

초음파 센서 간 신호 간섭 제거 방법

Removal Method of Signal Interference between Ultrasound Sensors

임형철*, 이성수*

Hyungchul Im* and Seongsoo Lee*

Abstract

This paper proposes a removal method of signal interference between ultrasound sensors where ghost signals due to interference are excluded and correct signal is recognized in distance measurement using ultrasound sensors. The proposed method detects and excludes ghost signals when previous measured distance is compared to current measured distance and the distance difference exceeds a threshold. The threshold is fixed in conventional methods, so ghost signals cannot be correctly excluded when ultrasound sensor or target object move rapidly. On the contrary, to improve accuracy, the threshold is not fixed in the proposed method, and the threshold is adaptively determined based on the relative velocity when ultrasound sensor or target object move. Experiments of distance measurement with ultrasound signal interference are carried out where multiple ultrasound sensors of same type are exploited with maximum interference, and the results show that the proposed method efficiently exclude ghost signals.

요약

본 논문에서는 초음파 센서로 거리를 측정할 때 간섭에 의해 발생하는 유령 신호를 배제하고 올바른 신호를 인식하는 초음파 센서 간 신호 간섭 제거 방안을 제시한다. 제안하는 기법에서는 이전 거리 측정 값과 현재 거리 측정 값을 비교하여 거리의 변화가 한계값을 벗어나면 유령 신호로 인식하고 배제한다. 기존 기법에서는 한계값이 고정되어 있어서 초음파 센서나 대상 물체가 급격하게 움직일 경우 유령 신호를 제대로 배제하기 어렵지만, 제안하는 기법에서는 한계값을 고정하지 않고 초음파 센서나 대상 물체가 움직일 경우 상대 속도에 따라 한계값을 적응적으로 결정하는 알고리즘을 사용하여 정확도를 높인다. 초음파 센서로 물체까지의 거리를 측정할 때 간섭이 가장 잘 일어나는 동종의 초음파 센서를 다수 사용하여 간섭 신호를 발생시키는 실험을 진행하였고 제안하는 기법이 효과적으로 유령 신호를 배제하는 것을 확인하였다.

Key words : Ultrasonic Sensor, Interference, Autonomous Driving, Obstacle Avoidance

* Soongsil University (Researcher, Professor)

★ Corresponding author

E-mail : sslee@ssu.ac.kr, Tel : +82-2-820-0692

※ Acknowledgment

This work was supported by the R&D Programs of the Ministry of Trade, Industry, and Energy (MOTIE) (20008417 and 20003771) and Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT).

Manuscript received Oct. 5, 2021; revised Nov. 17, 2021; accepted Nov. 22, 2021.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

최근 자동차, 로봇, IoT 등 다양한 분야에서 센서들의 활용이 증가하고 있다. 현재 많이 사용되는 거리 측정 센서는 초음파 센서, 스테레오 카메라, 레이더, 라이다 등을 들 수 있으며 그 중 초음파 센서는 매우 저렴하고 다루기 쉽다는 장점을 가지고 있다. 또한 초음파 센서는 거리 측정 시 실시간으로 처리가 가능하고 즉각적인 반응에 의해 장애물을 탐지할 수 있다. 이에 따라 자율주행에서 필수적인 센서로 자리 잡고 있으며 주로 근거리에서 있는

물체를 인식하는데 사용되고 있다.

하지만 초음파가 갖는 지향각, 회절성 등과 같은 물리적 한계 때문에 성능, 정확도, 측정 속도는 다른 센서에 비해 떨어진다. 또한 초음파 센서는 다중 반사가 발생하여 오류가 발생할 수 있으며, 특히 초음파 센서의 활용이 많아짐에 따라 초음파 센서 간의 간섭이 발생하여 거리 측정에 오류가 발생할 수 있다[1]. 이 경우에 가장 큰 문제는 거리를 측정하는 초음파 센서가 다른 초음파 센서가 발사한 초음파나 그 반사파를 자신이 발사한 정상적인 초음파의 반사파로 인식하는 경우이며, 이때 오류를 일으키는 잘못된 초음파 신호를 유령 신호(ghost signal)라고 한다.

이와 같은 문제를 해결하고자 현재 데이터 값을 이전 데이터 값과 비교하여 그 차이가 일정 한계 이내인, 즉 거의 동일한 값만을 허용하여 오류를 필터링하는 방법[2]이 제안된 바 있으나, 초음파 센서나 대상 물체가 급격하게 움직이는 경우에는 제대로 대응하지 못하는 단점이 존재한다.

