어인 PreScan을 사용해 차량 특성에 기반한 측면 보행자와 차량의 충돌을 고려한 인식영역을 도출하고, 차량 특성 및 초음파 센서 특성에 기반한 초음파 센서의 장착위치를 선정한다. 장착 위치에 설치된 3~4개의 초음파 센서가 인식영역을 감지할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 가상환경에서 보행자 인식 실험을 실시한다.

2. 측면 보행자 충돌을 고려한 인식영역

인식영역(Region of interest)은 보행자가 차량에 충돌할 위험이 있는 영역이다.

측면 보행자 충돌을 고려한 인식영역은 차량 측면에 위치한 보행자가 차량과 충돌할 위험성이 있는 영역으로 차량이 선회 이동을 할 때, 정지상태인 보행자와 충돌할 위험성이 있는 영역과, 차량이 정지상태일 때 보행자의 직선 이동에 의해 충돌할 위험성이 있는 영역, 이 두 가지 조건을 모두 고려한 영역을 측면 보행자 충돌을 고려한 인식영역으로 정의한다.

2.1 차량 선회에 의한 인식영역

차량 선회에 의한 인식영역은 요(Yaw) 회전각 ψ 만큼 선회한 차량의 위치 내에 보행자가 위치할 때 충돌을 한다는 것을 근거로 정의하였다.

요 회전각 ψ는 정지시거 d_{ssd}만큼 후륜 중심의 최소 회전반경 R_{rc}로 선회 이동을 한 각도와 같으며, 이를 식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$\psi = \frac{d_{ssd}}{R_{rc}} \tag{1}$$

여기서 정지시거 d_{ssd}는 식 (2)와 같다.

$$d_{ssd} = v_c t_{prt} + \frac{v_c^2}{2gf} \tag{2}$$

where,

v_c : vehicle velocity (m/s)

t_{prt} : perception reaction time (s)

g : acceleration of gravity (m/s^2)

f : coefficient of friction

식 (1)에서 R_{rc}는 후륜 내외륜의 최소 회전반경 R_{rr}, R_{rl}의 중간값이므로 식 (3)과 같이 표현된다.

$$R_{rc} = \frac{R_{rl} + R_{rr}}{2} \tag{3}$$

식 (3)에서 R_{rl}, R_{rr}을 구하기 위한 식은 식 (4), (5)와 같다.

$$R_{rl} = R_{fl}\cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{L_{wb}}{R_{fl}}\right)\right) \tag{4}$$

where,

R_{fl} : minimum turning radius of front left (m)

L_{wb} : wheelbase (m)

$$R_{rr} = R_{fl}\cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{L_{wb}}{R_{fl}}\right)\right) - T_{wt} \tag{5}$$

where,

T_{wb} : tread (m)

식 (3)에 식 (4), (5)를 대입하면 R_{rc}는 최종적으로 식 (6)과 같다.

$$R_{rc} = \frac{2\left(R_{fl}\cos\left(\sin^{-1}\left(\frac{L_{wb}}{R_{fl}}\right)\right)\right) - T_{wt}}{2} \tag{6}$$

2.2 보행자 이동에 의한 인식영역

보행자 이동에 의한 인식영역은 보행자가 직선 이동에 의해 정지상태인 차량과 충돌을 한다는 것을 근거로 정의하였다.

보행자 이동에 의한 인식영역 d_p는 식 (7)과 같다,

$$d_p = v_p t_{prt} \tag{7}$$

where,

v_p : walking velocity (m/s)

2.3 차량 선회와 보행자 이동을 동시에 고려한 인식영역

Fig. 1은 차량 선회와 보행자 이동을 동시에 고려한 인식영역이다. 보행자 이동을 고려한 인식영역 d_p의 사다리꼴 변위 d_p'은 식 (8)과 같다.

$$d_P' = \frac{d_P}{\cos\psi} \tag{8}$$

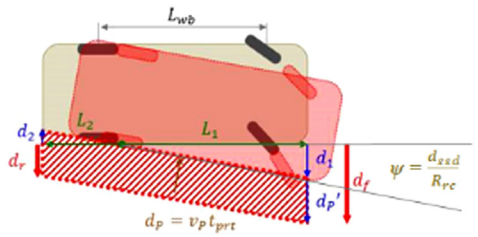


Fig. 1 Collision area of considering both vehicle turning and pedestrian movements

