

이동 차량용 극점 간 센서 기하 구조를 활용한 가상 기준점 기반 장애물 위치 추정 방법

배석현, 장현빈, 김채영, 안지훈, 이종학, 정수민*
금오공과대학교

bsh1581@naver.com, sumin.jeong@kumoh.ac.kr

Virtual Reference Point-Based Obstacle Localization Using Sensor Geometrical Structure for Mobile Vehicles Sensor Network

Seokhyeon Bae, Hyunbin Jang, Chaeyoung Kim, Jihoon An, Jonghak Lee
and Sumin Jeong*

Kumoh National Institute of Technology.

요약

본 논문은 초음파 센서를 활용하여 이동 차량에서 장애물의 위치를 정밀하게 추정할 수 있는 기법을 제안한다. 기존 초음파 위치 추정 방식의 한계였던 거리 증가, 시간 오차로 인한 좌표 추정 오류를 수정하기 위해 기하구조 기반의 가상 기준점을 도입하였다. 실험 결과 실용 가능한 수준의 정밀도를 달성하였다.

I. 서론

과학기술 정책연구원의 연구에 의하면 차량 사고의 대부분이 운전자의 운전미숙, 부주의로 인해 일어나는데 자율주행차량 보급이 54%만 되어도 차량사고의 87% 이상이 줄어든다고 예상하였다 [1]. 보급률을 증대를 위해서는 자율 주행의 안정성이 보장되어야 하고 이를 위해서 차량을 기준으로 주변 장애물의 정확한 위치를 파악하는 것이 매우 중요하다. GPS, LiDAR, SLAM 등을 활용한 기존의 위치 추정 알고리즘들은 고비용 센서 사용 및 높은 계산 복잡도 등의 문제가 있어 저비용 초음파 센서를 활용한 위치인식 알고리즘들이 여전히 사용되고 있다. 즉, 이동 환경에서 장애물 좌표 추정 알고리즘에 있어서 가장 중요한 성능 지표는 현실적인 구현 비용이라 할 수 있다.

저비용 초음파 센서를 활용한 위치 추정 알고리즘에는 INS와 결합을 통한 방법 [2], WSN 기반 융합 위치 추정 [3], 다중 센서 기반 추정 방법 [4] 등의 다양한 방법 등이 있다. [4]에서 3 개의 센서를 활용하여 각 센서에서 물체와의 도달시간을 활용하여 위치를 추정하는 좌표 추정 알고리즘은 하드웨어 비용 효율성 측면에서 한계를 가진다. 따라서 본 논문에서는 비용 효율적인 고성능 위치 추정 알고리즘을 제안한다.

II. 제안하는 논문

II-1. 시스템 모델

그림 1 에서와 같이 센서는 차량의 모서리 S_1, S_2, S_3, S_4 에 분포되어 있고, 전면부, 좌측면부, 우측면부, 후면부

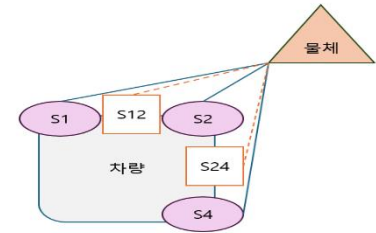


그림 1. 제안하는 시스템의 전체적인 구조

를 기준으로 각 센서 간 중간 지점 $S_{12}, S_{13}, S_{24}, S_{34}$ 에 가상의 센서가 존재한다고 가정한다. 이때 S_{12} 가 원점 $(0,0)$ 에 위치할 때, 각 센서의 좌표는 $S_1 = (-a, 0), S_2 = (a, 0), S_3 = (-a, b), S_4 = (a, b)$ 이고 장애물은 (x, y) 에 위치한다. 각 센서는 장애물의 위치를 파악하기 위해 파일렛 신호를 전송하게 되고 송신 시간과 장애물에서 반사되어 들어오는 파일렛 신호의 수신 시간을 기록하여 센서와 장애물 간의 거리를 측정한다.

전체적인 시스템은 S_1, S_2 사이의 가상의점 S_{12} 에서의 거리와 S_2, S_4 사이의 가상의점 S_{24} 에서의 거리를 평균하여 물체까지의 거리를 구하는 방식이다. 이때, 수신 신호 상황에 따라 장애물에 가장 가까운 2 면을 추정할 수 있다.

II-2. 정면부/후면부에서 (x, y) 좌표 추정 방법

$$\hat{x}_1 = \frac{a^2(\Delta t_3^2 - \Delta t_1^2)}{2a(2\Delta t_2^2 - \Delta t_3^2 - \Delta t_1^2)} \quad (1)$$

$$\hat{y}_1 = \sqrt{\frac{2a^3\Delta t_2^2}{a(\Delta t_3^2 + \Delta t_1^2 - 2\Delta t_2^2)} - \left(\frac{a^2(\Delta t_3^2 - \Delta t_1^2)}{2a(2\Delta t_2^2 - \Delta t_3^2 - \Delta t_1^2)}\right)^2} \quad (2)$$

여기서 $\Delta t_1, \Delta t_3$ 는 각각 센서 S_1 과 S_2 에서 측정된 전파 지연 시간이며 $\Delta t_2 = \sqrt{\left(\frac{v_s^2\Delta t_1^2}{4} + \frac{v_s^2\Delta t_3^2}{4} - 2a^2\right)/2}$ 는 가상의점 S_{12} 까지의 전파 지연 시간의 추정값, $v_s = 350 \text{ m/s}$ 는 초음파의 전파 속력을 의미한다.

후면부에서 (x, y) 좌표를 추정해야 할 시에는 후면부를 전면부라 가정하고 추정한 뒤 좌표의 평행이동을 통해 최종 좌표 추정이 가능해진다.