[2]의 성능을 개선하기 위해 다양한 기법이 제안되었는데 먼저 서로 다른 음파 신호에 인식이 가능한 식별 코드를 부여하는 방법[3]이 제안되었다. 초음파 송신의 간격을 비주기적으로 조정하여 노이즈를 제거하는 펄스 위치 변조(PPM: pulse-position modulation)[4]-[6]도 제안되었다. 이 외에도 다양한 신호 처리 방법을 이용한 정밀한 초음파 펄스 검출 방법이 연구되었지만, 이러한 방법들은 계산 능력이 뛰어난 고성능 마이크로컨트롤러가 필요하기 때문에 주차 보조 시스템(PAS: parking assist system)과 같은 상용 시스템에 적용하기에는 비용이 너무 높다[7].

다중 반사 혹은 간섭에 의해 발생하는 오류 부분을 버림으로서 해결하는 방안을 데이터의 손실로 보고, 이를 해결하기 위해 연속해서 들어오는 데이터 값을 저장하고 그 값들을 통하여 예측값을 구하는 알고리즘[8]도 제안되었다. 이 알고리즘은 다중 반사 및 간섭이 발생할 경우 예측값을 현재의 거리 값으로 사용할 수 있으므로 데이터의 손실이 없으며 정확한 값을 얻을 수 있다. 그러나 갑작스럽게 장애물이 나타나는 경우와 같이 센서의 측정값에 급격한 변화가 있는 경우에는 제대로 적용할 수 없다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 고성능 마이크로프로세서가 필요

없도록 [2]에서 제안된 방법을 기반으로 하여 현재 데이터 값과 이전 데이터 값을 비교할 때 일정 오차 범위, 즉 한계값을 벗어나면 유령 신호로 판단하고 이를 배제한다. 하지만 [2]에서는 한계값이 고정되어 있어서 초음파 센서나 대상 물체가 급격하게 움직일 경우 유령 신호를 제대로 배제하기 어려운 반면, 본 논문에서는 한계값을 고정하지 않고 초음파 센서나 대상 물체가 움직일 경우 상대 속도에 따라 한계값을 적응적으로 결정하는 알고리즘을 사용하여 정확도를 높였다. 제안하는 기법은 [8]과 어느 정도 유사한 면이 있으나 갑작스러운 장애물이 발생할 경우를 대비하여 송신 횟수를 카운트하는 방식으로 장애물을 인식할 수 있도록 하여 [8]에 비해 장애물이나 거리의 급격한 변화에도 잘 대응하도록 하였다.

또한 본 논문에서는 제안하는 기법에 대해 실제 초음파 센서로 거리 측정 실험을 실시하여 초음파 센서 또는 대상 물체가 급격하게 움직이는 경우 및 장애물이 발생하는 경우에도 정확한 데이터를 처리할 수 있음을 다양한 시나리오를 통해 확인하였다.

II. 초음파 센서의 원리 및 간섭 발생

1. 초음파 센서의 원리

초음파 센서는 그림 1과 같이 초음파 신호를 송신하고 송신된 신호가 물체에 부딪쳐 돌아오는 수신 신호를 받아 그 시간을 계산하여 거리를 측정한다. 이러한 시간을 TOF(time of Flight)라고 한다. TOF를 이용하여 거리를 측정하는 방법은 초음파 센서 뿐만 아니라 레이더, 라이더 등에서도 사용되고 있다. 이를 이용하여 거리를 측정하는 방법은 식 (1)과 같다. 여기에서 d 는 물체까지의 거리, C 는 공기 중 음파의 속도, t 는 TOF를 나타낸다.

$$d = C \cdot t/2 \quad (1)$$

C 는 식 (2)와 같이 온도와 습도에 의해 변한다. 여기에서 T 는 섭씨 온도, H 는 상대 습도를 나타낸다. 식 (2)를 보면 온도의 변화는 음파의 속도에 큰 영향을 끼치는 것을 알 수 있다. 하지만 본 논문에서 실험한 초음파 센서는 온도에 따른 속도 변화량까지 보정이 가능하므로 고려하지 않았으며 습도의 변화는 온도의 변화에 비해 매우 작은 영향을 끼치므로 무시할 수 있다.

