

UWB 레이더를 이용한 차량과 보행자 판별 및 거리 측정

신지훈*, 신옥근**

*한동대학교 전산전자공학부

**한국해양대학교 IT 공학부

*e-mail : tswlgns001@naver.com

**e-mail : okshin@kmou.ac.kr

Vehicle/Pedestrian Discrimination and Distance Measure Using UWB RADAR

Ji-Hoon Shin*, Ok-Keun Shin**

*Division of Computer Science and Electronic Engineering, Handong University

**Division of IT, Korea Maritime and Ocean University

요약

가격 경쟁력, 정밀도 등 많은 장점을 가지고 있는 UWB 레이더를 차율 주행 자동차의 보행자 충돌회피 등에 응용할 수 있는지를 확인하기 위하여 레이더와 타겟까지의 거리를 측정하고 타겟이 차량인지 보행자인지를 구분하는 기초실험을 수행하였다. 타겟까지의 거리 측정은 송신파와 수신파 사이의 correlation 을 구하여 측정하였고, 차량과 보행자의 구분은 타겟의 종류에 따라 UWB 레이더 반사파의 특성이 다른 것을 이용하였다. 제안하는 방안의 가능성을 확인하기 위하여 Monostatic UWB RADAR 를 이용하여 차량과 보행자에 관한 반사 특성을 측정하여 실험하였고 차량, 보행자 구분 가능성을 확인할 수 있었다.

1. 서론

UWB(Ultrawide band)는 근래에 근거리 초고속 통신 수단[1]으로 주목 받고 있을 뿐 아니라, 항공기 충돌 예방, 차량충돌방지, 폭발물 매설 탐지, 지하탐사, 고정밀 위치 추적 등 레이더를 기반으로 하는 여러 응용분야에서도 많은 연구가 진행되고 있다[2][3]. UWB 레이더는 낮은 소비전력, 저가격, 고정밀도 등의 장점과 함께 측정범위가 약 30m로 제한되는 특징 [4]을 가지고 있다. 이러한 UWB 레이더는 최근에 상용화를 위한 본격적인 연구가 이루어지고 있는 자율주행 자동차에 장착되어 보행자와 차량을 구분하는 저가의 레이더로 활용될 수 있을 것이다. 특히 보행자가 갑자기 끼어들 가능성이 높은 혼잡한 거리에서 UWB 레이더는 자차로부터 일정한 거리 내에 있는 물체가 차량인지 보행자인지를 구분하여 보행자와의 충돌을 예방하는 근거리 레이더기능을 수행하기에 적합한 특성을 가지고 있다. 뿐만 아니라, 이 UWB 레이더 기술을 종래의 자동차에 장착하여 안개 때문에 앞이 잘 안 보이는 경우, 또는 사각지대의 물체가 차량에 접근할 경우 등과 같은 상황에서 운전자에게 경고를 발신하여 안전 운행을 도울 수 있을 것이다.

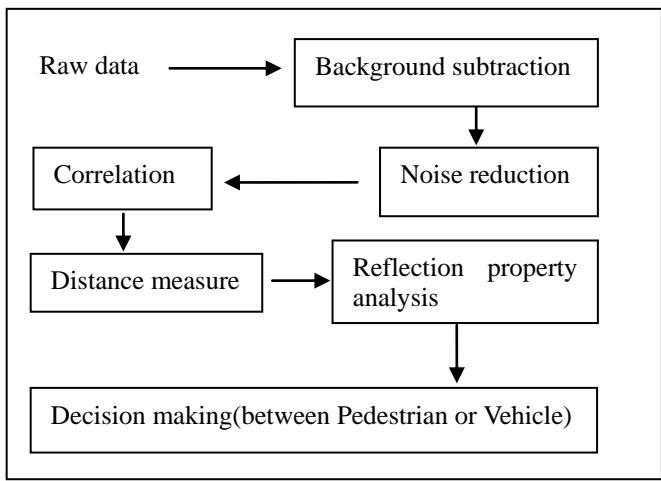
본 연구에서는 UWB 레이더로 타겟까지의 거리를 측정하고, 타겟이 차량인지 혹은 보행자인지를 구분해 내는 기초적인 방법을 제안한 다음, 그 가능성을 실험을 통해 조사한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2 장에서는 UWB 레이더를 이용해 탐지할 타겟까지의 거리를 측정하는 방법을 설명한다. 제 3 장에서는 타겟의 반사 특성을 이용해 차량과 보행자를 판별하는 알고리즘을 제안한다. 제 4 장에서는 제안한 방법의 실효성을 알아보기 위해 UWB 를 이용하여 자차 근처에 차량과 보행자가 지나가는 상황을 설정하고 각각의 상황에서 차량과 보행자를 구분하는 실험을 수행한다.

