

레이리 페이딩 채널에서의 초음파 신호 기반 무선측위시스템 성능분석

임재준, 손호연, 박정훈, 김석찬

부산대학교, 부산대학교

limlim369@pusan.ac.kr, hyson7@pusan.ac.kr, jhpark@pusan.ac.kr *sckim@pusan.ac.kr

Analysis on Ultrasonic Signal Based Localization System in Rayleigh Fading Channel

Lim Jae Jun, Hoyun Sohn, Jeonghun Park, Suk Chan Kim*

Pusan National Univ., *Pusan National Univ.

요약

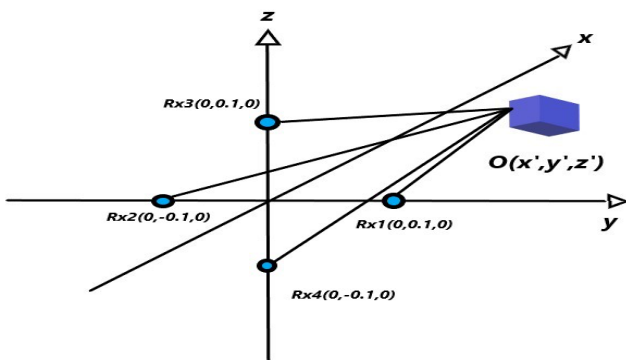
본 논문은 초음파 영역대의 신호를 사용하여 ToF와 TdoA를 통해 측위시스템을 구현 한 후 무선채널이 미치는 영향을 분석하였다. 다중경로 페이딩의 유무에 따라 측위시스템의 성공률을 SNR을 변화시키며 분석했다.

I. 서론

본 논문에서는 초음파 영역대의 신호의 직진성을 이용해 물체의 위치를 파악하는 실험을 진행하였다. 측위법은 ToF(Time of Flight)와 TDoA(Time difference of Arrival)를 사용했고 무선통신의 특성에 따라서 어떻게 신호가 수신되고 물체의 위치를 탐지하는지 기술한다. [1]

II. 본론

본 논문에서는 고정된 송수신기 배열에서 송신기를 통해서 초음파신호를 송신했을 때 물체에 반사되어 돌아오는 신호의 도착시간을 이용해 물체의 위치를 추정한다. 본 논문에서 사용되는 송수신기의 개수는 총 4개이고, 수신기의 배열은 [그림1]과 같다.



[그림 1] 수신기 배열과 물체의 위치

물체의 위치를 추정하기 위해 필요한 파라미터는 수신기의 좌표와 신호의 ToF이다. ToF는 추정된 물체와 수신기 사이의 거리를 신호의 속력으로 나누어 구한다.

본 논문에서는 채널의 다중경로 페이딩, 경로손실 그리고 AWGN (Additive White Gaussian Noise)을 고려하였다. 송신신호 $s(t)$ 는 다음과 같

다.

$$s(t) = \cos(2\pi f_c t) \quad (f_c = 50\text{kHz}) \quad (1)$$

중심주파수는 초음파 통신에 주로 사용되는 50kHz를 사용했다. 채널의 다중경로 페이딩은 레이리 페이딩 모델을 사용했다. 레이리 페이딩을 거친 신호는 다음과 같다.

$$\Delta f_n = \frac{v}{\lambda} \cos \alpha_n \quad (2)$$

$$r(t) = \sum_{n=1}^N c_n \cos(2\pi f_c t + \phi_n + 2\pi \Delta f_n t) \quad (3)$$

이 때, n 은 수신되는 신호의 색인이고, c_n 은 n 번째로 도착한 신호의 진폭, ϕ_n 은 페이즈, α_n 은 수신기와 신호 사이의 각도, Δf_n 은 도플러효과로 인한 주파수 변화, v 는 수신기의 속도를 의미한다. $r(t)$ 를 inphase-quadrature 형태로 나누어서 보면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

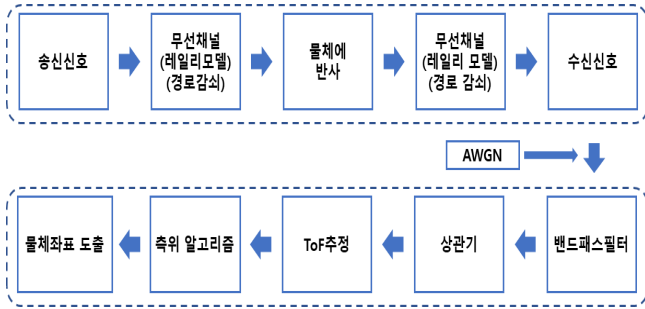
$$r(t) = I(t) \cos(w_c t) - Q(t) \sin(w_c t) \quad (w_c = 2\pi f_c t) \quad (4)$$

$$I(t) = \sum_{n=1}^N c_n \cos\left(\frac{2\pi v f_c t}{c} \cos \alpha_n + \phi_n\right) \quad (5)$$

$$Q(t) = \sum_{n=1}^N c_n \sin\left(\frac{2\pi v f_c t}{c} \cos \alpha_n + \phi_n\right) \quad (6)$$

무선통신환경에서의 신호는 이동거리에 따라서 신호의 크기가 감쇄된다. 초음파의 감쇄율은 온도와 습도에 영향을 많이 받기 때문에 20°의 온도와 101.325 kPa의 습도일 때의 환경이라고 가정해 감쇄율을 0.46 dB/m에서 1.3 dB/m의 평균값으로 설정하였다.