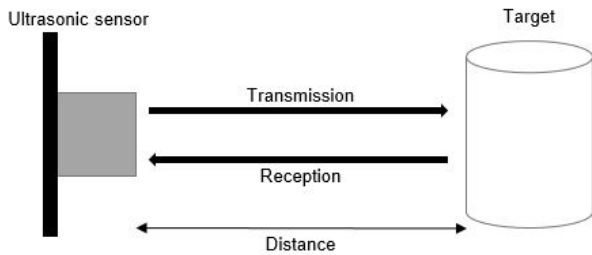


Fig. 1. Principle of ultrasonic sensor.
그림 1. 초음파 센서의 원리

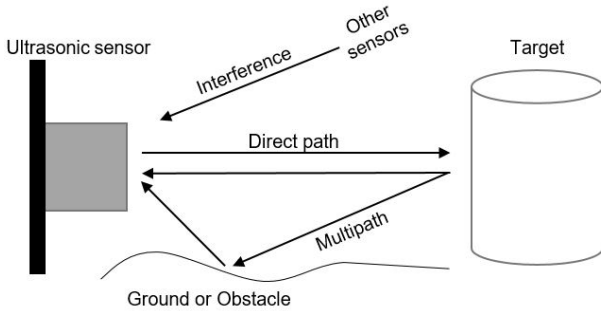


Fig. 2. Various signals causing measurement errors.
그림 2. 측정 오류를 일으키는 다양한 신호

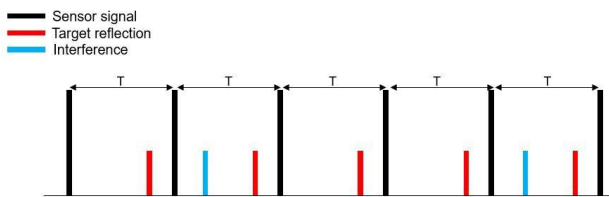


Fig. 3. Interference error in ultrasound sensors.
그림 3. 초음파 센서에서 간섭에 의한 오류

$$C = 331.5 + 0.606T + 0.0124H \quad (2)$$

2. 초음파 센서의 간섭

초음파 센서는 일반적으로 그림 2에서 볼 수 있듯이 두 가지 원인에 의해 오류가 발생할 수 있다. 첫 번째로 초음파 신호가 목표물에 부딪치고 다시 다른 물체에 부딪쳐 재반사 되어 들어오는 신호를 다중 경로(multipath)라고 부른다. 두 번째로 외부의 다른 초음파 센서에서 직접적으로 송신되는 신호를 간섭(interference)이라고 부른다. 본 논문에서는 거리 측정에 직접적으로 오류를 일으키는 동종의 초음파 센서의 신호를 포함하여, 간접적으로 발생할 수 있는 모든 오류 신호들을 간섭으로 정의하며 이때 초음파 센서가 측정하였지만 실제로는 올바르게 않은 신호를 유령 신호로 정의한다.

일반적으로 간섭이 발생하면 목표물에서 되돌아오는 신호보다 간섭 신호를 먼저 인식하여 거리 측

정에 오류가 발생한다. 이를 그림 3에 나타내었다. 여기서 T는 송신 간격을 의미한다.

III. 제안하는 알고리즘

1. 간섭 발생 확인

간섭이 발생하면 실제 측정값과 큰 차이 값을 보인다. 따라서 식 (3)처럼 현재의 측정값과 이전의 측정값을 비교한다면 간섭인지 아닌지 판별할 수 있다. 여기서 d_m 은 현재 측정값, d_{pre} 는 이전 측정값, ϵ 은 오차범위 즉 한계값을 나타낸다.

$$|d_m - d_{pre}| \leq \epsilon \quad (3)$$

제안하는 알고리즘에서는 식 (3)을 만족하면 간섭이 아닌 것으로 판단하고 현재 측정값을 이전 측정값으로 업데이트한다. 즉 d_m 은 측정 물체까지의 거리가 되고, 현재 값(d_m)이 이전 값(d_{pre})으로 수정된다. 하지만 간섭으로 판단된다면 현재 거리 값을 무시하고 다음번 측정값으로 거리를 계산한다. 이때 한계값은 식 (4)처럼 간섭으로 처리한 횟수(n)에 따라 가중되고, 식 (3)을 만족하는 측정값을 얻으면 한계값은 다시 기본값으로 설정된다. 이 방법은 갑작스럽게 장애물이 등장할 때와 같이 센서의 측정값이 급격하게 변화할 때, 장애물을 간섭이 아닌 실제 측정값으로 판단할 수 있다.

