
초음파 센서를 이용한 차량 전·후방 감시 시스템

최 훈* · 장시웅**

Front and Rear Vehicle Monitoring System using Ultrasonic Sensors

Hun Choi* · Si-Woong Jang**

이 논문은 2012학년도 동의대학교 연구년 논문으로서 작성되었음

요 약

최근 자동차 산업의 활성화로 인해 교통사고 급증이 사회 문제화 되면서 사고를 미연에 방지할 수 있는 운전자 보조 시스템 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 일반적으로 자동차 사고 원인의 70% 이상이 운전자 과실에 의해서 발생되고 전체 추돌사고의 75%가 시속 29km 이하의 속도에서 발생하므로 이를 예방하기 위해서는 운전자의 인지·판단을 보조하는 시스템의 개발이 필수적이다.

본 논문에서는 가장 많은 추돌사고가 일어나는 저속 주행 및 주차 시에 차량과 장애물과의 거리를 실시간으로 감시하는 차량 전·후방 감시 시스템을 구현하였다. 제안한 시스템은 고지향각 초음파 센서, 광지향각 초음파 센서, ATmega128, DSP 프로세서로 구성된다.

ABSTRACT

The researches on driver assistance systems that can prevent an accident have been actively performed due to social issues of traffic accidents with development of vehicle industry in recent. It is required for researchers to develop systems which assist driver's perception and judgment when considering that over 70% of traffic accidents occur by drivers' carelessness and 75% of the total accidents occur at the speed of less 29km per hour.

In this paper, we implemented a front and rear vehicle monitoring system that monitors distance from a vehicle to obstacles in real-time at the low-speed or back-ward driving. The proposed system consists of ultrasonic sensors of high angle and wide angle of beam spread, ATmega128, and DSP processor.

키워드

초음파 센서, 전후방 차량 모니터링, 잡음 제거, AVR, DSP

Key word

Ultrasonic sensor, Front and Rear Vehicle monitoring, Noise cancellation, AVR, DSP

* 정회원 : 동의대학교 전자공학과 조교수

** 중신회원 : 동의대학교 컴퓨터과학과 교수 (swjang@deu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 06. 01

심사완료일자 : 2012. 06. 01

I. 서 론

운전 보조 시스템은 운전 시 차량사고를 최소화시킬 뿐만 아니라 운전자의 편의까지 제공하는 시스템이다. 최근 자동차 산업의 활성화로 인해 교통사고 급증이 사회 문제화 되면서 사고를 미연에 방지할 수 있는 운전자 보조 시스템 관련 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 일반적으로 자동차 사고 원인의 70% 이상이 운전자 과실에 의해서 발생되고 전체 추돌사고의 75%가 시속 29[km]이하의 속도에서 발생한다[1]. 이를 예방하기 위해서는 운전자의 인지·판단을 보조하는 시스템의 개발이 필수적이다[2]. 현재 운전 보조 시스템이 각국의 주요 자동차 제조회사에서 개발하여 실용화 되고 있다. 대표적인 예로 가속 페달을 밟지 않아도 자동차가 일정한 속도로 운행해 주는 기능(Smart Cruise Control), 충돌 방지 기능(City Safety), 주차 보조 시스템 등이 있다[3, 4].

본 논문에서는 운전 보조 시스템으로서 자동차 전·후방에 나타난 차량 또는 장애물을 감지하여 감지된 물체와의 거리를 운전자에게 알려주고 충돌 위험 거리에서 경보음을 울려 운전자가 위험을 즉시 인지할 수 있도록 도와주는 차량 전·후방 감지 시스템(FRVM system; Front and Rear Vehicle Monitoring System)을 구현하였다. 즉, 가장 많은 추돌사고가 일어나는 저속 주행 및 후진 시에 차량 또는 장애물과의 거리를 실시간으로 감지하는 시스템이다. 구현된 시스템은 10[m]의 감지 거리 및 10°의 지향각을 갖는 고지향각 초음파 센서, 3[m]의 감지 거리 및 180°의 지향각을 갖는 광지향각 초음파 센서, ATmel사의 ATmega128, TI사의 DSP 프로세서로 구성된다.