대상 승합차의 전후 오버행 O_f, O_r을 반영한 변수 L_1과 L_2는 식 (9), (10)과 같고, 이를 이용한 변수 d_1과 d_2는 식(11), 식 (12)와 같다.

$$L_1 = L_{wb} + O_f \tag{9}$$

$$L_2 = O_r \tag{10}$$

$$d_1 = L_1 \tan\psi \tag{11}$$

$$d_2 = L_2 \tan\psi \tag{12}$$

측면 보행자 충돌을 고려한 인식영역의 사다리꼴 전후 측면 변위 d_f, d_r은 앞에서 구한 사다리꼴 변위 d_p'과 변수 d_1, d_2를 이용하면 식 (13), (14)와 같다.

$$d_f = d_p' + d_1 \tag{13}$$

$$d_r = d_p' - d_2 \tag{14}$$

3. 측면 보행자 충돌 위험도 초음파 센서 장착위치

3.1 차량 및 초음파 센서 제원

본 논문에 사용되는 초음파 센서 및 승합차 모델의 제원은 Table 1, 2와 같으며, 승합차 제원 중 최소 회전반경은 바깥 쪽 앞바퀴 자국의 중심선을 기준으로 한다.

Table 1 Specification of ultrasonic sensor

Frequency	57.5 kHz
Horizontal angle	-35° ~ 35°
Vertical angle	-18.75° ~ 18.75°
Max range	3.65 m

Table 2 Specification of van

Overall length	5.125 m
Wheelbase	3.200 m
Overall width	1.920 m
Tread	1.660 m
Overall height	1.925 m
Minimum turning radius	5.600 m
Front overhang	0.855 m
Rear overhang	1.070 m

3.2 차량 특성 기반 측면 보행자 충돌을 고려한 인식영역

d_{ssd}를 구하는 식 (2)에서 차량이 정지상태로 시작해 짧은 시간동안 주행하기 때문에 v_c는 1.38m/s (5 km/h)의 값을 대입하고, 운전자가 주의를 집중한다는 가정하에 t_{prt}의 값은 0.5초, 차량이 저속으로 주행하기 때문에 f는 0.8의 값을 대입하면 최종적으로 d_{ssd}는 0.8113 m로 도출된다.

식 (6)에 Table 2 차량 제원 값을 대입하면, R_{rc}는 3.7657 m로 도출된다.

앞에서 도출된 d_{ssd}, R_{rc}를 식 (1)에 대입하면 ψ는 12.3442°의 값을 가진다.

식 (7)에서 v_p를 업무지역의 평균 보행속도인 1.38 m/s(5 km/h)[7], 인지반응시간 t_{prt}를 보행자가 주의를 집중한다고 가정하여 0.5초로 선정하면 d_p는 0.69 m로 도출된다.

앞에서 구한 ψ와 d_p의 값을 식 (8)에 대입하면 d_p'은 0.7063 m의 값을 가진다.

식 (11)와 식 (12)에 Table 2 승합차의 전후 오버행 값과 축거 값을 대입하면 d_1은 0.8872 m, d_2는 0.272 m의 값을 가지게 된다.

최종적으로 앞에서 구한 d_p', d_1, d_2값을 식 (13), (14)에 대입하면 Fig. 2와 같이 d_f는 1.5935 m, d_r은 0.4722 m의 값이 도출된다.

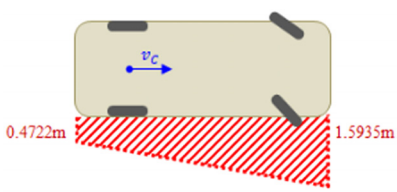


Fig. 2 Recognition area

3.3 차량 및 초음파 센서 특성 기반 초음파 센서 장착위치

본 연구에서는 배선 작업이 용이한 램프류 인근 중 보행자의 키에 따른 거리 값 변화, 사이드미러 감지로 인한 오작동 문제가 발생하지 않는 Fig. 3과 같은 후미등과 측면등 부근을 초음파 센서의 장착위치로 선정했다.