$$|d_m - d_{pre}| \leq (n+1) \cdot \epsilon \quad (4)$$

2. 송신 주기 설정

현재 측정값이 간섭인지 아닌지를 판단하기 위해서는 이전에 측정된 값이 신뢰할 수 있는 값이어야 한다. 따라서 본 논문에서는 먼저 일정 시간 동안 입력되는 측정값들을 샘플링하기 위해 버퍼 메모리에 저장한다. 이때 송신 주기를 랜덤하게 결정하여 간섭 발생률을 줄일 수 있다[9]. 샘플링된 값은 버퍼 메모리에 저장된 측정값들의 평균값이다. 샘플링된 값은 식 (3)과 같이 작은 한계값을 부여하고, 다음에 들어오는 측정값과 비교하는 과정을 통해 신뢰할 수 있는 값으로 판단한다. 하지만 식 (3)을 만족하지 못한다면 샘플링 과정을 반복하게 된다.

이러한 과정을 통해 얻은 샘플링 값은 d_{pre} 이 되어 식 (3) 및 식 (4)를 반복 수행하여 간섭 여부를 판단할 수 있게 된다. 또한 d_{pre} 를 얻은 이후에는 송

신 주기를 일정하게 유지한다.

3. 한계값 결정

측정 시작 때 샘플링을 위한 한계값은 초음파 센서 자체의 오차를 감안하여 최소한으로 설정한다. 한계값이 작을수록 간섭을 회피할 가능성이 높지만, 측정 대상이 움직이거나 초음파 센서를 탑재한 차량이 움직일 경우 모든 신호가 간섭으로 처리될 수 있다. 따라서 샘플링 이후에는 현재 측정값과 이전 값의 차이로 한계값이 수정되어야 한다.

송신 주기를 100ms로 일정하게 유지할 경우, 한 펄스 당 움직일 수 있는 거리를 속도에 따라 표 1에 나타내었다. 이를 참고로 하여 적당한 범위를 나누어 한계값을 설정할 수 있다. 또한 추가적으로 가속도를 고려한다면 이보다 더 여유 있는 한계값이 설정되어야 한다.

Table 1. Determination of threshold based on velocity.

표 1. 속도에 따른 한계값 설정

velocity [km/h]	Distance/pulse [cm]
1	2.78
2	5.56
3	8.34
4	11.12
5	13.9

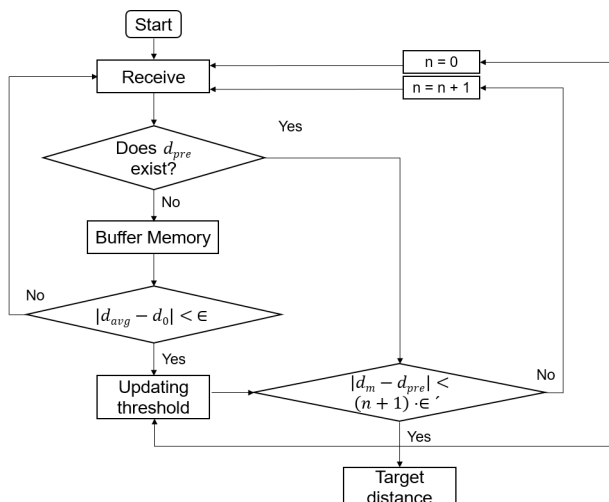


Fig. 4. Flowchart of the proposed method.