2. UWB 레이더를 이용한 거리 측정

2.1 UWB 레이더

UWB 레이더는 정밀도가 높아 타겟까지의 거리를 센티미터 단위로 측정할 수 있다. 또 거리에 대한 반사 특성으로부터 타겟의 종류를 어느 정도 구분해 낼 수도 있다. 이를 이용하여 타겟까지의 거리를 먼저 측정한 다음, 반사 특성으로부터 반사파가 차량에서 반사된 것인지, 아니면 보행자의 인체에서 반사된 것인지를 판별한다. 다음 그림 1 에 UWB 레이더 장치를 이용하여 거리를 측정하고 타겟을 판별하는 신호 처리 과정을 보인다. 제 2 장의 각 절에서는 그림 1 의 거리측정(Distance measure)까지의 과정을, 그리고 제 3 장에서는 차량/보행자 판별(Decision making) 과정을 자세히 설명한다.



(그림 1) Signal processing procedure of UWB radar

2.2 거리 측정

UWB 레이더의 수신파에는 송신파가 타겟에 반사되어 돌아온 신호뿐만 아니라 여러 가지 잡음이 섞여 있다. 이 잡음들은 일반적으로 AWGN (Additive White Gaussian Noise)로 모델링할 수 있으며, 본 연구에서는 이 잡음들은 무시하였다.

또 수신파에는 안테나, 차량의 구조물 등 주변의 물리적 환경 때문에 발생하는 배경 잡음이 섞여 있는데, FIR 필터를 이용하여 배경 잡음을 제거할 수 있다[5]. 본 연구에서는 아무런 타겟이 없을 때의 수신파를 여러 번 측정하여 평균을 구해서 배경잡음으로 삼고 이 배경 잡음을 수신파에서 빼줌으로써 배경 잡음을 없앤다(background subtraction)

레이더 장치의 송신기에서 나온 신호가 수신기로 바로 들어가는 경우의 데이터를 제외하기 위해 일정 거리 보다 가까운 데이터는 무시한다. 다른 잡음에 의해 물체가 왜곡되는 것을 막기 위해 데이터에서 의미 없는 값 중 가장 높은 값을 threshold로 설정하고 그보다 작은 값의 데이터는 무시하여 정제된 데이터를 획득한다.

이렇게 정제된 데이터를 송신파와 correlation 하여 수신파 중에서 반사파를 찾아낼 수 있고, 송신파가 물체에 반사되어 돌아올 때까지 시간을 구할 수 있다. 다음 식 (1)을 이용하여 Cross-correlation $R(\tau)$ 를 구한다.

$$R(\tau) = f^*(\tau) * g(t + \tau) \quad (1)$$

여기서 f 는 radar의 송신신호, g 는 레이더의 수신 신호, 그리고 τ 는 두 신호 사이의 시간차이다.

송신파가 물체에 반사되어 돌아올 때까지의 시간 τ 는 왕복 시간이기 때문에 반으로 나누고 UWB 레이더 신호의 속도, 즉 빛의 속도 C 와 곱하면 UWB 레이더로부터 물체까지의 거리 L 을 구할 수 있다.

$$L = \tau C / 2 \quad (2)$$

3. 차량과 보행자 판별

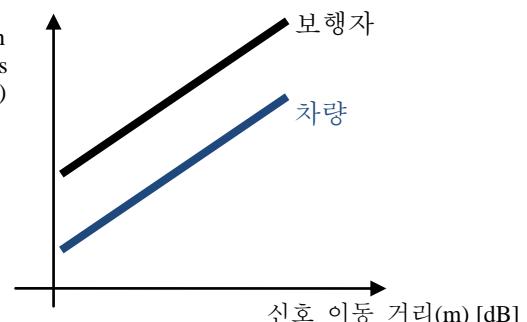
물체마다 신호를 반사하는 특성이 다르므로 반사 특성을 이용해 물체를 판별할 수 있다. UWB 신호가 송신기에서 수신기까지 진행하는 동안 생기는 출력 밀도의 감쇠를 Path loss 라 하며 다음 식이 성립한다 [6].

$$\text{Path loss(dB)} = P_{Tx}(dB) - P_{Rx}(dB)$$

$$= 10n \log_{10}(d) + K \quad (3)$$

여기서 P_{Tx} 는 송신 신호의 전력, P_{Rx} 는 수신 신호의 전력, n 은 경로 감쇠 지수, d 는 송신기와 수신기 간의 거리, 즉 신호의 이동 거리이며, K 는 타겟의 반사 계수에 따라 결정되는 상수다. 경로 감쇠 지수 n 은 실험 환경과 관계 있으며 자유 공간에서는 2, 신호가 한 번 전반사 될 때는 4, 실내 환경에서는 4에서 6 사이의 값을 가진다[7].