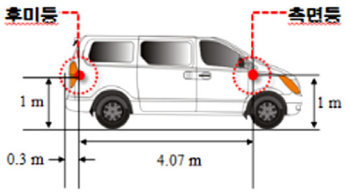


Fig. 3 Ultrasonic sensor location

3.4 영역 인식 기반 초음파 센서

Fig. 4는 측면 보행자 유무의 판단이 주목적인 경우, 초음파 센서의 장착위치 및 감지방향이다. 센서 ①과 ②사이 6°의 각이 있지만 사이각의 측면 충돌 인식영역 끝부분인 1.4 m 지점에서 간격은 약 0.15 m이다. 어린이의 평균 머리 둘레는 약 0.5 m로 직경은 약 0.16 m이다. 간격보다 어린이의 머리 직경이 크기 때문에 측면 충돌 인식영역의 보행자가 존재하면 최소 1개의 센서에는 감지된다. 센서 ③은 음파의 충돌각에 의해 차량 측면을 감지하지 않는다.

Table 3은 장착된 센서로 측면 보행자충돌을 고려한 인식영역 내 보행자의 유무를 판단하는 각 Case의 알고리즘이다.

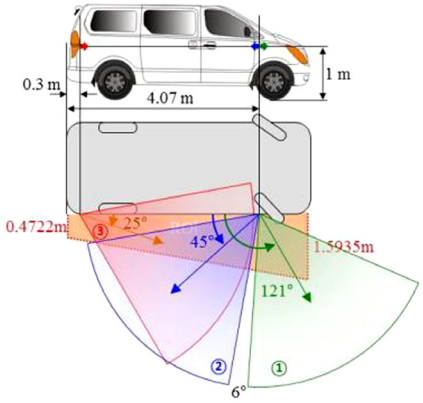
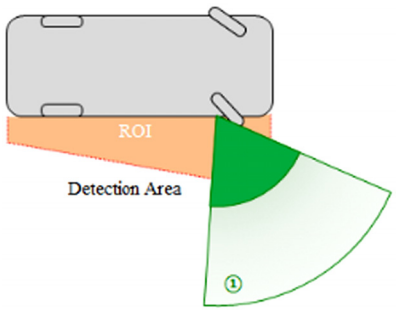


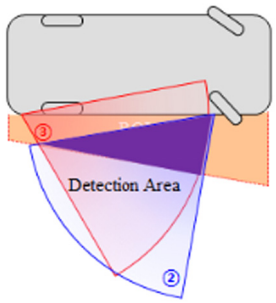
Fig. 4 Direction and location of ultrasonic sensor

Table 3 Algorithm on the base of areas

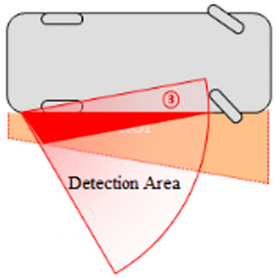
Case	Sensor			Algorithm
	①	②	③	
Case 1	D_1			$D_1 \leqq 1.75m$
Case 2		D_2	D_3	$y_p \leqq -0.2188(x_p - 3) + 0.7063$ and $y_p < 1.5$
Case 3			D_3	$D_3 > 0$



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig. 5 Detection area

Fig. 5(a)는 Case 1 알고리즘의 감지영역을 나타낸 것으로 센서 ①의 값이 1.75보다 작으면 인식영역 내에 보행자가 있다고 판단한다.

Fig. 5(b)는 Case 2 알고리즘의 감지영역을 나타낸 것으로 센서 ②와 ③의 공동 인식영역이다. 센서 ②와 ③에서 원의 방정식은 식 (15), 식 (16)과 같다.

$$x^2+y^2=D_2^2 \tag{15}$$

$$(x-3.77)^2+y^2=D_3^2 \tag{16}$$

여기서, D_2는 센서 ②에서 측정되는 보행자까지의 거리이고, D_3는 센서 ③에서 측정되는 보행자까지의 거리이다. 식 (15), 식 (16)을 이용하여 두 원의 교점 x좌표 x_p와 y좌표 y_p는 식 (17), 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_p=\frac{3.77}{2}+\frac{D_2^2-D_3^2}{2\times 3.77} \tag{17}$$

$$y_p=\sqrt{D_3^2-x_p^2} \tag{18}$$

센서 ②, ③의 값이 0보다 클 때, 알고리즘 식을 만족하면 보행자가 인식영역 내에 위치한다고 판단한다.