그림 4. 제안하는 기법의 흐름도

그림 4는 본 논문에서 제안하는 기법의 흐름도를 나타낸 것이다. 여기서 d_{avg} 는 버퍼 메모리에 입력된 측정값들의 평균값을 나타내며, d_0 는 그 이후에 들

어오는 첫 측정값을 나타낸다. ϵ' 는 앞서 설명했듯이 현재 측정값과 이전 값의 차이로 수정된다. 또한 속도 및 가속도를 고려하여 식 (5)처럼 표현할 수 있다. 여기서 α 는 실험을 통해 결정된 상수이다.

$$\epsilon' = |d_{m,n+1} - d_{pre}| + \alpha \tag{5}$$

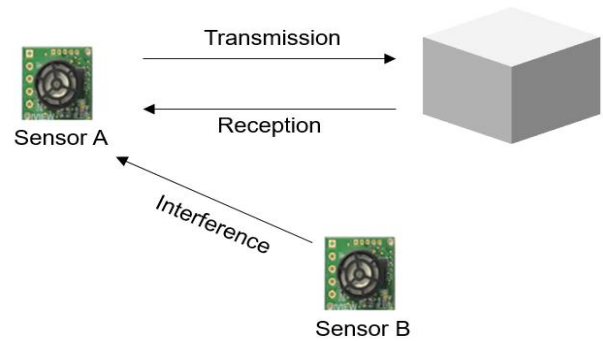


Fig. 5. Experimental environment.

그림 5. 실험 환경

IV. 실험 및 검증

1. 실험 환경

그림 5는 본 논문의 실험 환경을 나타낸 것이다. 센서 A에서 목표물까지의 거리는 200cm이고, 센서 B의 위치는 센서 A로부터 30°로 목표물 옆에 위치시켰다. 이는 실험에 사용된 초음파 센서의 사양에 맞춰 지향각(80±15°)을 고려하였다. 각각의 초음파 센서는 아두이노를 통해서 서로 다른 PC에 연결되어 있으며, PC를 통해 측정 거리를 확인한다.

센서 A는 물체까지의 거리를 측정하는 센서로 본 논문에서 제안하는 기법을 적용시키지 않았을 때는 송신 주기를 100ms로 고정하였으며 본 논문에서 제안하는 기법을 적용시켰을 때에는 앞서 설명한 바와 같이 샘플링을 위해 송신 주기를 70ms에서 120ms 사이로 랜덤하게 결정한 후에 송신 주기를 100ms로 일정하게 유지한다. 센서 B는 센서 A의 거리 측정을 방해하는 간섭을 일으키는 센서로 송신 주기를 70ms로 고정하였다.

2. 실험 결과 및 분석

첫 번째 실험은 초음파 센서와 대상 물체의 위치를 모두 고정한 경우이며 그 측정 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서 보듯이 (a)에서 간섭으로 인한 유행 신호의 출현으로 부정확했던 거리 측정 결과가 (b)에서 정상적으로 보정된 것을 확인할 수 있다.

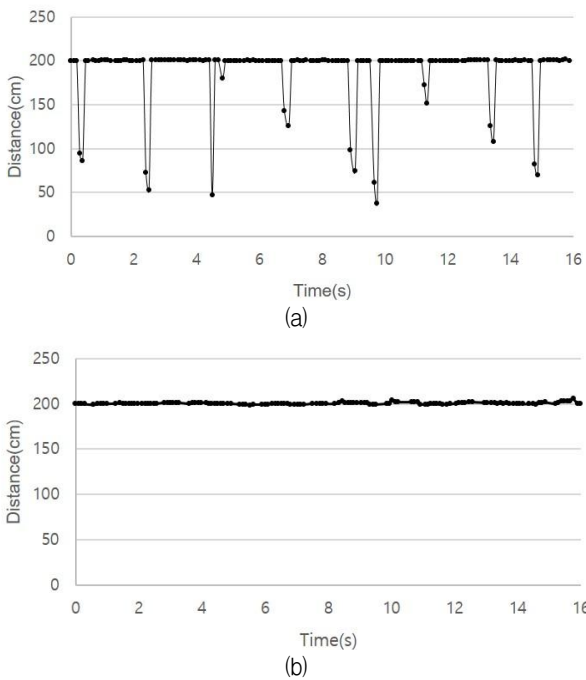


Fig. 6. Measurement results when ultrasonic sensor and target object are fixed (a) Proposed method is not applied (b) Proposed method is applied.

