

레이다 (Radar) 모듈 파라미터 최적화

-로봇기반 혁신선도 전문인력 양성-

2022. 08. 12 (Fri.)

참 여 기 업 : (주) 유진MS

연구 책임자 : 김성호 교수

참여 연구원 : 신연하, 장오태, 권혁민

Advanced Visual Intelligence Laboratory

영남대 전자공학과

목차

- 프로젝트 요청 사항
- 프로젝트 내용
- 결론

1. 프로젝트 요청 사항

- 레이더 모듈 사용법 및 기능 숙지
 - Evaluation Software 활용 각종 파라미터의 개념, 설정 방법 Study
- 감지 정밀도 테스트
 - 샘플 대상물 활용하여 **최대감지 거리와 각도 측정, 감지 정밀도 시험**
- 센서 고정 상태에서 물체 인식
 - 감지 범위 내에서의 움직임 감지, 접근 대상물 등 인식
 - 움직임이 감지 되었을 때 선풍기, 바람 등에 **미세하게 흔들리는 물체와 사람이 움직이는 것을 구분 할 수 있는 최적의 파라미터 산출**
- 센서 이동 상태에서 물체 인식
 - 이동중 장애물 인식 (지게차 후방감지 시스템 등) 파라미터 최적화
 - **이동 속도에 따른 장애물 감지 파라미터 산출**
 - **움직이지 않는 장애물 (물체)과 움직이는 장애물(사람)의 구분이 가능한가?**

2. 프로젝트 내용

1. 감지 정밀도 측정

- 1) Grid에 대상물 위치시킨 후, Radar로 대상물 측정 (log)
- 2) 파라미터 변경하며 관측 한계 파악
- 3) 바람 등에 대해 미세하게 흔들리는 물체 감지 실험

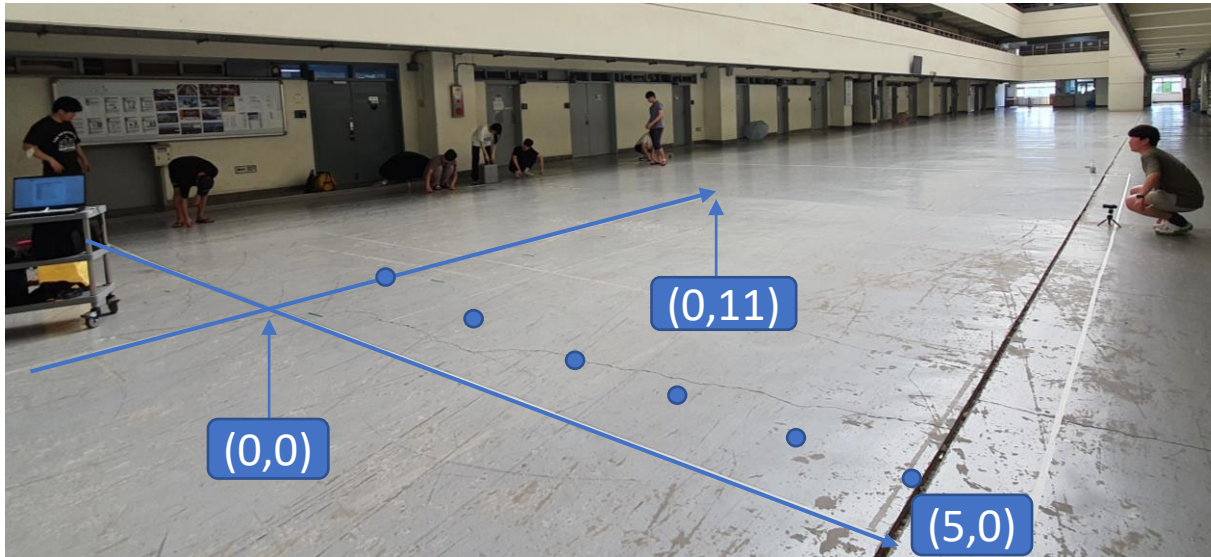
2. 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

- 1) 센서와 사람이 상대적으로 이동하는 상황에서 측정
- 2) 고정된 장애물과 사람 구분 실험

2. 프로젝트 내용 – 감지 정밀도 측정

1) Radar 감지 정밀도 측정을 위한 Grid 그리기

- Radar로 대상물 측정했을 때 도출된 파라미터와 실제 대상물의 파라미터 사이 오차 계산 필요
- 따라서, 실제 대상물의 파라미터를 알아야 측정 시 정확도 파악 가능