UWB 신호가 이동한 거리, 즉 앞에서 구한 레이더 장치와 타겟 사이의 거리를 변화시켜며 x 축에 그 스케일로 나타내고, 그 때의 Path loss(dB)를 y 축에 나타내면 식 (3)에 의해 1 차 방정식의 꼴로 나타난다. 이 때 차량, 보행자 두 타겟에 대한 K 의 값이 다르기 때문에 두 1 차 방정식의 y 절편은 다르고, 실험 환경이 변하지 않는다고 가정하면 경로 감쇠 지수 n 이 같으므로 직선의 기울기가 같다. 일반적으로 차량이 보행자보다 레이더를 더 잘 반사하는 재질이므로 Path loss 가 더 작을 것이다. 따라서 차량, 보행자의 신호 이동 거리에 대한 Path loss 의 그래프는 다음 그림 2와 같은 모양이 될 것이다.



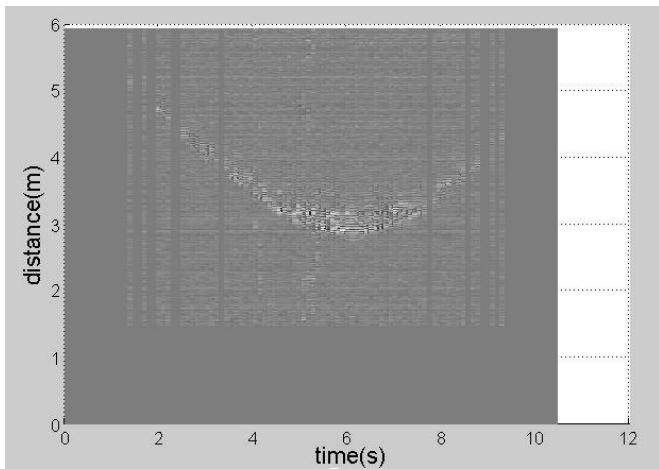
(그림 2) 신호의 이동 거리에 따른 Path loss 의 예상 그래프

4. 실험

4.1 거리 측정 실험

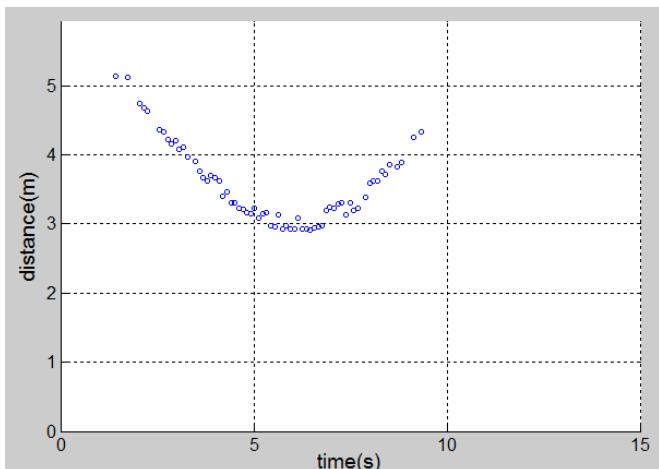
UWB 레이더 장치를 이용해 5m 거리에서 3m 거리 까지 가까워졌다가 다시 멀어지는 보행자에게 송신파를 발신하고, 받은 수신파 데이터를 MATLAB 으로 분석한다. 아무 물체도 없을 때를 측정한 데이터를 물체가 있을 때의 데이터에서 빼줌으로써 배경잡음을 제거한다. 레이더 장치의 송신기에서 나온 신호가 수신기로 바로 들어가는 경우의 데이터를 제외하기 위해 일정 거리보다 가까운 데이터는 무시한다. 다른 잡음에 의해 물체가 왜곡되는 것을 막기 위해 데이터

에서 의미 없는 값 중 가장 높은 값을 threshold로 설정하고 그것보다 작은 값의 데이터는 무시하여 정제된 데이터를 획득한다. 사람을 타겟으로 하였을 때의 수신 데이터를 그리면 다음 그림 3과 같다.