II. 초음파 센서

자동차 후방 장애물 감지 센서로 현재 초음파 센서를 이용하고 있으며 대부분의 후방 경보 시스템(BWS)용 초음파 센서는 40kHz의 초음파를 발산한다. 초음파 센서를 이용한 거리 측정의 초음파가 물체에 부딪쳐 되돌아올 때까지의 시간을 측정함으로써 물체까지의 거리를 측정하는 것이다. 초음파의 전파속도는 다음과 같다.

$$V_{\text{초음파}} = 331.5 + 0.60714t \cong 331.5 + 0.6t [m/s] \quad (1)$$

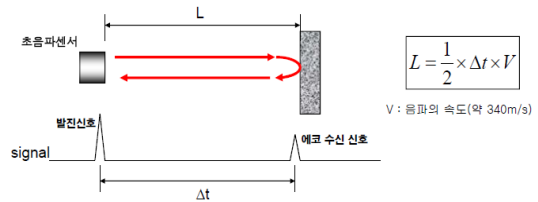


그림 1. 초음파 센서 작동 원리
Fig. 1 Operating principle of ultrasonic sensor

여기서 $V_{\text{초음파}}$ 는 초음파 속도이고 t 는 섭씨온도이다. 상온 25℃에서 초음파의 속도는 약 1245.6 [km/h]이다. 일반적으로 초음파 센서는 차량의 주차와 저속주행 시 차량과 물체 사이의 거리 감지를 위해 사용된다. 그림 1은 초음파 센서 작동 원리를 보이고 있다. Δt 초 동안 발신된 주파수가 물체에 부딪쳐 다시 수신되기까지의 거리는 $V \times \Delta t$ 가 된다. 하지만 이 거리는 초음파를 발신해 수신된 시간으로 측정한 왕복거리이므로 물체와의 실제 거리는 1/2 한 값이 된다[5].

$$D_{\text{실제}} = (331.5 + 0.6T [m/s]) \times \frac{\Delta t}{2} [s] [m] \quad (2)$$

여기서 T =섭씨온도, Δt =송신되고 수신되는 시간간격이다.

III. 본 론

3.1. 시스템 개요

차량 전·후방 감지 시스템의 전체 시스템은 그림 2와 같다. 전방 차량 및 장애물과의 거리 데이터를 취득하는 고지향각 초음파 센서와 후방 차량 및 장애물과의 거리 데이터를 취득하는 광지향각 초음파 센서, 장애물과의 거리를 표시하는 7세그먼트, 전방, 후방의 영상을 출력하기 위해 DSP와 LCD 및 충돌 위험 경보를 제공해 주는 버저로 구성되어 있다. 제한한 시스템은 전방 거리 감지 모드, 후방 거리 감지 모드 및 전·후방 동시 감지 모드로 나누어 7세그먼트에 감지 거리를 표시하도록 설계하였고, 각 모드는 토글 스위치로 선택하도록 하였다.

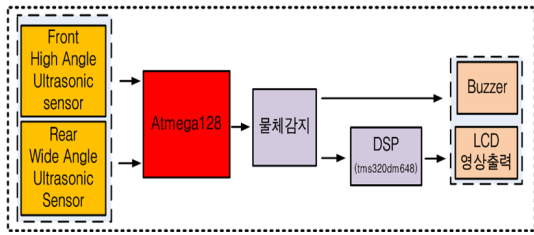
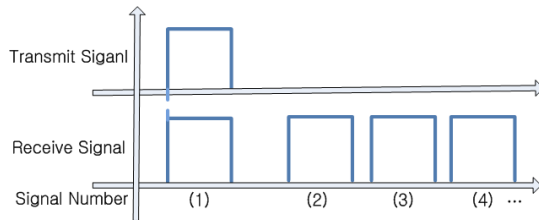


그림 2. 제안한 차량 전·후방 감시 시스템 구성도
Fig. 2 Block diagram of the proposed FRVM

3.2. 전방거리 측정

전방감시에 사용한 초음파 센서는 Hagisonic사의 HG-M40DNI로서, 최대 10m의 감지 거리와 10°의 지향각을 갖는 송수신겸용 초음파 센서이다. 고지향각 초음파 센서의 거리감지는 MCU에서 초음파센서에 트리거(trigger) 펄스를 입력하면 트리거 펄스에 동기되어 초음파센서에서 초음파를 송신하고, 장애물에 부딪쳐 반사되어 돌아오는 초음파를 수신하여 출력에 펄스를 생성한다. 고지향각 초음파센서 입출력파형은 그림 3과 같다.