무선채널을 통해 수신된 신호를 처리해서 물체의 위치를 추정하는 과정은 [그림2]와 같다.



[그림2] 측위시스템 블록도

물체와 각 수신기 사이의 거리는 D_k , t_k 는 ToF를 의미한다.

$$\begin{aligned} D_1 &= \sqrt{x^2 + y^2 + (z-0.1)^2} \\ D_2 &= \sqrt{x^2 + y^2 + (z+0.1)^2} \\ D_3 &= \sqrt{x^2 + (y-0.1)^2 + z^2} \\ D_4 &= \sqrt{x^2 + (y+0.1)^2 + z^2} \end{aligned} \quad (7)$$

$$D_k = \frac{t_k v}{2} \quad (8)$$

이 때, x, y, z 는 물체의 직교좌표계에서의 각 축 좌표이고 t_k 는 송신신호가 수신되기까지의 시간을 의미한다. v 는 신호의 속력을 나타내는 변수이며 본 논문에서는 340m/s로 지정했다. 위의 거리정보를 이용하여 얻은 물체의 좌표 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} y &= 2.5(D_4^2 - D_3^2) \\ z &= 2.5(D_2^2 - D_1^2) \\ x &= \sqrt{D_2^2 - y^2 - (z+0.1)^2} \quad (x \geq 0) \end{aligned} \quad (9)$$

이 때, 초음파의 직진성을 고려하여 $x \geq 0$ 을 가정했다.

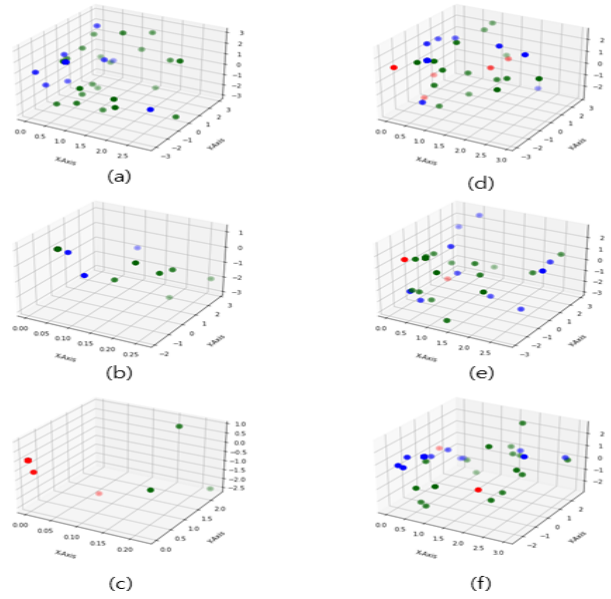
III. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 다중경로 페이딩이 있을 경우와 그렇지 않을 경우를 나누어 진행하였고, SNR(Signal to Noise Ratio)을 0dB, 10dB, 30dB로 채널환경을 가정하며 진행했다.

다중경로 페이딩이 없을 때 SNR에 따라 측위시스템의 정확도를 구분하기 위해서 100개의 데이터를 만들었을 때 x, y, z 중 하나라도 오차율이 높게 발생했을 때 점으로 표시하였다. 오차율의 크기가 0.1 이상 0.3 이하 일 때 초록, 0.3이상 1이하 일 때 파랑, 1이상일 때 빨간색으로 표시하였다.

[그림 3]은 순서대로 SNR이 0dB, 10dB, 30dB인 경우의 산점도이다.

(a),(b),(c)는 다중경로 페이딩이 존재하지 않는 채널로 SNR은 알파벳 순서대로 0dB, 10dB, 30dB이다. (d),(e),(f)는 다중경로 페이딩이 존재하는 채널로 위와 같은 순서로 배치했다.



[그림3] 다중경로 페이딩과 SNR에 따른 산점도

다중경로 페이딩이 없는 채널에서는 SNR이 높은 채널일수록 측위시스템의 오차 발생율이 낮다. 다중경로 페이딩이 존재하는 채널에서는 SNR이 높을수록 오차 발생율과 측위성공률이 낮아지는 경향을 보인다. 시뮬레이션 결과 분석을 통해서 ToF와 TDoA를 이용한 측위시스템에서 다중 경로 페이딩이 SNR보다 위치추정에 더 큰 영향을 보였다.

III. 결론

본 논문에서는 무선채널을 거친 신호를 송신신호와와의 상관을 이용한 측위시스템을 설계 및 분석하였다. 무선채널을 거치며 신호의 파형이 왜곡될수록 송신신호에 대한 상관도가 감소해 ToF의 정확한 추정이 어려워진다. 특히 위치추정에 수신 신호의 큰 위상변화가 송신신호와와의 상관도를 감소시켜 위치추정에 잡음보다 더 큰 요인으로 작용했다.

ACKNOWLEDGMENT

"이 논문은 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었습니다."

이 연구는 2022년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원 (KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('00144500')

참 고 문 헌

- [1] F. Zafari, A. Gkelias and K. K. Leung, "A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 3, pp. 2568-2599, thirdquarter 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2911558.
- [2] Sklar, Bernard. Digital communications. Vol. 2. Upper Saddle River, NJ, USA:: Prentice hall, 2001.