(그림 3) UWB 레이더로 측정한 보행자의 움직임

그림 3에서 밝은 부분은 수신파의 크기가 큰 부분으로, 물체에 신호가 반사되어 돌아온 것이다. 정확한 거리 정보를 얻기 위해 정제된 데이터를 송신파와 correlation 하면 수신파 중에 반사파를 찾아내, 송신파가 물체에 반사되어 돌아올 때까지 걸린 시간을 구할 수 있다. 잡음제거 후 그림 4의 시간-거리 그래프를 얻을 수 있었다.

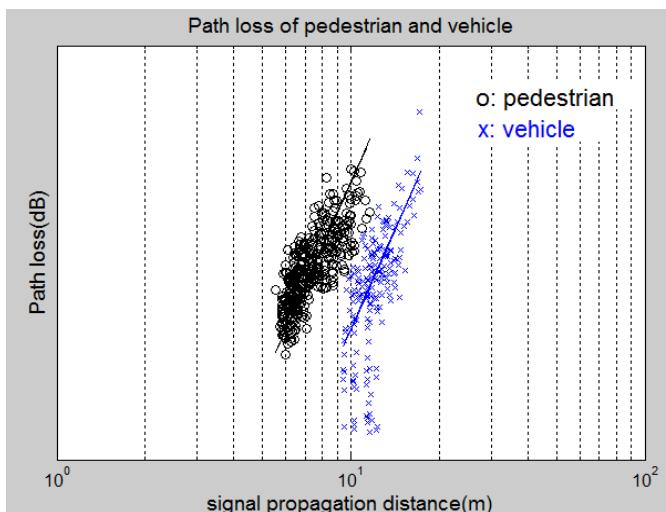


(그림 4) 타겟의 시간에 따른 거리 그래프

4.2 물체 판별 실험

반사 특성을 이용해 물체를 판별하기 위해 차량에 대해 10 번, 사람에 대해 8 번 실험을 하고 Path loss를 구하였다. UWB 신호의 이동 거리를 x 축에 로그스케일로, 그 때의 Path loss를 y 축에 dB 스케일로 나타내고 1 차 방정식에 polynomial curve fitting 을 하면 경로 감쇠 지수가 같아 차량과 보행자에 대한 직선의 기울기가 같음을 확인할 수 있었다. 다음 그림 5에 차량, 보행자에 대한 데이터와 polynomial curve

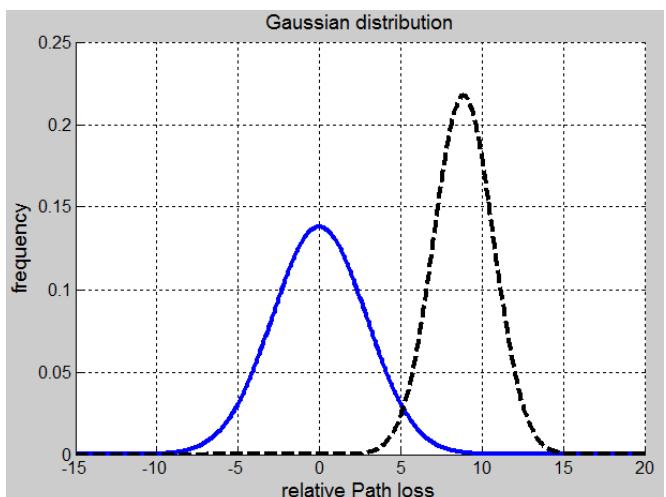
fitting 결과를 그래프로 나타내었다.



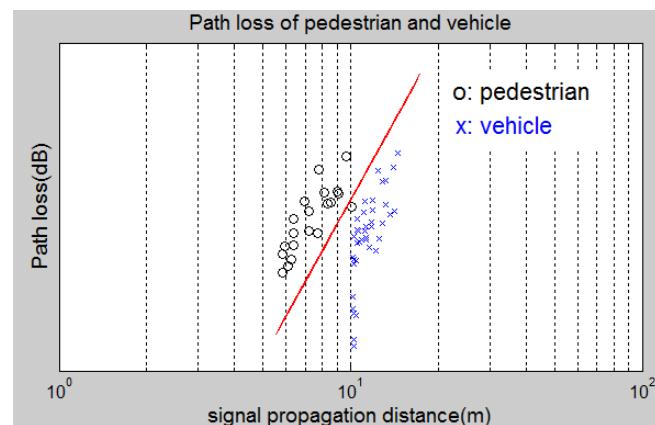
(그림 5) 차량, 보행자 데이터의 데이터와 1차 polynomial curve fitting

그림 5에서 파란색은 차량, 검은색은 보행자의 데이터들이며, 평균은 보행자, 표준편차는 차량이 더 크다는 것을 알 수 있다. 경로 감쇠 지수는 차량은 3.92, 보행자는 3.94로 거의 같음을 알 수 있었다.

