

초음파 센서를 이용한 2D 노면 높이 추정 예견 센서와 그 방법

김민현·최세범

한국과학기술원 차량제어연구실

Scanning Road Surface for Preview System using Ultrasonic Sensors

Min-Hyun Kim · Seibum B. Choi

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

Abstract : Active suspension system has been employed by the auto industry in order to enhance ride-quality and driving stability. However, only a little improvement is achieved in the absence of road preview sensor which makes its presence necessary in designing active or semi-active suspension systems. Until now, devices such as stereo camera, lidar and radar have been used when composing preview sensor for the suspension systems. There are some drawbacks with these devices as they are high in price and require intricate algorithms. Therefore, high-tech data processing device is required to compute complicated calculation in real time. The purpose of this research is to test an employment of a cost-efficient ultrasonic sensor to compute road surface condition in real time by using simple algorithms.

Key words : road surface height estimation(노면 높이 추정), ultrasonic sensor(초음파 센서), active-suspension(능동현가장치), preview system(미리 보기 시스템), sensor calibration(센서 교정)

1. 서론

차량의 현가장치 시스템은 차량의 무게를 지탱할 뿐만 아니라 승차감 향상과 차량 조작감에 직접적으로 영향을 주고 노면으로부터의 진동을 억제하는 역할을 한다. 하지만 현가장치의 설정 조율에서는 승차감과 조작감이 서로 상충 관계에 있다. 즉, 현가장치의 설정을 단단하도록 하면 스티어가 주어진 상황에서 차량 거동의 호트러짐이 적고 날카로운 코너링을 얻을 수 있다. 하지만 울퉁불퉁한 노면에서 소음과 진동이 발생하여 승객의 안락을 방해할 수 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해 능동 현가장치나 반능동 현가장치가 개발되었다. 하지만 이 현가장치의 구동기는 차량이 진행하는 속도에 비해 상

대적으로 반응 속도가 느림으로 실시간으로 반응하기에는 상당한 대역폭의 시스템이 요구된다. 또한 현가장치의 성능에 영향을 미칠 수 있는 주요 요인 중 하나인 노면의 울퉁불퉁한 정도를 미리 알 수 없기에 평균적인 노면 입력에 대해 시스템이 설계되게 되어 매 상황마다의 최적의 성능을 얻을 수 없게 된다. 따라서 차량이 지나가게 될 노면의 정보를 현가장치 제어가 알 수 있다면 모든 노면 입력에 대해 현가장치의 최적 성능을 이끌어 낼 수 있게 된다. 이러한 노면 정보를 얻어 예견 제어[3]가 사용되며 지금까지 스테레오 카메라[2,4]나 라이다[1,6] 등이 사용되어 왔다. 스테레오 카메라나 라이다를 사용한 방법은 빛 정보를 이용하여 비교적 먼 거리까지 측정이 가능한 장점이 있다. 하지만 시야가 좋지 못하거나 특정 조건에 따라 잘못된 정보가 수신되기도 하고, 센서 자체가 매우 고가이다. 뿐만 아니라 처리해야 할 데이터의 양이 많아서 고성능의 정보

* 김민현, E-mail: minhyun@kaist.ac.kr

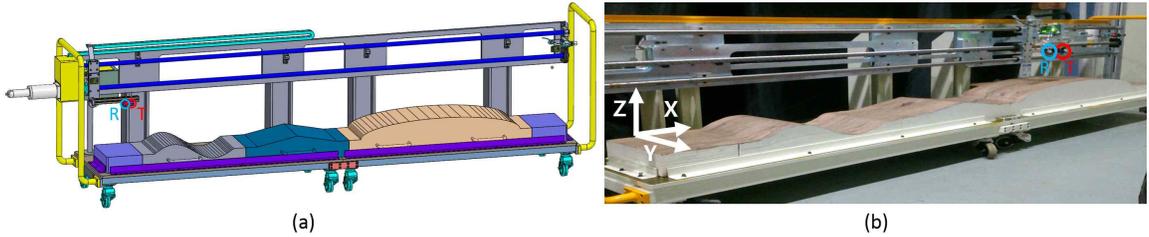


Fig. 1 (a)는 노면 추정 시험을 위한 시험대 디자인이다. (b)는 본 연구를 위해 제작된 3m 길이의 노면 시험대이다. 위의 노면 시험대를 이용하여 실시간으로 노면 높이 추정이 가능하다. 이 그림에서 청색 원은 초음파 수신부, 그리고 홍색 원은 초음파 송신부를 나타낸다.

