

현가장치 제어를 위한 초음파 예견 센서 모듈의 검증

김 민 현 · 최 세 범

한국과학기술원 차량제어연구실

Verification of Ultrasonic Preview Sensor Module for Suspension Control

Min-Hyun Kim · Seibum B. Choi

Automotive Control Laboratory, KAIST, 291, Daehak-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34141, Korea

Abstract : In this paper, an ultrasonic predictive sensor module for suspension control is proposed and its algorithm is verified on a real vehicle. The optimum hardware and software configuration for measuring the height of the road surface is applied. In hardware, the robustness to noise is shown by using the threshold based time-of-flight detection method. In software, a simple low pass filter with various corrections is applied to achieve good performance in a low performance micro-controller in real-time. This paper also shows the experimental environment and experimental results to verify the proposed sensor module. Experimental result shows that this ultrasonic sensor module can be used sufficiently in a real vehicle.

Key words : Ultrasonic sensor(초음파 센서), Preview sensor(예견 센서), Suspension preview control(현가장치 예견 제어), ToF(비행시간), Signal processing(신호 처리)

1. 서 론

지금까지 현가장치 예견제어¹⁾를 위한 센서로 양안카메라나 라이더가 사용되고 있다. 둘 다 빛을 이용하므로 비교적 장거리 측정이 가능하다. 양안 카메라는 피동 센서 중 하나로, 표본 추출률은 낮지만 고해상도 영상으로부터 복합적인 다양한 정보를 얻을 수 있다⁵⁾. 라이더 센서는 능동 센서 중 하나로, 표본 추출률이 높아 빠른 정보 획득이 가능하고, 관측 시야가 매우 좁아 알고자 하는 점과의 거리를 비교적 정확하게 측정이 가능하다⁴⁾.

하지만 위의 두 센서 시스템은 매우 고가이며, 많은 데이터 처리를 위해 고성능의 정보처리장치를

사용해야 한다. 또한 측정에 빛을 사용하므로 주변 환경의 조도가 정상적이지 않은 상황이나 눈, 비와, 먼지 같은 장애물에 직접적인 영향을 받는다.

본 연구에서는, 예견 센서의 이러한 한계점을 해결하기 위해 초음파 센서를 사용하고자 한다. 초음파 센서는 저렴할 뿐만 아니라 작동방식이 간단해 다양한 분야에서 이용되고 있다. 특히 로봇이나 차량분야에서 ToF(비행시간)를 이용한 주변 환경 인지에 많이 사용된다. 이러한 초음파 센서 모듈로, 노면과 차체와의 거리를 지속적으로 측정하여 능동 현가장치의 제어기에 예견 정보를 제공할 수 있다. 이를 통해 현가장치가 로봇이나 차체의 혼들림을 억제하는데 도움을 줄 수 있다.

하지만, 초음파는 주변 환경에 따라 속도가 변하고, 주변 잡음에 취약한 단점이 있다. 또한 목표물과의 거리가 멀어질수록 신뢰도가 떨어지고, 관측 시

* 김민현, E-mail: minhyun@kaist.ac.kr

야가 넓어서 주변 환경의 세밀한 복원이 어렵다²⁻³⁾.

이러한 단점들을 해결하기 위해, 수신기의 수를 증가시키고, 온도 보정, 측정 위치 보정, 간단한 신호 필터링 등을 수행하여 낮은 성능의 마이크로컨트롤러에서도 신호의 결점을 보상할 수 있도록 하였다. 제안하는 이 방법을 검증하기 위해 실제 차량에 장착하여 노면 복원 실험을 진행하였다.

2. 초음파 기반 예견 센서 모듈

예견 센서 모듈에 대한 설명은 하드웨어 부분과 소프트웨어 부분으로 나뉜다. 18MHz의 저가 MCU를 사용하는 만큼, 소프트웨어적 부담을 최소화하면서 노면 높이 추정 성능을 유지하는 방법을 제안하도록 한다.

2.1 하드웨어적 설정

노면 높이 추정을 위한 초음파 센서 모듈은 하나의 초음파 송신기와 주변 잡음에 강인함을 위한 두 개의 수신기로 구성된다. 송신기에서 만들어진 초음파가 비행 후 수신기로 수신되면, 송신 된 시간과 수신 된 시간의 차인 비행시간을 통해 거리를 측정 할 수 있다. 이 초음파를 수신기에서 인식하는 방법에는 역치 인식, 교차상관 인식, 모델기반 인식, 포락선을 이용한 인식방법 등이 있는데, 역치 인식을 제외하면 모두 고성능의 하드웨어와 복잡한 알고리즘을 필요로 한다. 따라서 비교적 간단한 역치 인식 방법을 센서에 하드웨어적으로 적용하여 노면 추정

에 사용하도록 한다.

2.2 소프트웨어적 설정

본 연구에서는 노면의 높이를 추정하는 기본적인 방법과 종방향 측정 위치 보정방법은 기본적인 센서 보정방법²⁻³⁾을 이용한다. 여기에 추가적으로 온도 변화에 따른 음속을 (1)을 이용하여 보정하도록 한다.

$$v_{wave} = 331.3 + 0.606\vartheta \quad (1)$$

여기서 ϑ 는 섭씨온도이며 차량에 장착된 센서를 통해 얻을 수 있다.

이를 통해, 매 12ms 주기의 초음파 송신마다, 두 초음파 수신기로부터 두 개의 거리정보 d_1 과 d_2 를 얻을 수 있다.

실차 환경은 주변 환경 잡음이 많으므로, 앞에서 얻은 거리 정보에 레이트 리미터와 함께 (2)의 저역 필터를 적용한다.

$$\begin{bmatrix} d_{1,n} \\ d_{2,n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} d_{1,n-1} \\ d_{2,n-1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \right) \quad (2)$$

여기서 d_x 는 필터 처리전인 거리정보를 의미하고, $d_{x,n}$ 은 필터 처리된 거리정보, α 는 조율 매개변수이다.