보행자와 차량의 Path loss의 분포를 가우시안 분포로 나타내기 위해 각각의 Path loss의 평균과 편차를 구하였으며, 그림 6에 그 결과를 보인다. 이 그림에서는 차량의 Path loss의 평균이 보행자의 평균보다 작으므로 차량의 Path loss의 평균을 기준으로 삼기 위해 0으로 두었다. 타겟이 보행자인지 차량인지를 구분하기 위해 차량의 분포곡선과 보행자의 분포곡선의 교점에 해당하는 Path loss의 값을 threshold로 삼고, 이 threshold 보다 오른쪽에 있으면 보행자, 왼쪽에 있으면 차량이라고 판단한다. 이 threshold는 식(3)의 절편 K에 해당하는 것으로 이 것을 이동하는 차량과 보행자의 Path loss와 함께 나타내면 그림 7과 같다.



(그림 6) 차량, 보행자 데이터의 가우시안 분포 곡선



(그림 7) 이동하는 차량 및 보행자의 Path loss 와 Decision boundary

그림 7 은 이동하는 차량과 보행자의 1 회 실험에 대한 결과이다. 본 연구에서는 이동하는 차량에 대한 데이터를 10 번에 걸쳐 수집하였고, 보행자에 대한 데이터는 8 번을 수집하였으며 미리 정해진 threshold 를 적용하였을 때 모든 경우에 타겟을 정확하게 판별할 수 있었다.

5. 결론

가격 경쟁력, 고정밀도등의 장점을 갖는 UWB 레이더를 자율주행 자동차에 장착하여 인접한 타겟이 자동차인지 또는 보행자인지를 판별하는 방안을 제안하고 그 가능성을 실험하였다. 이를 위해 먼저 타겟까지의 거리를 송신파와 수신파 사이의 cross correlation 을 이용하여 구하였다. 또 자동차와 보행자는 반사 특징이 다른 점을 이용하여 구별해 낼 수 있는데 본 연구에서는 Path loss 를 이용하였다. 이동하는 보행자 및 자동차 각각에 대한 반사파를 각각 8 회와 10 에 걸쳐 측정하여 분석하였다. 실험결과 거리측정은 오차없이 측정 가능함을 알 수 있었고, 모든 경우에 자동차와 보행자를 정확히 구분할 수 있어 기초적인 수준에서 그 효율성을 확인할 수 있었다. 향후 다수의 보행자와 자동차가 혼재하는 경우 등에 대한 실험이 필요하며, 더 효율적인 잡음제거, background subtraction 에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 양창모, 허경, 김진우, 임정수, 정민아, 이연우, UWB 통신환경에서 WiMedia 분산 MAC 통신시스템을 위한 적응형 레레이 통신 프로토콜, 한국통신학회 학술 대회논문집, 2011.11, 132-133
- [2] Ian Oppermann, Matti Hämäläinen, Jari Iinatti, UWB, theory and applications, John Wiley & Sons, , 2004.
- [3] Mohamad Abou El-Nasr^{1,2} and Heba Shaban². Low-Power and Reliable Communications for UWB-Based Wireless Monitoring Sensor Networks in Undergroun Mine Tunnels, International Journal of Distributed Sensor Networks, Volume 2015 (2015)
- [4] 김근용, 시간영역 분석을 기반으로 한 UWB 범스 캐닝 안테나 시스템 설계, 광운대학교, 박사논문, 2014.
- [5] 김하준, 박준범, 변재영 IR-UWB 를 활용한 인체 탐지 및 거리 측정시스템, Journal of KIIT. Vol. 13, No. 5, pp. 1-10, May 31, 2015
- [6] 이영포, 윤석호, 이성로, “상관값 누적 기반 DS-UWB 레이더 시스템”, 한국통신학회논문지 '13-04 Vol.38C No.04, 2013.
- [7] 장동원, 엄순영, 최재익, UWB 레이더 센서를 이용한 인체 신호 모니터링 시스템 개발, 한국통신학회 2015년 하계종합학술발표회, pp. 1568-1569, June, 2015.