Filtering the number (1) Signal
Calculate the distance from obstacle using number (2) signal
Disable the external interrupt for filtering (3)...(n) signals

그림 3. 고지향각 초음파센서 입출력 파형
Fig. 3 Input and output signal of ultrasonic sensor with high angle

그림 3의 수신 신호에서 트리거 펄스의 상승엣지에 동기되어 나타나는 펄스를 볼 수 있다. 그림 3의 (1)은 내부 유도 간섭 신호이므로 거리계산에 영향을 미치지 않는다. 내부 유도 간섭 신호가 출력된 후에 수신되는 펄스인 그림 3의 (2)는 장애물에 반사되어 돌아오는 초음파를 수신한 거리 펄스로서, Trigger 신호의 상승엣지 시점부터 이 펄스의 상승엣지까지의 시간을 측정하여 식 (2)로부터 거리를 계산한다.

3.3. 후방거리 측정

후방감지는 주로 주차 시에 활용되므로, 긴 감지거리가 필요하지 않는 대신 넓은 범위의 감지가 요구되므로 3[m]의 최대 감지 거리와 횡방향 180°, 축방향 65°의 지향각을 가진 Hagisonic사의 HG-B40A의 이방성 초음파센서를 선택하였다. 광지향각 초음파센서의 거리감지는 전방거리 측정에 사용한 고지향각과 똑같은 방식으로 동작하고 입·출력의 파형에서 차이가 난다. 광지향각의 입·출력 파형은 그림 4와 같다.

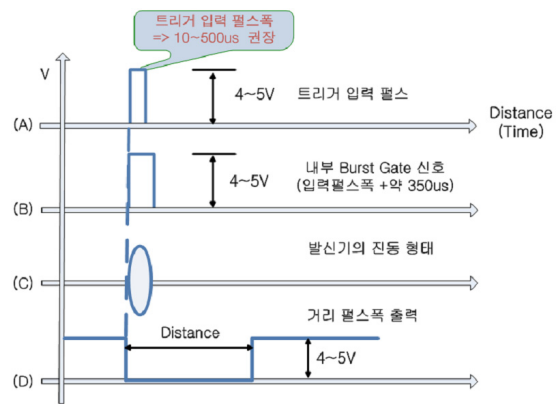


그림 4. 광지향각 초음파 센서 입출력 파형
(A) 트리거 입력 펄스, (B) 내부 Burst Gate 신호, (C) 발신기의 진동형태, (D) 거리 펄스폭 출력
Fig. 4 Input and output signal of ultrasonic sensor with wide angle, (A) Trigger input pulse, (B) Internal Burst Gate signal, (C) Vibration aspect of Transmitter, (D) Pulse width output for distance

초음파가 수신되지 않는 대기 상태 동안에는 그림 4의 (D)처럼 출력이 HIGH 상태를 유지하다가, 그림 4의 (A)의 트리거 펄스가 인가되는 동시에 버스트(Burst) 펄스(초음파)가 송신되고 출력은 LOW 상태가 된다. 장애물에 반사된 초음파가 수신되면 다시 출력은 HIGH 상태가 되고 다시 초음파를 수신하기 까지 대기 상태에 진입한다. 후방 거리 측정은 출력이 LOW 상태인 시간을 측정하여 식 (2)로부터 거리를 계산한다.