그림 6. 초음파 센서와 대상 물체를 모두 고정한 경우의 측정 결과 (a) 제안 기법 미적용 (b) 제안 기법 적용

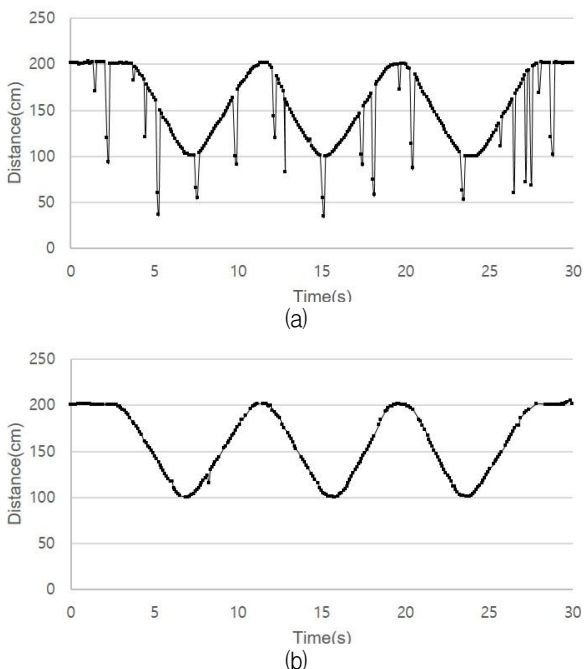


Fig. 7. Measurement results when target object is fixed but ultrasonic sensor is moving in low-speed (a) Proposed method is not applied (b) Proposed method is applied.

그림 7. 대상 물체를 고정하고 초음파 센서를 저속으로 움직인 경우의 측정 결과 (a) 제안 기법 미적용 (b) 제안 기법 적용

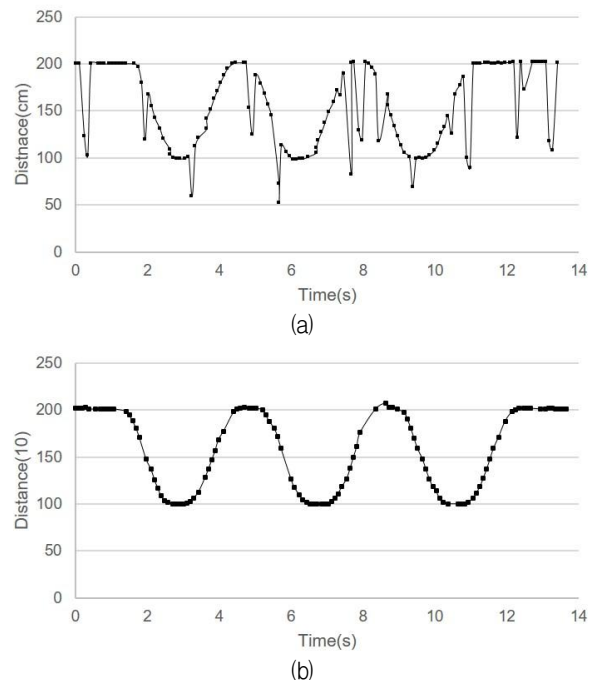


Fig. 8. Measurement results when target object is fixed but ultrasonic sensor is moving in high-speed (a) Proposed method is not applied (b) Proposed method is applied.

그림 8. 대상 물체를 고정하고 초음파 센서를 고속으로 움직인 경우의 측정 결과 (a) 제안 기법 미적용 (b) 제안 기법 적용

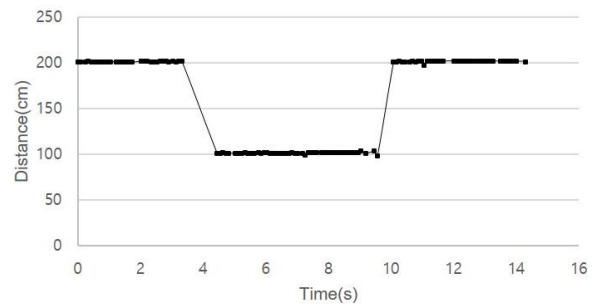


Fig. 9. Measurement results when ultrasonic sensor and target object are fixed but an obstacle suddenly appears and then disappears.

그림 9. 초음파 센서와 대상 물체를 모두 고정하되 장애물이 갑자기 나타났다가 사라진 경우의 측정 결과

두 번째 실험은 대상 물체를 고정시키고 주 측정 센서인 A를 저속인 시속 1.5km/h 내외로 측정 물체 방향으로 100cm만큼 3회 왕복 운동한 경우이며 그 측정 결과는 그림 7과 같다.