처리장치가 필요하다. 결국 빛의 조건이 맞지 않거나 저렴한 기기에는 적용이 불가능하게 된다. 반면에 초음파 센서는 높은 주파수의 음파를 발생시켜 반사되어 돌아오는 시간으로 거리를 측정한다. 이 센서는 빛의 조건에 구애받지 않고, 저렴할 뿐만 아니라 저성능의 MCU에서도 사용 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 초음파 센서를 이용하여 지나갈 노면의 높이를 추정이 필요한 로봇이나 차량 같은 지상이동체의 흔들림을 억제하기 위한 노면 예견 방법을 제안하도록 한다.

2. 실험 환경 및 방법

이 장에서는 노면의 높이를 추정하기 위하여 사용된 센서 설정과 실험 환경, 그리고 방법에 대해 설명하도록 한다.

2.1 초음파 센서 배열 및 거리측정

초음파 센서는 압전체를 진동시켜 신호를 전송하고, 초음파의 반향이 압전체를 진동시키면 신호를 수신했다고 인식한다. 이 time-of-flight(ToF)로부터 초음파가 이동한 거리는 아래의 식(1)로부터 얻을 수 있고, 시간이나 거리와 연계된 오프셋이 존재할 수 있으므로 식(2)처럼 일반화 시킬 수 있다.

$$d = t \cdot v \quad (1)$$

$$d = (t + t_0) \cdot v + d_0 \quad (2)$$

여기서 d 는 초음파의 이동 거리, t 는 체공시간, v 는 당시 환경에서 음파의 속도, 그리고 t_0 와 d_0 는 시간과 거리에 연계된 오프셋을 의미한다.

식(2)를 아래의 식(3)으로 정하여 두 개의 알고리즘을 이용하여 실험적으로 a_1 과 a_2 를 정하도록 한다.

록 한다.

$$d = a_1 \cdot c + a_2 \quad (3)$$

여기서 c 는 센서 모듈을 제어하는 컨트롤러에 ToF 인터럽트가 들어오기까지의 계수된 값이며 a_1 과 a_2 는 보정 매개변수이다.

2.2 노면 시험대

그림1은 센서 배열 모듈을 시험하고 그 성능을 검증하기 위한 노면 시험대이다. 이 노면 시험대는 일반적인 도로를 형상화하여 곡선 모양, 삼각형 모양 등의 울퉁불퉁한 도로 형상을 포함한다. 또한 움직임은 지상이동체를 가정하여 모터에 의해 작동되는 리드 스크루에 장착된 센서 모듈로 노면을 측정한다. 즉 모터의 회전 속도를 달리하여 지상이동체의 속도를 제어하도록 한다.

2.3 종방향 변위 추정

지상이동체의 속도에 따라 진행 방향에 대해 측정된 노면과 센서의 위치차가 달라지므로 진행축에 대한 위치 추정이 필요하다.

지상이동체의 바퀴 축에서부터 센서까지의 거리는 일정하고, 노면의 높이를 계산하는 시간도 지상이동체의 속도와 관계없이 일정하므로, 바퀴 축으로부터의 노면 높이 측정 위치를 식(4)와 같이 모델링 할 수 있다.

$$x = b_1 \cdot v + b_2 \quad (4)$$

여기서 v 는 지상이동체의 속력이고, x 는 센서 모듈을 이용하여 노면의 높이를 측정할 센서와의 변위, b_1 과 b_2 는 최적화를 위한 변위 추정 매개변수이다. 이 식을 통해, 정해진 시간마다 측정된 노면 높이의 진행방향 축 변위를 실시간으로 알 수 있다.