3.4. 잡음 제거 알고리즘

전방거리 측정 시 고지향각 초음파 센서의 출력을 측정하면 그림 3에서의 내부 유도 간섭 신호와 거리펄스 이외에 잡음 성분을 포함한 반사파가 함께 출력된다. 이

반사파들은 장애물에 반사되어 다른 곳으로 빠진 초음파가 다경로(multi path)를 통해 돌아오는 신호이다. 거리 펄스의 추출을 위해 잡음과 반사파의 제거는 필수적이다. 잡음과 반사파의 제거를 위해 다음과 같은 잡음 제거 방법을 사용하였다. 잡음 제거 알고리즘의 흐름도는 그림 5와 같다.

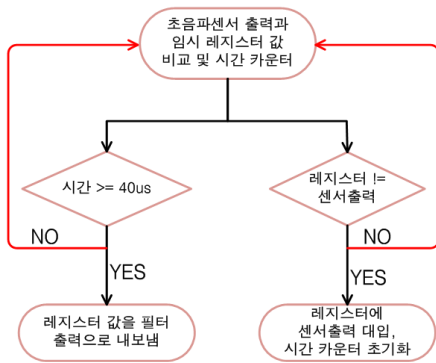


그림 5. 짧은 잡음 펄스 제거 알고리즘 흐름도
Fig. 5 Algorithm flow chart for cancelling short noise pulse

먼저 초음파센서에서 출력되는 펄스의 길이를 확인하여 40[us]보다 짧은 펄스를 제거한다. 즉, 초음파센서의 출력을 감시하면서 출력 변화가 발생하면 이 출력 값이 40[us]동안 유지되는지를 검사하고, 40[us]이하의 출력값은 잡음신호로 간주한다. 두 번째로 40[us]이하의 잡음을 모두 제거하여도 40[us]보다 큰 반사파 펄스 신호가 남는 경우가 있으므로 이러한 펄스 신호를 제거한다. 즉, 반사파 펄스는 매 송신신호 주기마다 측정되는 것이 아니라, 불특정하고 적은 빈도수로 측정된다. 따라서 압도적으로 많은 빈도수로 측정되는 펄스를 추정 거리 펄스로 추출하고, 추정 거리 펄스와 비교하여 2[m] 이상 차이 나는 펄스는 제거함으로써 반사파 펄스를 제거하였다.

3.5. 능동적인 영상 출력

초음파 센서를 이용하여 측정한 거리 데이터로 전방과 후방에서 물체 감지 시 운전자에게 감지된 부분의 영상을 보여주는 알고리즘은 그림 6과 같다. 전, 후 거리를 비교하는 알고리즘을 사용하여 능동적으로 영상을 운전자에게 보여줄 수 있도록 하였다. 즉, 알고리즘에서

보듯이 전방에서 감지된 물체와의 거리와 후방에서 감지된 물체와의 거리를 계산해서 비교를 하여 작은 값이 나온 부분의 영상을 보여주어 전방과 후방에서 물체가 감지될 때 능동적으로 운전자에게 보여주도록 하였다. 즉, 자동차와 가장 근접한 방향의 영상을 보여주는 것이다.

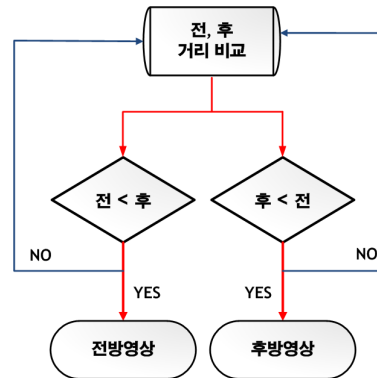


그림 6. 능동 영상 출력 알고리즘
Fig. 6 Adaptive image display algorithm

3.6. 조향장치 각도 감지 및 추적

전방 초음파 센서의 경우 10°의 지향각으로 짧은 감지범위를 가지는데 차량의 주행방향이 변할 때 전방의 물체 감지 성능이 저하될 수 있다. 따라서 스텝모터와 광센서, LED을 이용해 전방 초음파 센서를 주행방향에 따라 회전시켜 측정오차를 줄인다. 초음파 센서의 회전은 조향장치 회전각에 따라 회전하도록 하였다.