2. 프로젝트 내용 – 감지 정밀도 측정

2) 거리, 각도 별로 대상물 측정

- 대상물을 X축 $[-5,5]$, Y축 $[0,11]$ 에 1칸 씩 이동시키며 측정
- 파라미터 변경하며 관측 한계 파악



2. 프로젝트 내용 - 감지 정밀도 측정

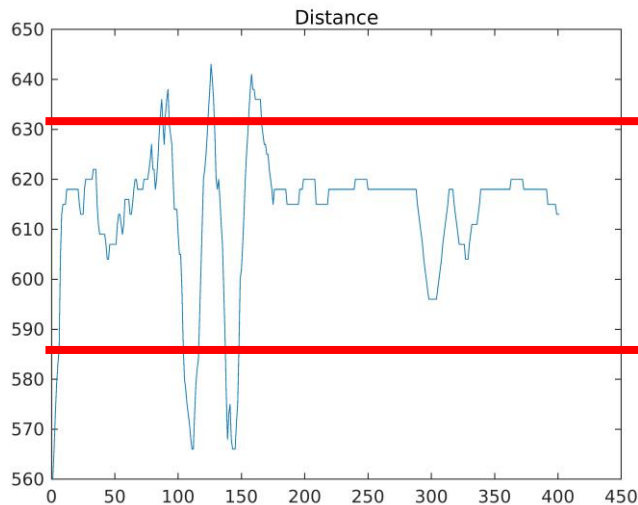
3) Matlab을 활용하여 Log 파일 정리

- figure 1. radar 측정 data (Distance, Angle)
- figure 2. 측정 data에 **threshold**를 주어 감지했는지 판단하고, 감지한 데이터 만을 plot

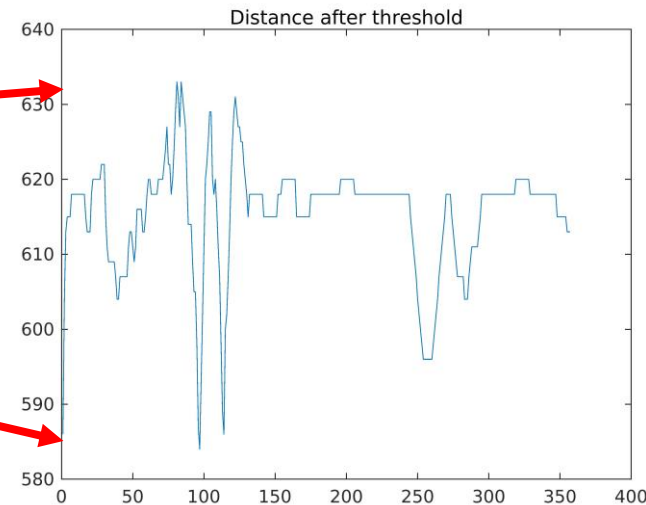
➤ **accuracy** = $\frac{\text{threshold안에 들어온 데이터}}{\text{전체 데이터}}$ (in figure 3) => **평균 Accuracy 65.12%**

threshold	x	y	magnitude	mean_distance	std_distance	phase	mean_phase	std_phase	mean_level	accuracy
25	-100	0	100	101.0215827	14.61955591	-90	-14.028777	32.7146075	13.5611511	34.2364532
25	-100	100	141.4213562	143.4895288	9.891200537	-45	-40.981675	7.03513338	22.617801	93.8574939
25	-100	1000	1004.987562	987.3888889	5.089075831	-5.7105931	-4.1111111	3.61189031	13.7777777	4.3373494
25	-100	200	223.6067977	222.8405063	8.230337575	-26.565051	-32.734177	3.36188271	25.1822785	98.9974937
25	-100	300	316.227766	321.6410891	7.491758569	-18.434949	-18.569307	2.53563164	21.2475248	100
25	-100	400	412.3105626	416.8664987	6.905188437	-14.036243	-16.005038	3.05587277	22.4962217	100
25	-100	500	509.9019514	514.636971	9.776044231	-11.309932	-11.697105	6.1710742	18.7282851	82.5367647
25	-100	600	608.276253	615.4145658	7.355087717	-9.4623222	-10.081232	3.19261976	22.6498595	89.0274314
25	-100	700	707.1067812	713.03125	12.15968105	-8.1301024	-8.296875	4.21548848	14.6210938	47.8504673
25	-100	800	806.2257748	814.7677725	8.675359173	-7.1250163	-7.8222749	1.98789126	22.1611374	90.7526882
25	-100	900	905.5385138	912.2645631	9.509140515	-6.3401917	-7.815534	3.04786654	16.4296117	93.6363636
25	-200	200	282.8427125	291.3907563	11.84831339	-45	-36.155462	10.8389141	15.3403361	53.724605
25	-200	300	360.5551275	371.5139665	9.677007118	-33.690068	-29.184358	14.7935068	14.8826816	43.872549
25	-200	400	447.2135955	456.3388889	10.63049471	-26.565051	-24.044444	12.7010413	14.4444444	40.6320542
25	-200	500	538.5164807	549.5111111	10.06032311	-21.801409	-22.666667	9.43638991	13.1777777	10.6635071
25	-200	600	632.455532	644.2568306	6.747877987	-18.434949	-21.202186	3.52332278	18.8907104	87.1428571
25	-200	700	728.0109889	736.2857143	9.290057671	-15.945396	-14.678571	4.70379677	16.3535714	66.8257757
25	-200	800	824.6211251	834.1572052	9.350940616	-14.036243	-13.253275	11.3062066	13.2532751	58.2697201
25	-200	900	921.9544457	932.9772727	6.839791771	-12.528808	-12.117424	7.66785792	13.5984848	49.7175141