Fig. 5(c)는 Case 3 알고리즘의 감지영역을 나타낸 것으로 센서 ②에는 감지가 안되고 ③에만 감지가 될 때 인식영역 내에 보행자가 있다고 판단한다.

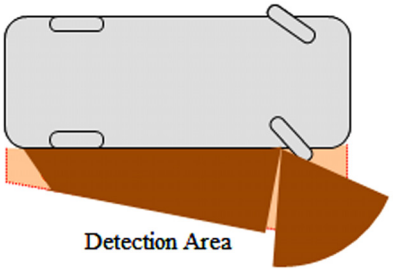


Fig. 6 Detection area on the base of area

Fig. 6은 최종적인 영역 인식 기반의 감지영역이다.

3.5 위치 인식 기반 초음파 센서

Fig. 7은 차량 측면에 보행자가 존재할 때 위치에 따른 위험도 판단이 주목적인 경우 초음파 센서의 장착위치 및 감지방향이고, 인식 알고리즘은 Table 4와 같다.

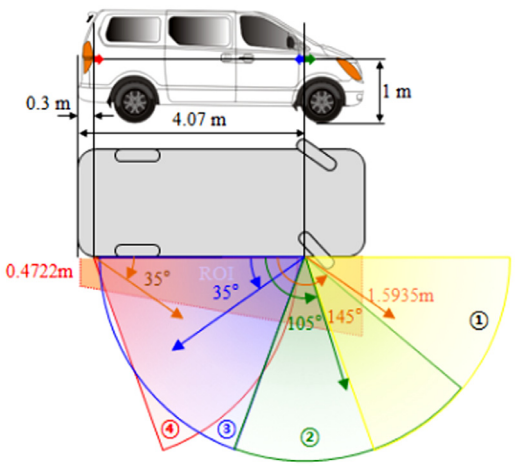


Fig. 7 Direction and location of ultrasonic sensor

Table 4 Algorithm on the base of location

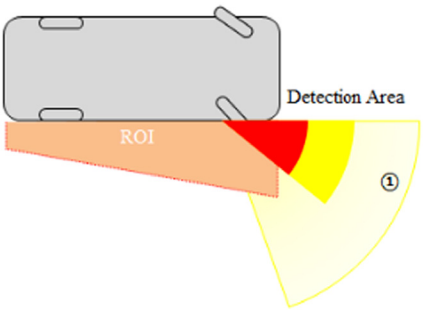
Case	Sensor				Algorithm	
	①	②	③	④	Danger	Warning
Case 1	D_1				$D_1 \leqq 1.6\ m$	$1.6\ m < D_1 \leqq 2.5\ m$
Case 2		D_2			$D_2 \leqq 0.6\ m$	$0.6\ m < D_2 \leqq 1.3\ m$
Case 3			D_3	D_4	$y_p \leqq -0.2188(x_p-3)$ and $y_p \leqq 1.5$	$-0.2188(x_p-3) < y_p \leqq -0.2188(x_p-3)+0.7063$ and $1.5 < y_p \leqq 2$

Fig. 8(a)는 Case 1 알고리즘의 감지영역을 나타낸 것으로 센서 ①의 값이 0보다 크고 1.6보다 작으면 위험영역 내에 보행자가 있다고 판단하고, 1.6보다 크고 2.5보다 작으면 경고영역 내에 보행자가 위치한다고 판단한다.

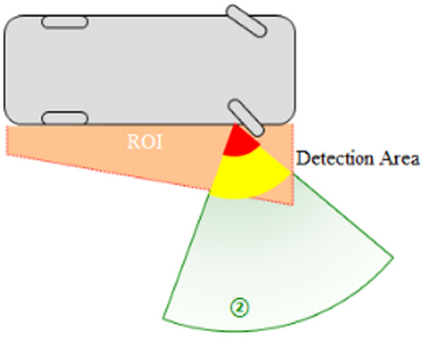
Fig. 8(b)는 Case 2 알고리즘의 감지영역을 나타낸 것으로 센서 ②의 값이 0보다 크고 0.6보다 작으면 위험영역 내에 보행자가 있다고 판단하고, 0.6보다 크고 1.3보다 작으면 경고영역 내에 보행자가 위치한다고 판단한다.