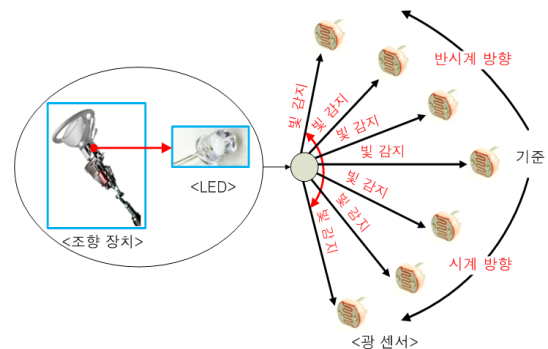


그림 7. 광센서를 이용한 조향각 감지
Fig. 7 Steering angle detection using optical sensor

우선 그림 7에서 보듯이 조향장치에 LED를 장착해 조향장치에 따라 회전하도록 하고 LED의 빛이 비치는 곳에 광센서를 위치시킨다. 광센서가 회전하는 LED의 빛을 감지하면 ATmega128의 ADC를 사용해 데이터 값을 UART를 통해 확인할 수 있다. UART를 통해 확인한 광센서 데이터 값을 빛이 받았을 때의 최소값 이상을 ON 시키고 이하의 값을 OFF 시키도록 하여 ON이 되었을 때 스텝모터가 이동할 각을 매칭시킨다. 매칭한 각에 따라 그림 8에서 보듯이 스텝모터가 회전하게 되며 스텝모터에 장착한 초음파 센서도 회전하도록 하였다.

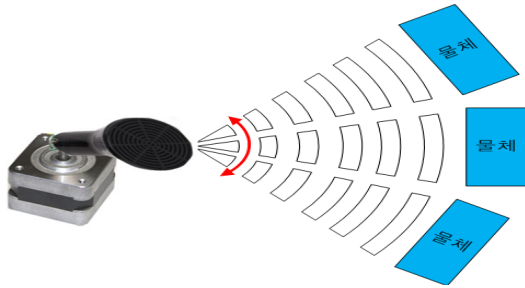


그림 8. 초음파 센서 제어를 이용한 물체 감지
Fig. 8 Object detection using ultrasonic sensor control

3.7. DSP를 이용한 화면 색 변경

그림 9과 같은 YUV Format을 이용하여 초음파 센서에 의해 물체가 감지된 쪽의 영상의 화면 색을 바꾸어 주어 시각적으로 위험 상황을 경고해 줄 수 있도록 하였다. YUV Format에서 픽셀을 조절하여 원하는 위치에 색을 적용시킬 수 있다. YUV로 색을 표현하기 위해 YUV 값을 RGB 값으로 바꾸어 YUV 값으로 나타낼 수 있는 색을 확인하여 색을 표현하였다. YUV 값을 RGB 값으로 바꾸는 변환식은 그림 10과 같다.

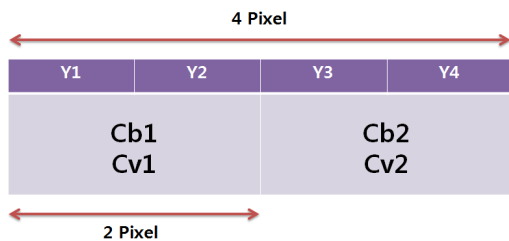


그림 9. YUV 포맷
Fig. 9 YUV Format

성분	계산식
Y	$Y = 16 + 0.257R + 0.504G + 0.098B$
Cb (U)	$Cb = 128 - 0.148R - 0.291G + 0.439B$
Cv (V)	$Cv = 128 - 0.439R - 0.368G - 0.071B$

성분	계산식
R	$R = 1.164(Y-16) + 1.596(Cr-128)$
G	$G = 1.164(Y-16) - 0.813(Cr-128) - 0.391(Cb-128)$
B	$B = 1.164(Y-16) + 2.018(Cb-128)$

그림 10. YUV에서 RGB 변환
Fig. 10 RGB Transform in YUV

3.8. 거리 표시 및 충돌 위험 경고 알고리즘

어두운 차량 내에서 짧은 시간 내에 운전자에게 거리를 인식시켜야 하므로, 효과적인 측정거리의 표시를 위해 LCD나 다른 출력 장치보다 LED를 사용하는 7-세그먼트를 선택하였다. 또한 충돌 위험 경보를 위해 버저를 사용하였다. 버저의 소리는 주기적으로 발생하도록 설계하였는데, 측정된 거리에 따라 주기가 변하도록 하였다. 버저 출력 신호의 파형은 그림 11과 같다. 버저는 출력이 LOW 상태일 때 소리가 나고 HIGH 상태일 때 소리가 나지 않는 부논리 구조를 사용하였다.