마지막으로, (2)에서 얻은 필터 처리된 거리 정보에 (3)과 같이, 가중 평균법을 적용한다. 이를 통해 최종적인 노면과의 거리 d_f 를 얻을 수 있다. 이때 송신된 초음파의 총 이동거리가 길어질수록 신뢰도가



Fig. 1 예견 센서 모듈의 실차 검증을 위한 실험 환경

줄어들게 됨으로, 가중치는 이동 거리에 반비례하도록 적용한다.

$$d_f = \left[\frac{d_{2,n}}{d_{1,n} + d_{2,n}} \frac{d_{1,n}}{d_{1,n} + d_{2,n}} \right] \begin{bmatrix} d_{1,n} \\ d_{2,n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

이 과정을 통해 초음파의 매 송신 시마다 노면과의 거리를 실시간으로 얻을 수 있다.

3. 실험 및 검증

앞에서 제안하는 내용을 검증하기 위해 센서 모듈을 차량에 장착하여 실험하도록 한다. 노면을 인식 할 수 있도록, 센서 모듈을 Fig. 1과 같이 차량 앞 범퍼의 안쪽에 장착한다. 그리고 밀리미터 미만의 오차를 가지는 고성능 레이저 스캐너로 노면 프로파일의 참값을 얻는다. 차량을 20km/h의 등속으로 Fig. 1의 노란색 범프를 지나감으로 그 성능을 검증하여 Fig. 2의 결과를 얻었다. 여기서 ROC Curve는 특정 역치 내에 해당하는 포인트의 비율을 의미한다. 그리고 이 곡선이 만드는 넓이의 비율을 AUC (area under curve)라 하며 이 값이 클수록 추정 성능이 뛰어남을 의미한다. 또한, RMSE는 평균제곱근 오차를 의미한다.

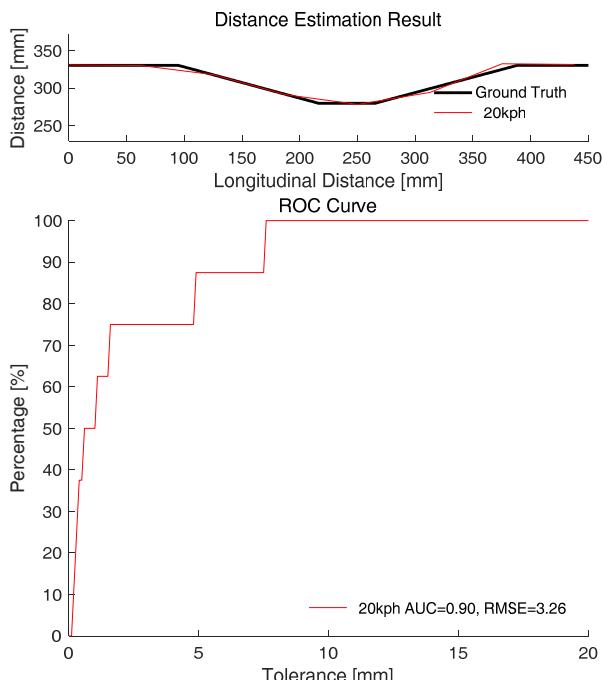


Fig.2 초음파 예전 센서 모듈을 이용한 실외 실차 실험 결과

차량이 평지를 지나다가 범프를 지나가면 센서와 노면과의 거리가 짧아졌다가 다시 멀어지는 것을 Fig. 2의 위의 그래프를 통해 확인 할 수 있다. 또한 차량의 진행거리에 맞춰서, 추정치가 참값에 대해 평균제곱근오차 3.26mm를 보여주므로 고성능 레이저 스캐너와 비슷하게 추정되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는, 기존의 현가장치 제어에 사용되는 고가의 예전 센서를 저렴한 초음파 센서 모듈로의 대체를 제안하였다. 기존 초음파 센서의 문제로 지적되었던 부분을 다수의 초음파 수신기를 가중평균법을 적용하여 신뢰도를 높였고, 온도 보정이나 저역 필터를 적용하여 주변 환경 잡음에 대한 강인성을 얻었다. 그리고 이 센서모듈을 실제 차량에 장착하여 20km/h의 주행 속도에서 약 3mm의 평균제곱근오차를 보여주었고, 10mm 이상의 오차를 갖는 측정점은 존재하지 않음이 검증되었다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 기술혁신개발사업(S2341501, 센서기반 전동형 댐퍼 및 초고강도/초경량 소재를 이용한 승차감향상 20%, 부품 경량화 30% 가능한 차량용 능동 샤시 모듈 개발)과 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 지역산업거점기관지원사업의 일환으로 수행하였다.

References

- 1) Youn, Iljoong, et al., "Preview suspension control for a full tracked vehicle.", International Journal of Automotive Technology, Vol.15, No.3, 399-410, 2014
- 2) 김민현, 최세범, 한국자동차공학회 춘계학술대회, Vol. 16, p. 497, 2016.
- 3) Kim, M.-H. et al., "ROAD SURFACE HEIGHT ESTIMATION FOR PREVIEW SYSTEM USING ULTRASONIC SENSOR ARRAY.", FISITA World Automotive Congress, FISITA, 2016.
- 4) Bouzouara, et al., "Laser scanner based road surface estimation for automotive applications.", IEEE SENSORS, 2014.
- 5) Shen, Truman, Gregory Schamp, and Mario Haddad. "Stereo vision based road surface preview." Intelligent Transportation Systems, 2014 IEEE 17th International Conference on. IEEE, 2014.