Fig. 8(c)는 Case 3 알고리즘의 감지영역을 나타낸 것으로 센서 ③과 ④의 값이 0보다 클 때, 알고리즘 식을 만족하면 보행자가 인식영역 내에 위치한다고 판단한다.

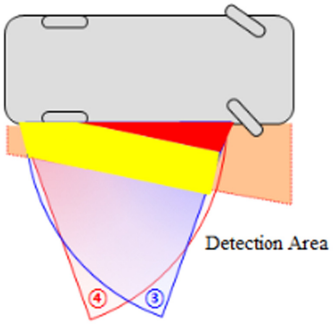
Fig. 9는 최종적인 위치인식 기반 감지영역이다.



(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3

Fig. 8 Detection area

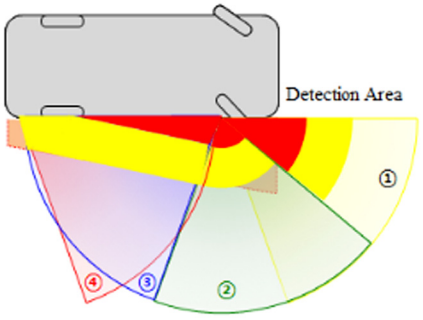


Fig. 9 Detection area on the base of location

4. 가상주행환경 기반 실험

실험은 PreScan 버전 7.11을 사용하여 가상환경에서 실시하였다.

4.1 센서의 인식영역

승합차 모델이 정지상태일 때 차량 측면 전 영역에 직경 0.1 m, 높이 1 m의 원기둥과 키 1.2 m, 어깨폭 0.5 m, 가슴에서 등까지의 폭 0.4 m의 어린이 모델을 위치시켜 실험을 진행하였다.

영역 기반의 인식 결과는 Fig. 10, 11과 같고, 위치 기반의 인식 결과는 Fig. 12, 13과 같다.

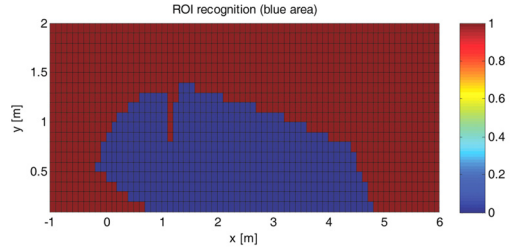


Fig. 10 Cylinder recognition

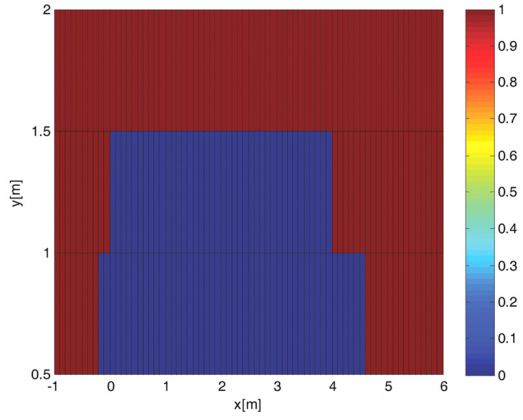


Fig. 11 Child recognition

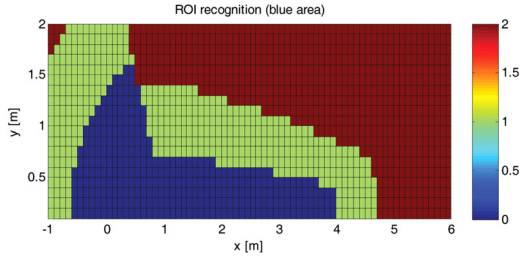


Fig. 12 Cylinder recognition

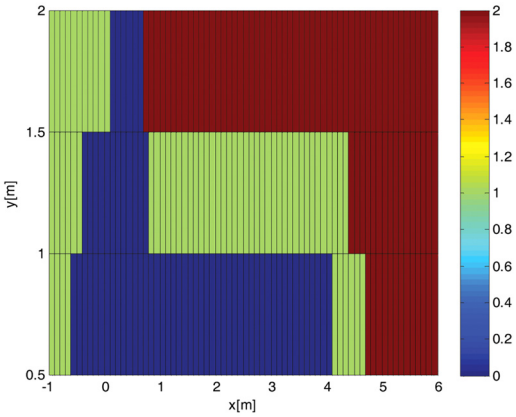


Fig. 13 Child recognition

4.2 보행자 차량 연동 시나리오

차량이 선회 운동을 하고 보행자가 위험영역에 위치한 상황에서 알고리즘을 검증하였다. 보행자가 안전한 영역에 있을 시에는 브레이크 조작을 하지 않았고, 위험영역에 있을 때 풀 브레이크를 인가하였다.