그림 6에서 볼 수 있듯이 LOW 상태의 유지 시간은 100m[s]로 고정되어 있고 이 때 동안 부저에서 소리가 나오게 된다. HIGH인 상태는 그림 10에서 보는 것과 같이 시간이 지남에 따라 측정거리가 점차 감소하면서 HIGH인 상태의 시간이 점차 감소됨을 보여주고 있다. 이것은 측정거리가 감소함에 따라서 버저 소리의 주기가 짧아지는 것을 의미한다.

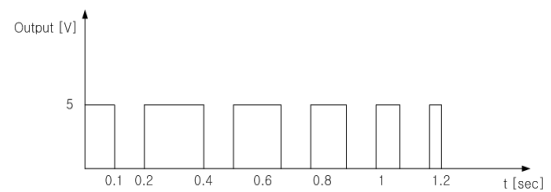


그림 11. 물체-차량 거리 감소에 따른 버저 출력 변화
Fig. 11 Buzzer output changes as decreasing the distance between object and vehicle

표 1. 전후방 감시 모드 선택
Table. 1 Mode selection for front or rear monitoring

	Channel	Front/Rear
Front 1 채널 모드	0	0
Rear 1 채널 모드	0	1
Front&Rear 2 채널 모드	1	0
	1	1

7-세그먼트 구동과 버저는 잔상효과를 이용하여 토글 스위치로 동적 디스플레이 방식을 사용하였다. 표 1에서 보는 것과 같이 거리의 표시와 충돌 위험 정보는 전방을 감시하여 전방의 거리를 7-세그먼트에 출력 및 경보하는 Front 모드, 후방을 감시하여 후방의 거리를 세븐 세그먼트에 출력 및 경보하는 Rear 모드, 전방·후방을 동시에 감시하여 전방·후방의 거리를 두 개의 세븐세그먼트에 출력 및 경보하는 전후방 감시 모드의 3가지 모드로 설계하였다.

3.9. 초음파 센서 거리 데이터 오차 분석

거리 데이터의 정확도를 알아보기 위해 표 2에서처럼 실험 측정 환경을 구성하여 실험을 하였다. 초음파 센서를 한 위치에 고정시키고 거리에 따라 물체를 위치시켜 UART를 통해 거리를 확인하고 오차를 계산하였다.

표 2. 물체-차량 거리 측정 실험 환경
Table. 2 Experiments environment for measuring the distance between object and vehicle

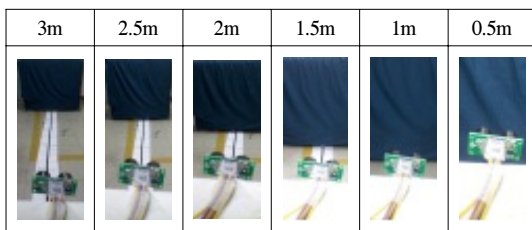


그림 12는 초음파 센서를 이용한 측정 거리 오차를 보이고 있다. 측정할 때마다 바뀌는 거리 데이터 값을 같은 거리에서 10회 반복하여 측정하고 메디안(median) 평균을 사용해 오차를 계산하였다. 그래프에서 초음파 센서의 특성 상 짧은 거리인 1.5m 이하에서는 큰 오차를 보이는 것을 알 수 있으며 2m 이상에서는 비교적 정

확한 값을 가지는 것을 알 수 있다. 여기서 1.5m 이하에서는 운전자가 사고를 인지하고 미연에 방지하기에는 너무 짧은 거리이기 때문에 큰 오차가 생기더라도 무관하며 2m 이상에서 비교적 정확한 값이 측정 되므로 물체가 감지 시 감지 방향의 영상을 보고 사고를 대처할 수 있는 충분한 거리를 확보할 수 있다. 이 실험을 통하여 초음파 센서를 이용해 전, 후방 감시가 적합하다는 것을 알 수 있다.