<figure 3. Log 파일 정리>



<figure 1. Radar 거리 측정>
-1,0 지점 fig 3의 첫번째 해당



<figure 2. Threshold(25cm) 준 후>

<예시 (-1,6)의 데이터>

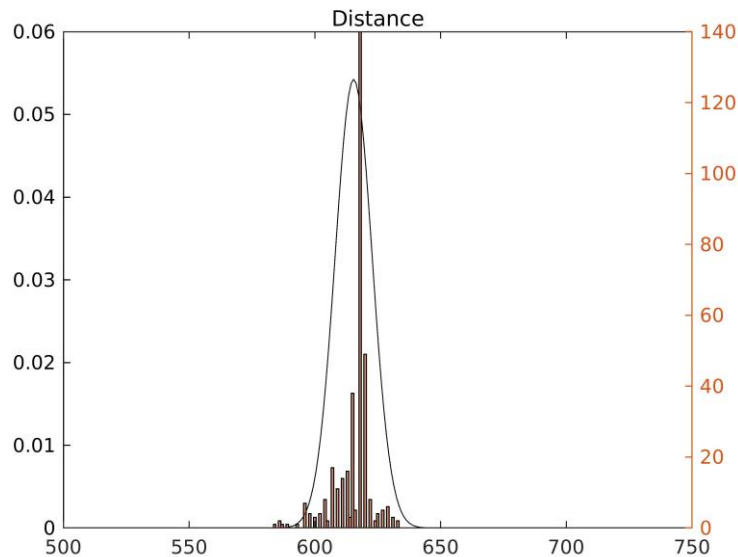
2. 프로젝트 내용 - 감지 정밀도 측정

3) Matlab을 활용하여 Log 파일 정리

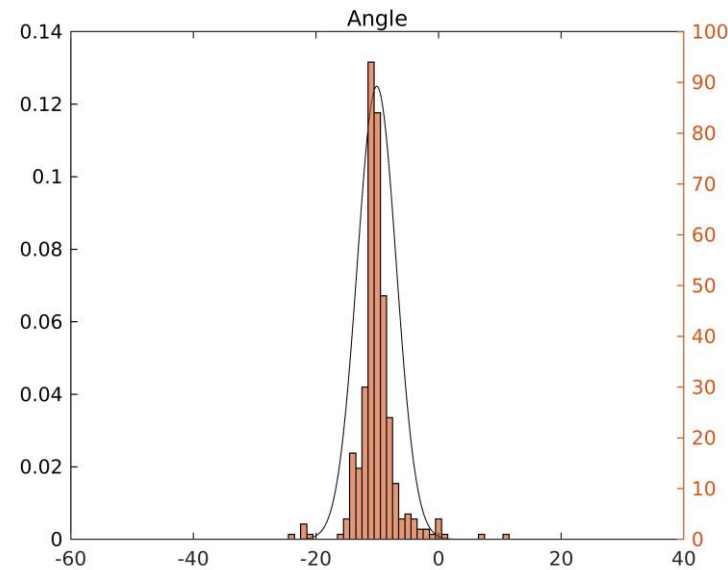
- Figure 4. 5는 시간에 따라 측정된 **거리**, **각도** 값에서
- 평균 및 표준 편차를 구한 것이 가우시안 분포를 따른다는 것을 보여줌.
- 평균, 표준편차로 값을 대체 할 수 있다.