II-4. 좌/우측면부에서 (x, y) 좌표 추정 방법

측면부는 계산 단순화를 위해 S_{13} 혹은 S_{24} 가 원점에 있다고 가정하여 추정한 후, 평행이동을 하여 최종 좌표를 추정한다. 우측면부의 경우,

$$\hat{y}_2 = \frac{-(\frac{b}{2})^2 (\Delta t_3^2 + \Delta t_1^2)}{b(2\Delta t_2^2 - \Delta t_1^2 - \Delta t_3^2)} \quad (3)$$

$$\hat{x}_2 = \sqrt{\frac{v_s^2 \Delta t_2^2}{4} - \hat{y}_2^2} \quad (4)$$

여기서 $\Delta t_1, \Delta t_3$ 는 각각 센서 S_2 과 S_4 에서 측정된 전파 지연 시간이며 $\Delta t_2 = \sqrt{\left(\frac{v_s^2 \Delta t_1^2}{4} + \frac{v_s^2 \Delta t_3^2}{4} - \frac{b^2}{2}\right)}/2$ 는 가상의 점 S_{24} 까지의 전파 지연 시간의 추정값을 의미한다. 이 측정된 값을 평행이동하여 추정값을 보정한 뒤, 최종적으로 평균을 통해 시간 오차의 영향을 감소시킨다:

$$\hat{x} = \frac{\hat{x}_1 + \hat{x}_2}{2} \quad (5)$$

$$\hat{y} = \frac{\hat{y}_1 + \hat{y}_2}{2} \quad (6)$$

III. 시뮬레이션 성능 분석

제안하는 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 실험적 성능평가를 수행하였다. 이때 $(x, y) = (2, 3)$ 으로 임의로 고정하였고 전면부와 우측면부에서 해당 좌표를 추정하였다: $S_1 = (-0.9, 0)$, $S_2 = (0.9, 0)$, $S_4 = (0.9, -4)$. 센서에서 측정되는 왕복 전파 지연 시간에는 평균이 0인 정규 분포를 따르는 랜덤 시간 오차를 추가하였다.

그림 2에서 볼 수 있듯이 제안하는 좌표 추정 알고리즘의 추정 정확도가 기존의 위치 추정 알고리즘 [4]보다 시간 오차에 대해 개선된 성능을 보여주는 것을 알 수 있다. 이는 각 면부에서 센서 배열의 선형성이 잡음의 영향을 덜 받는 것과 2개의 위치 추정 샘플들의 평균으로 최종 추정 위치 좌표를 도출함으로써 오차를 감소시켰기 때문이다.

그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 제안하는 알고리즘이 추정 대상과의 위치 스케일에 따른 오차에 대해서도 기존의 기법보다 나은 성능을 보이는 것을 볼 수 있다

IV. 결론 및 미래계획

본 논문에서는 가상의 센서의 위치에 대한 전파 지연시간을 추정 및 활용, 현실적인 차량용 센서 분포를 활용하여 저비용 고성능 장애물 위치 추정 알고리즘을

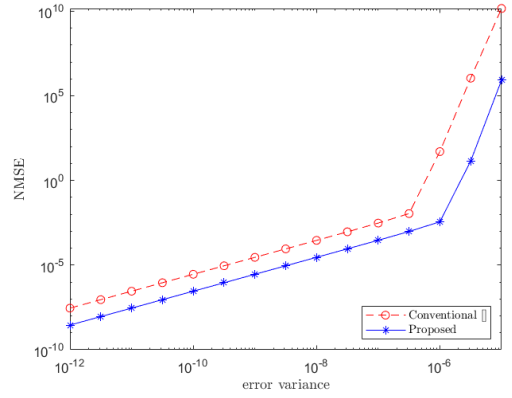


그림 2. 시간 오차에서 성능비교

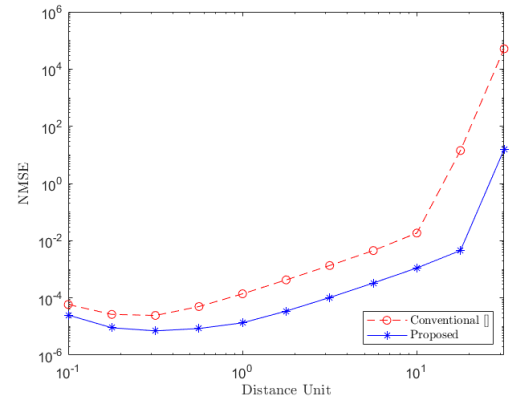


그림 3. 거리 변화에 따른 성능비교

제안하였다. 가상 실험뿐만이 아니라 추후 실제 초음파 센서를 활용한 검증을 진행 및 알고리즘을 개선할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2025-RS-2020-II201612)

참고문헌

- [1] 장필성, 백서인, 최병삼. (2018). 자율주행차 사업화의 쟁점과 정책 과제. 동향과 이슈, 49(0), 1-31.
- [2] 선택영. (2023). 초음파 위치인식 시스템과 INS 결합을 통한 차량의 자율 주행. 한국산업융합학회 논문집, 26(2), 359-370.
- [3] X. Zhang, Y. Li, and Z. Wang, "Hybrid robust sequential fusion estimation for WSN-assisted moving-target localization with sensor-node-position uncertainty," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 69, no. 4, pp. 6499-6508, Jan. 2020
- [4] Shen, M.; Wang, Y.; Jiang, Y.; Ji, H.; Wang, B.; Huang, Z. A New Positioning Method Based on Multiple Ultrasonic Sensors for Autonomous Mobile Robot. *Sensors* 2020, 20, 17.