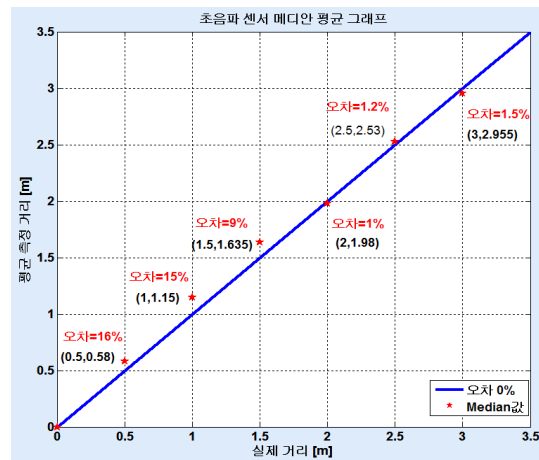


그림 12. 초음파 센서 측정 거리 오차
Fig. 12 Errors of measuring distances using the ultrasonic sensor

3.10. 제안한 전·후방 감시 시스템의 성능평가
초음파 센서를 이용한 차량 전·후방 감지 시스템의 prototype은 그림 13과 같다.



그림 13. 제안한 차량 전·후방 감시 시스템 prototype
Fig. 13 Prototype of the proposed front and rear vehicle monitoring system

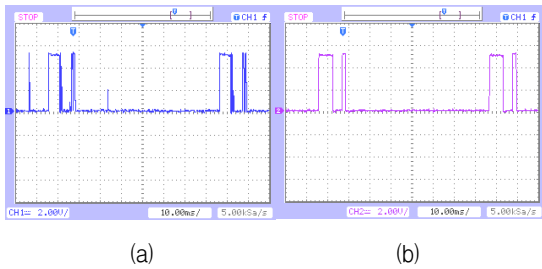


그림 14. 고지향각 초음파 센서 출력 (a) 잡음이 부과된 센서 출력, (b) 잡음이 제거된 센서 출력
 Fig. 14 Ultrasonic sensor outputs with high angle of beam spread (a) noisy sensor output, (b) denoised sensor output

아동용 전동 자동차의 전후방에 카메라와 초음파 센서를 장착하여 전방과 후방의 영상을 확보하도록 하였으며 전방, 후방의 물체를 감지할 수 있도록 하였다. 또한 영상 출력을 위해 LCD를 운전석 앞에 설치하여 운전자가 영상을 확인할 수 있도록 하였다. LCD는 물체가 감지되지 않을 시의 전방의 화면을 기본으로 한다. 그림 14 (a)는 구현된 시스템에서 전방을 감지하기 위해 사용한 고지향각 초음파센서의 실제 출력이다. 출력결과를 살펴보면 그림 3의 이상적인 출력 신호에 잡음 성분이 많이 포함되어 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 잡음 성분을 제거하기 위해 잡음 제거 알고리즘을 적용하였다. 그림 14 (b)는 잡음이 제거된 결과를 나타내고 있다.

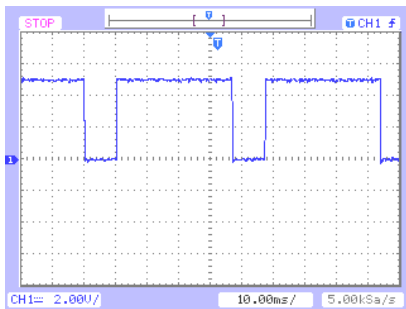


그림 15. 광지향각 초음파 센서 출력
 Fig. 15 Ultrasonic sensor outputs with wide angle of beam spread

그림 15는 후방을 감지하기 위해 사용한 광지향각 초음파 센서의 실제 출력이다. 고지향각을 갖는 전방 센서

출력과 달리 광지향각의 후방 센서 출력신호는 잡음 성분이 포함되지 않은 그림 4의 이상적인 출력과 유사함을 알 수 있다. 따라서 잡음제거 알고리즘의 적용없이 비교적 정확한 거리 데이터를 얻을 수 있다.