threshold	x	y	magnitude	mean_distance	std_distance	phase	mean_phase	std_phase	mean_level	accuracy
25	-100	0	100	101.0215827	14.61955591	-90	-14.028777	32.7146075	3.5611511	34.2364532
25	-100	100	141.4213562	143.4895288	9.891200537	-45	-40.981675	7.03513338	2.617801	93.8574939
25	-100	1000	1004.987562	987.3888889	5.089075831	-5.7105931	-4.1111111	3.61189031	3.7777778	4.3373494
25	-100	200	223.6067977	222.8405063	8.230337575	-26.565051	-32.734177	3.36188271	5.1822785	98.9974937
25	-100	300	316.227766	321.6410891	7.491758569	-18.434949	-18.569307	2.53563164	1.2475248	100
25	-100	400	412.3105626	416.8664987	6.905188437	-14.036243	-16.005038	3.05587277	2.4962217	100
25	-100	500	509.9019514	514.636971	9.776044231	-11.309932	-11.697105	6.1710742	8.7282851	82.5367647
25	-100	600	608.276253	615.4145658	7.355087717	-9.4623222	-10.081232	3.19261976	2.6498599	89.0274314
25	-100	700	707.1067812	713.03125	12.15968105	-8.1301024	-8.296875	4.21548848	4.6210938	47.8504673
25	-100	800	806.2257748	814.7677725	8.675359173	-7.1250163	-7.8222749	1.98789126	2.1611374	90.7526882
25	-100	900	905.5385138	912.2645631	9.509140515	-6.3401917	-7.815534	3.04786654	6.4296117	93.6363636
25	-200	200	282.8427125	291.3907563	11.84831339	-45	-36.155462	10.8389141	5.3403361	53.724605
25	-200	300	360.5551275	371.5139665	9.677007118	-33.690068	-29.184358	14.7935068	4.8826816	43.872549
25	-200	400	447.2135955	456.3388889	10.63049471	-26.565051	-24.044444	12.7010413	4.4444444	40.6320542
25	-200	500	538.5164807	549.5111111	10.06032311	-21.801409	-22.666667	9.43638991	3.1777778	10.6635071
25	-200	600	632.455532	644.2568306	6.747877987	-18.434949	-21.202186	3.52332278	8.8907104	87.1428571
25	-200	700	728.0109889	736.2857143	9.290057671	-15.945396	-14.678571	4.70379677	6.3535714	66.8257757
25	-200	800	824.6211251	834.1572052	9.350940616	-14.036243	-13.253275	11.3062066	3.2532751	58.2697201
25	-200	900	921.9544457	932.9772727	6.839791727	-12.528808	-12.117424	7.66785792	13.5984848	49.7175141

<figure 3. Log 파일 정리>



<figure 4. histogram vs gaussian funtion>



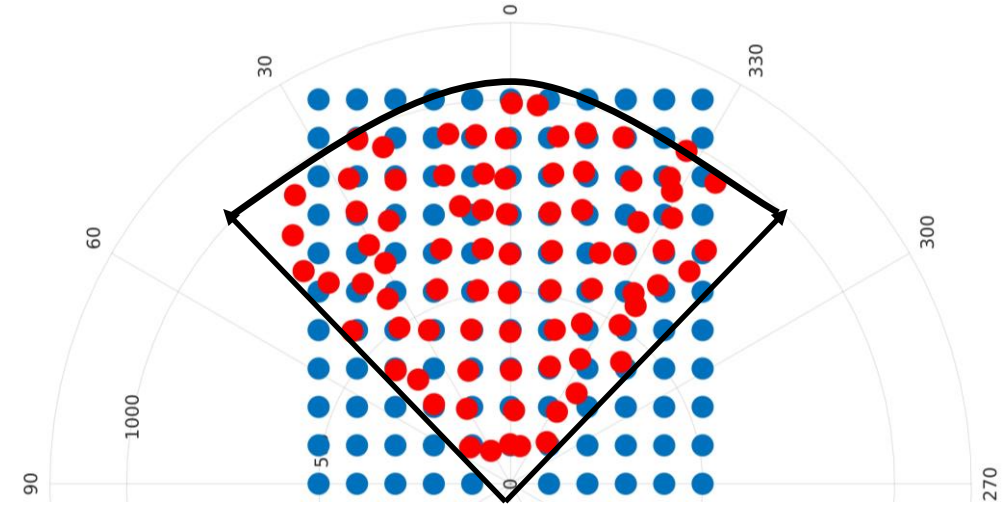
<figure 5. histogram vs gaussian funtion>

2. 프로젝트 내용 – 감지 정밀도 측정

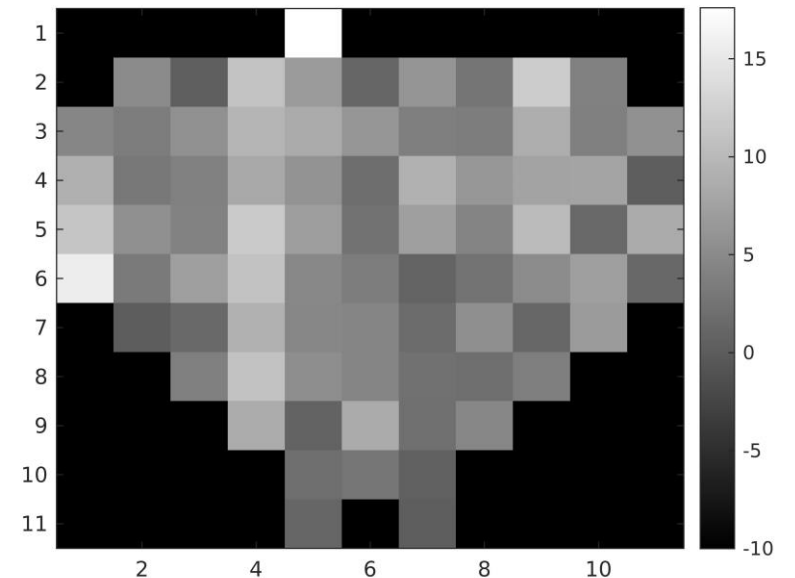
- 분석 결과 **최대감지 거리와 각도 측정, 감지 정밀도 시험**
 - 최대 감지 거리 : 약 10m
 - 최대 감지 각도 : 약 [-45,45] deg
 - 감지 정밀도 시험
 - Figure 7 : 각 위치별 오차 plot ($|pred - target|$)
 - Table 1 : MAE와 측정 (pred == 측정, target == 정답)
 - $MAE = \frac{1}{N} \sum_i^N |pred_i - target_i|$