세 번째 실험은 대상 물체를 고정시키고 주 측정 센서인 A를 고속인 시속 3km/h 내외로 측정 물체 방향으로 100cm만큼 3회 왕복 운동한 경우이며 그 측정 결과는 그림 8과 같다. 그림 7, 그림 8로부터

제안하는 기법은 물체의 속도에 관계없이 간섭으로 인한 유령 신호를 정상적으로 보정할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

네 번째 실험은 초음파 센서와 대상 물체의 위치를 모두 고정한 경우이지만 주 측정 센서 A로부터 100cm 지점에 장애물이 갑자기 등장하였다가 일정 시간 이후에 사라진 경우이며 그 측정 결과는 그림 9와 같다. 그림 9로부터 제안하는 기법은 장애물의 출현, 소멸 등 급격한 변화가 있을 경우에도 효과적으로 장애물을 감지할 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 현재의 측정값과 이전의 측정값만으로 간섭을 효과적으로 처리하는 알고리즘을 제안하였으며 이를 실험으로 확인하였다. 추후에는 이를 응용하여 다수의 간섭 센서가 있는 환경과 다중 반사가 많이 발생하는 환경을 구축하여 추가적인 실험을 진행하고 기존의 예측값을 이용하여 간섭을 처리하는 방법을 고도화하여 측정 데이터의 손실 없이 신뢰성 있는 초음파 센서 활용이 가능하도록 연구를 진행할 필요가 있다.

References

- [1] S. Yum, S. Eom, and E. Lee, "The technique of human tracking using ultrasonic sensor for human tracking of cooperation robot based mobile platform," *J.inst.Korean.electr.elctron.eng.*, vol.24, no.2, pp.638-648, 2020.
DOI: 10.7471/ikeee.2020.24.2.638
- [2] J. Borenstein and Y. Koren, "Noise rejection for ultrasonic sensors in mobile robot applications," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.1727-1732, 1992.
DOI: 10.1109/ROBOT.1992.220129
- [3] K. Jorg and M. Berg, "Mobile robot sonar sensing with pseudorandom codes," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp.2807-2812, 1998.
DOI: 10.1109/ROBOT.1998.680476
- [4] L. Fortuna, M. Frasca, and A. Rizzo, "Chaotic pulse position modulation to improve the efficiency of sonar sensors," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol.52, no.6, pp.1809-1814, 2003. DOI: 10.1109/TIM.2003.820452
- [5] Z. Yao, Q. Meng, G. Li, and P. Lin, "Non-crosstalk real-time ultrasonic range system with optimized chaotic pulse position-width modulation excitation," *Proceedings of IEEE International Ultrasonic Symposium*, pp.729-732, 2008.
DOI: 10.1109/ULTSYM.2008.0174
- [6] S. Shin, M. Kim, and S. Choi, "Improving efficiency of ultrasonic distance sensors using pulse interval modulation," *Proceedings of IEEE Sensors*, pp.1-3, 2016.
DOI: 10.1109/ICSENS.2016.7808766
- [7] S. Shin, M. Kim, and S. Choi, "Ultrasonic distance measurement method with crosstalk rejection at high measurement rate," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol.68, no.4, pp.972-979, 2019.
DOI: 10.1109/TIM.2018.2863999
- [8] T. Jin, "Reflection noise rejection of ultrasonic sensor using scheduling firing method," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol.16, no.1, pp.41-47, 2012. DOI: 10.6109/jkiice.2012.16.1.041
- [9] W. Xu, C. Yan, W. Jia, X. Ji, and J. Liu, "Analyzing and enhancing the security of ultrasonic sensors for autonomous vehicles," *IEEE Internet of Things Journal*, vol.5, no.6, pp.5015-5029, 2018.
DOI: 10.1109/JIOT.2018.2867917

BIOGRAPHY

Hyungchul Im (Nonmember)



2021: BS degree in Mechanical Engineering, Soongsil University.
2021~: Candidate for MS degree in Electronic Engineering, Soongsil University.

<Main Interest> Automotive Electronics, Automotive SoC, Sensor Signal Processing

Seongsoo Lee (Life Member)



1991: BS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.

1993: MS degree in Electronic Engineering, Seoul National University.

1998: PhD degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

1998~2000: Research Associate, University of Tokyo.

2000~2002: Research Professor, Ewha Womans University.

2002~Now: Professor in School of Electronic Engineering, Soongsil University.

<Main Interest> Automotive SoC, Multimedia SoC, Power Management SoC, Battery Management SoC