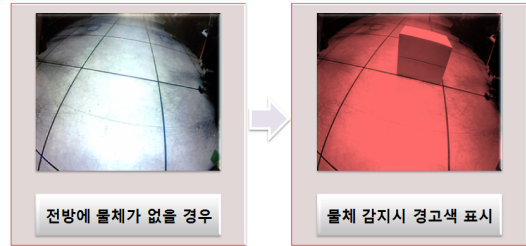


그림 16. 물체 감지 시 색 변경
 Fig. 16 Color changing when detecting object

그림 16에서 보는 것과 같이 물체가 감지되지 않을 시에는 카메라에서 얻은 원 영상을 운전자에게 보여주지만 물체가 감지되었을 시 DSP 프로세서를 이용한 영상 처리를 통해 물체가 구별되는 화면과 함께 배경색을 입힌 영상을 LCD에 출력한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 초음파 센서를 이용하여 차량 전·후방 감시 시스템을 구현하였다. 고지향각 초음파센서에서의 잡음 성분은 잡음제거 알고리즘을 통해 제거하였고 버저를 통해 물체가 점점 가까워질 때 소리로 알려주는 시스템을 구현하였다. 또한 카메라와 DSP, LCD를 통해 초음파 센서가 물체를 감지하였을 때 감지되는 방향의 영상의 배경색을 변경해 운전자에게 보여주도록 하였다. 개발된 시스템은 잡음 및 반사파를 잡음 제거 알고리즘을 통해 제거하여 보다 정확한 거리 측정이 가능하였고 버저로 위험상황을 소리로 알려주어 운전자가 즉시 인지할 수 있어 사고 예방에 큰 효과를 줄 것이다. 또한 초음파 센서가 물체를 감지한 부분의 영상을 보여주어 물체와의 접근 정도를 시각적으로 확인할 수 있으며 영상의 배경색을 변경해주어 위험상황을 한 번 더 알려줄 수 있다.

참고문헌

- [1] “자동차 주행 안전지원 시스템”, 한국과학기술정보연구원, 2008.
- [2] 이수영 외 1명, “지능형 차량을 위한 거리 감지 센서 기술”, 자동차공학회지, 1996.
- [3] 배창호, “차량 레이더 기술 동향 연구”, 전자통신동향분석 제21권 제4호, 2006.
- [4] 박병준, 오세중, “영상처리와 초음파 센서를 이용한 자동 주차 시스템”, 한국산학기술학회, 2009
- [5] <http://isnde.hanyang.ac.kr/isnde/562>
- [6] 김인경, 류정탁, “안전운전 보조시스템의 제작과 기초측정 실험”, 2009.
- [7] 이경수, “지능형 자동차 : 차세대 능동 안전 및 운전 보조 시스템”, 2006.
- [8] 박유경, “독일 운전자보조시스템 개발 가속화”, 2006.

저자소개



최 훈(Hun Choi)

2006년 충북대학교 전자공학과 박사
1995년 ~ 1998년 LG반도체
2006년 ~ 2008년 한국표준과학
연구원 Post-Doc.

2008년 3월 ~ 현재 동의대학교 전자공학과 조교수
※ 관심분야: 계측신호처리, 신호처리 응용시스템,
진동 모니터링, 지진파 분석



장시웅(Si-Woong Jang)

1984년 부산대학교 계산통계학과
이학사
1993년 부산대학교 전자계산학과
이학석사

1996년 부산대학교 전자계산학과 이학박사
1986년 ~ 1993년 대우통신(주) 종합연구소
2004년 ~ 2005년 University of Texas at Dallas 객원교수
1996년 ~ 현재 동의대학교 컴퓨터과학과 교수
※ 관심분야: 차량용 네트워크, 데이터베이스