<Table 1. MSE와 RMSE>

MAE	
Distance	Angle
5.39cm	4.87[deg]



<figure 6. 각 위치별 gt와 측정값>



<figure 7. 각 위치별 오차> ($|pred - target|$)

2. 프로젝트 내용 – 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

1) 센서 고정상태에서 물체와 사람 구분

- 물체 : 나무판자 및 금속 corner reflector 사용
- 분석 결과
 - 움직임이 있을 때 (사람, 물체 중 하나라도)
 - 사람과 나무판자가 함께 있으면 사람 우선 감지
 - 사람과 corner reflector가 함께 있으면 corner reflector 우선 감지
 - **corner reflector > 사람 > 나무판자 (반사 크기가 큰 값 우선 감지)**
 - 움직임이 없을 때
 - **반사 크기 (Level) 상관 없이 감지 하지 못한다.**

- 우선 순위: 1. 물체 및 사람의 움직임
2. 반사 크기 (Level)가 큰 값



- 나무판자

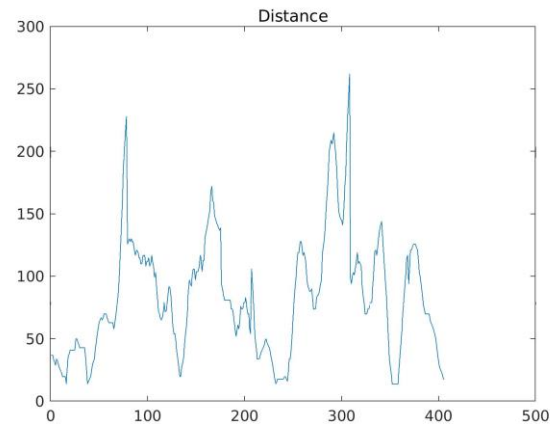
- corner reflector>

2. 프로젝트 내용 – 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

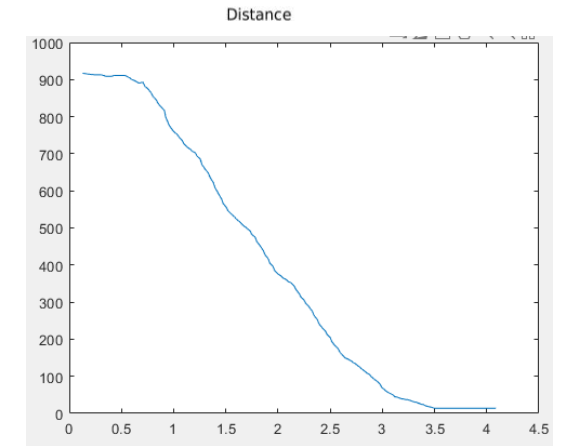
1) 센서 고정상태에서 물체와 사람 구분

=> 움직임이 있는 물체 / 사람 감지 정확도가 높음

정지해 있는 사람
- (위치 변화 x)



이동중인(접근) 사람
- (위치 변화 o)