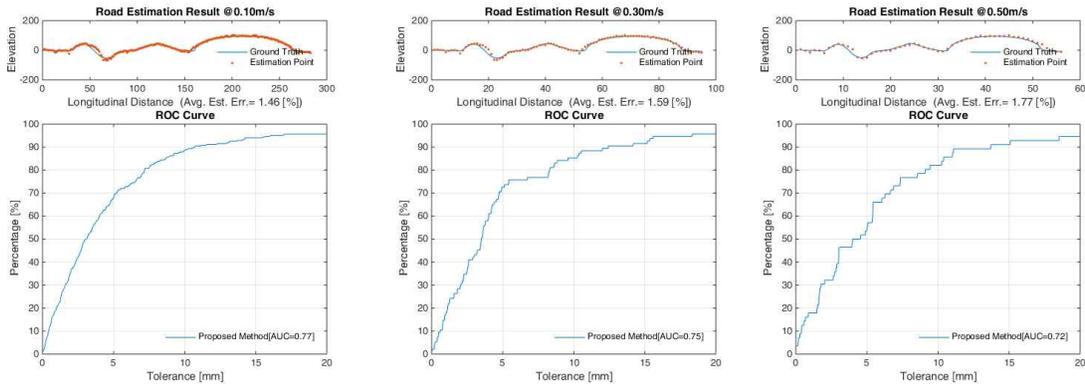


Fig. 2 지상이동체의 다양한 속도에 대한 높이 추정 결과

매개변수 b_1 과 b_2 는 알고 있는 노면 형상에 대해 초음파 센서 모듈로 측정함으로 특정할 수 있다. 여기서 우리는 노면 시험대에서 2가지의 지상이동체 속도에 대해 노면 높이를 측정하고, ICP (Iterative closest point) 알고리즘[5]을 사용하여 b_1 과 b_2 를 정하였다.

3. 실험 결과와 결론

그림2는 본 논문에서 제안하는 방법을 사용하여 노면 시험대에서의 노면 높이 추정 결과를 나타낸 그래프이다. 청색 선은 테스트 벤치 노면 높이의 참값이고 홍색 점은 본 센서 모듈을 사용하여 측정된 추정치이다. 급한 내리막 노면에서 실제 높이보다 조금 높게 나오는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 저렴한 초음파 센서와 저성능 MCU를 사용하여 능동 현가장치에서 사용할 수 있는 예견 센서를 구성하였으며, 추정 알고리즘을 제안하여 그 성능을 평가하였다. 추후 연구로 초음파 수신기를 다수 개 사용하여 좀 더 외란에 강인한 센서 배열 모듈과 알고리즘을 개발하고, 스티어가 존재하는 상황에서도 현가장치 제어기에 적절한 정보를 제공하는 삼차원 노면 높이 추정기를 연구 하도록 한다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였음. [S2341501, 센서기반 전동형 댐퍼 및 초고강도/초경량 소재를 이용한 승차감향상 20%, 부품 경량화 30% 가능한 차량용 능동 샤시모듈 개발]

References

- 1) Jaakkola, A., Hyypp, J., Hyypp, H., & Kukko, A. (2008). Retrieval algorithms for road surface modelling using laser-based mobile mapping. *Sensors*, 8(9), 5238-5249.
- 2) Oniga, F. and Nedevschi, S., 2010. Processing dense stereo data using elevation maps: Road surface, traffic isle, and obstacle detection. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 59(3)
- 3) Ryu, S., Kim, Y. and Park, Y., 2008. Robust H^∞ preview control of an active suspension system with norm-bounded uncertainties. *International Journal of Automotive Technology*, 9(5), pp.585-592.
- 4) Oniga, F., Nedevschi, S., Meinecke, M.M. and To, T.B., 2007, September. Road surface and obstacle detection based on elevation maps from dense stereo. In *Intelligent Transportation Systems Conference, 2007. ITSC 2007. IEEE* (pp. 859-865).
- 5) Zhang, Z., 1994. Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces. *International journal of computer vision*, 13(2)
- 6) Laurent, J., Talbot, M., & Doucet, M. (1997, May). Road surface inspection using laser scanners adapted for the high precision 3D measurements of large flat surfaces. In *3-D Digital Imaging and Modeling, 1997. Proceedings., International Conference on Recent Advances IEEE*.
- 7) M.-H. Kim, S. B. Choi, "Estimation of Road Surface Height for Preview System using Ultrasonic Sensor." *IEEE 13th International Conference on Networking, Sensing, and Control*.