결과는 Fig. 14, 15와 같다.

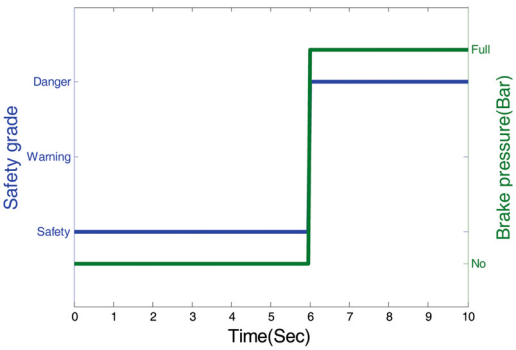


Fig. 14 Child recognition

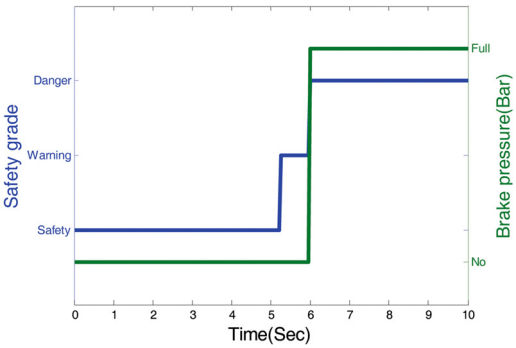


Fig. 15 Child recognition

5. 결 론

본 논문에서는 차량 특성에 기반하여 차량선회와 보행자 이동을 동시에 고려한 인식영역을 도출했고, 차량 특성 및 초음파 센서 특성에 따른 초음파 센서의 장착위치를 선정하였다. 장착 위치에 설치된 초음파 센서들이 인식영역을 감지할 수 있는 알고리즘은 위험영역 내에 보행자의 유무를 확인하는 영역기반, 보행자 위치에 따른 위험도를 나타내는 위치기반 두 가지의 알고리즘으로 제안하였다. 실험은 앞의 내용을 바탕으로 가상환경에서 초음파 센서의 특성을 분석하고 제안 알고리즘을 검증하는 것으로 실시하였다.

추후로는 센서의 동특성 및 잡음으로 발생하는 오차를 반영한 신뢰성 있는 연구 및 제작 단가, 조립 난이도 등 공정에 대한 비용을 고려한 연구가 필요할 것이다.

후 기

본 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역신산업 선도인력양성사업 성과임(NRF-2016H1D5A1910536).

References

1) J. S. Park, S. B. Jeong, Y. W. Yun and G. J. Park, “Performance Analysis of an Active System for Pedestrian Protection Using Impact Analysis,” Transactions of KSAE, Vol.21, No.6, pp.100-107, 2013.
2) W. B. Lee and S. J. Kang, “A Study on Light Weight Hood Design for Pedestrian Safety,” Transactions of KSAE, Vol.15, No.1, pp.106-115, 2007.
3) S. H. Noh and D. R. Lee, “Study on Pedestrian Protection Device in Collision Using Pneumatic Cylinder and Simple Link Mechanism,” Journal of the Korean Society for Power System Engineering, Vol.12, No.4, pp.64-71, 2008.
4) F. Xu and K. Fujimura, “Pedestrian Detection and Tracking with Night Vision,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, Vol.6, No.1, pp.63-71, 2005.

5) T. K. Tran, N. N. Bui and J. Y. Kim, “Human Object Detection in Video Using Combination between Poselet and Gradient Local Auto-Correlation,” Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol.13, No.1, pp.45-52, 2015.
6) B. J. Choi, B. W. Yoon, J. K. Song and J. S. Park, “Implementation of Pedestrian Detection and Tracking with GPU at Night-time,” Journal of Broadcast Engineering, Vol.20, No.3, pp.421-429, 2015.
7) Y. C. Park and Y. S. Kwon, “The Measurement of Pedestrian Speed in Central Business District,” Journal of The Korean Regional Development Association, Vol.15, No.1, pp.113-126, 2003.