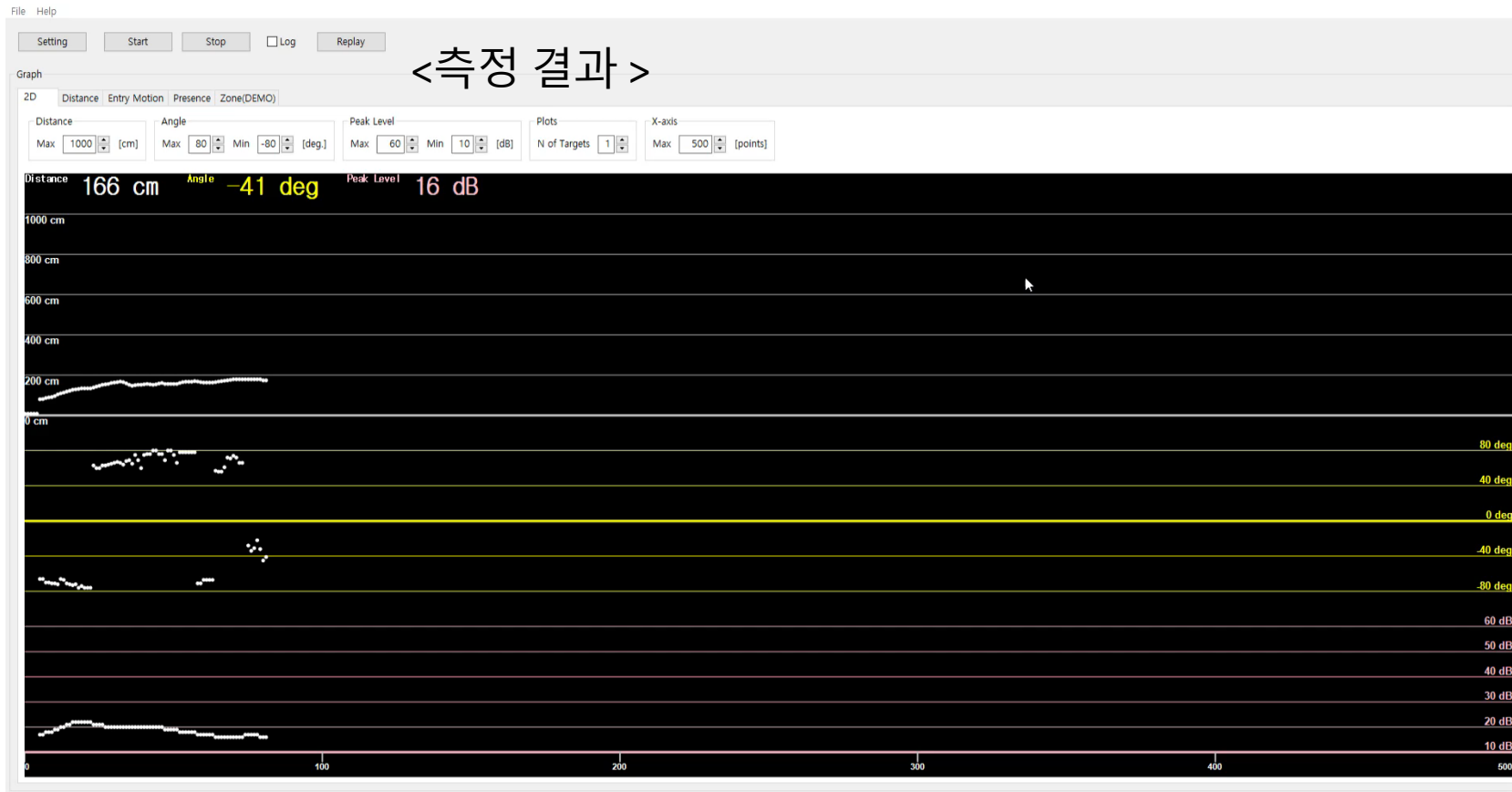


2. 프로젝트 내용 – 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

<측정 상황>

1) 센서 고정상태에서 물체와 사람 구분

1) Radar 고정, 나무판자 측정



움직임 없다가 나무 판자가
미세 흔들릴 때 감지

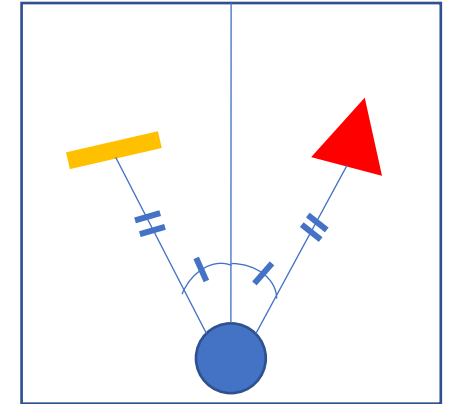
=> 움직임이 있는 물체 / 사람
감지 정확도가 높음

2. 프로젝트 내용 – 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

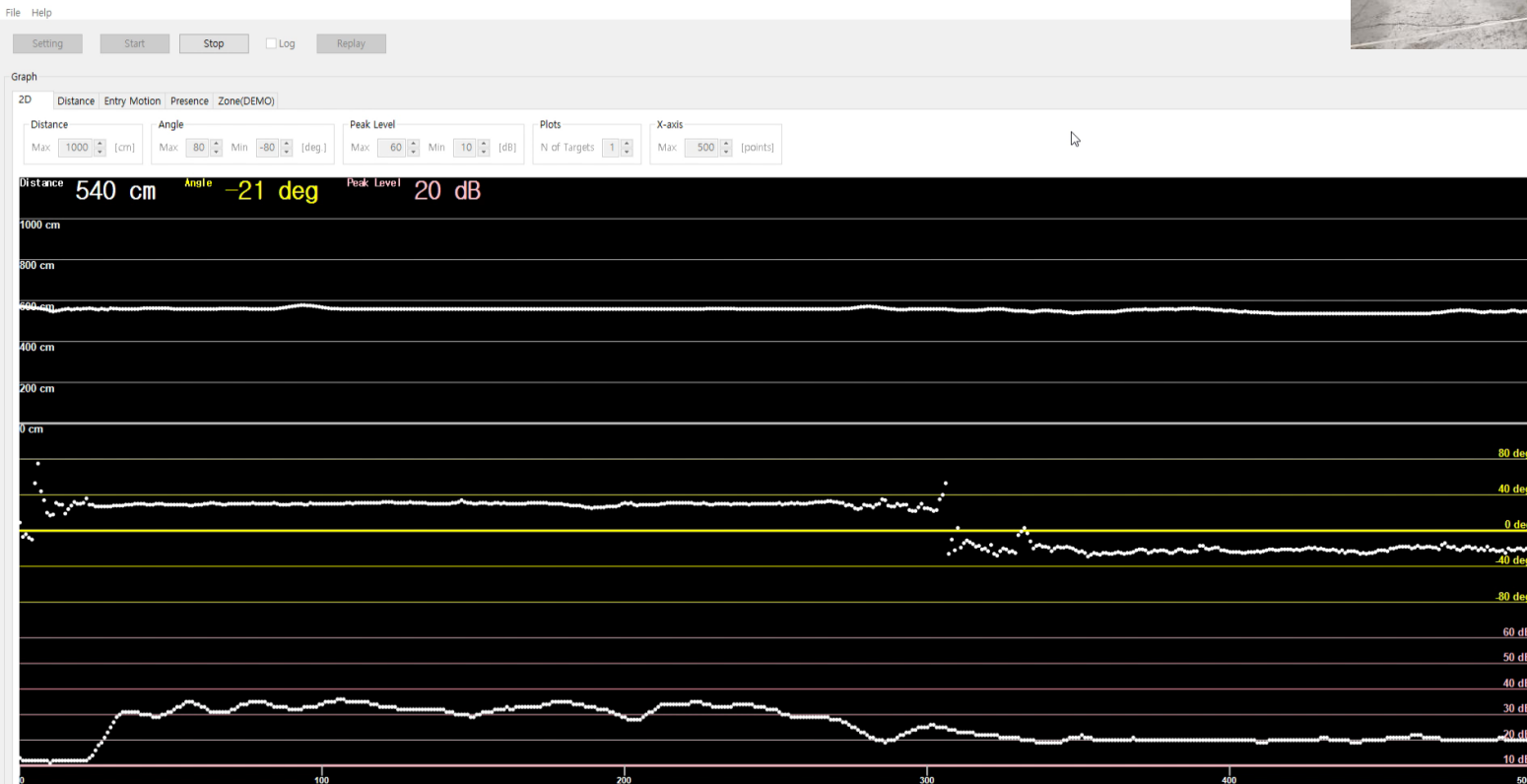
1) 센서 고정상태에서 물체와 사람 구분

1) Radar 고정, 사람 vs 나무판자 측정

(ㄱ). 사람, 나무판자 둘 다 움직일 때



촬영 map



사람 : 30 [deg]
나무 판자 : -30[deg]

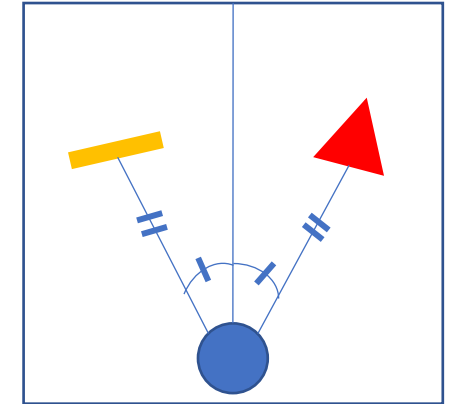
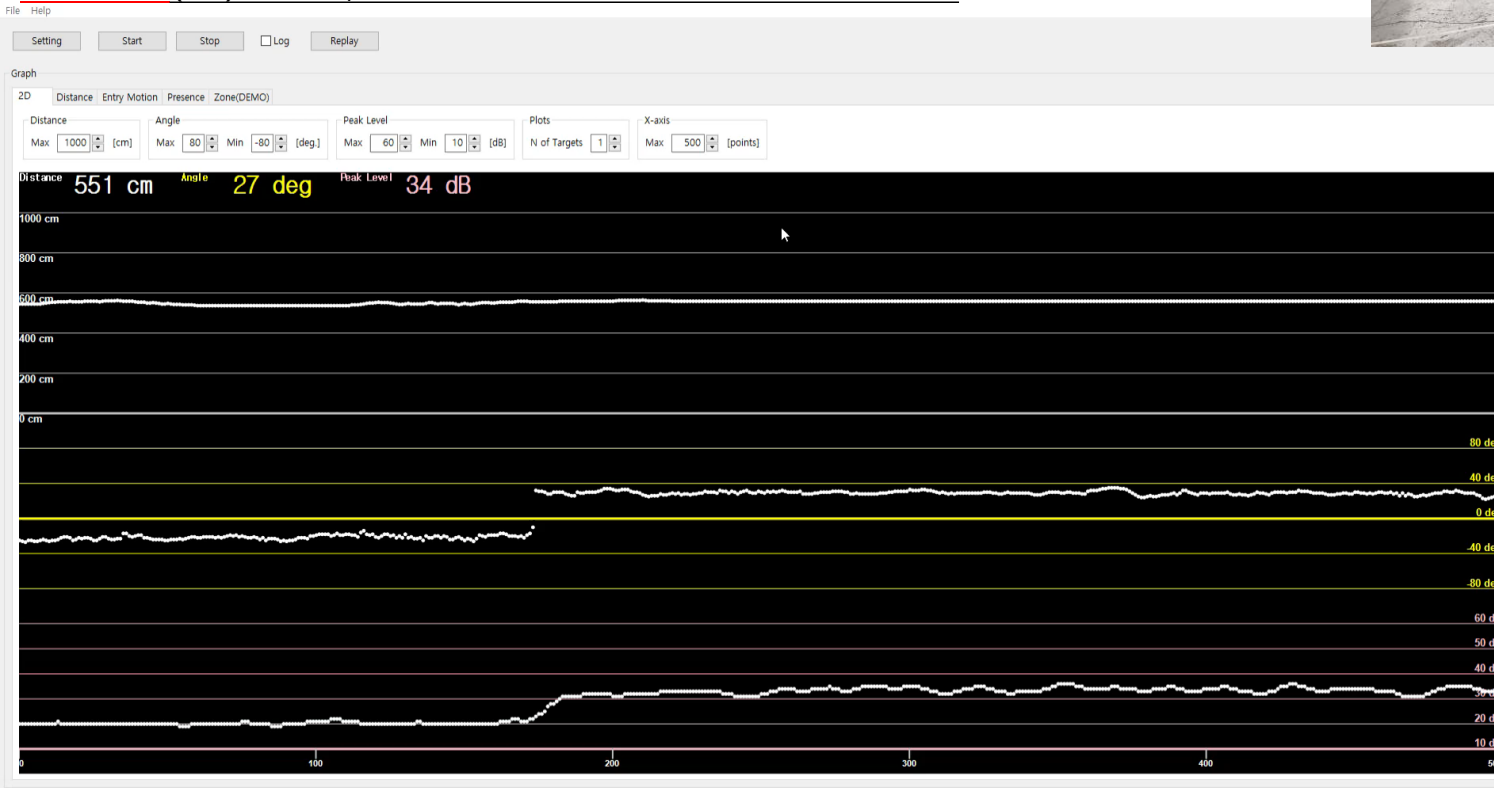
둘 다 움직일 때 **사람 우선 감지**
=> 사람과 나무판자가 함께 있으면
사람 우선 감지

2. 프로젝트 내용 - 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

1) 센서 고정상태에서 물체와 사람 구분

1) Radar 고정, 사람 vs 나무판자 측정

(L). 사람, 나무판자 둘 다 가만히 있을 때



촬영 map

사람 : 30 [deg]
나무 판자 : -30[deg]

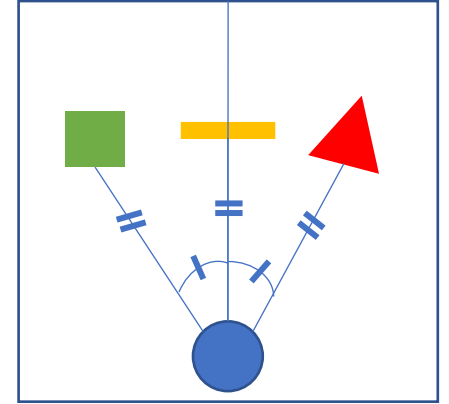
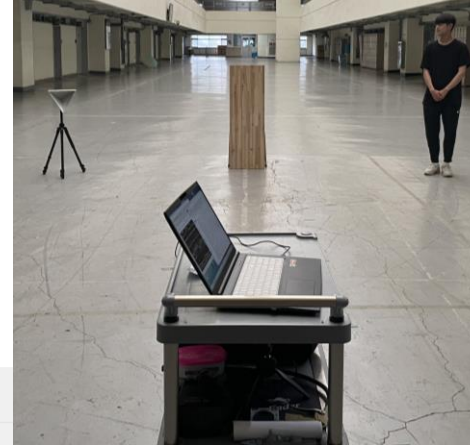
둘 다 고정일 때 **사람 우선 감지**
=> 사람은 미세하게 움직이므로 숨을
참고 가만히 있지 않는 이상 사람을
잡게 된다.

둘 다 가만히 있을 때
사람 우선 감지

2. 프로젝트 내용 – 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

- 1) 센서 고정상태에서 물체와 사람 구분
- 2) Radar 고정, 사람 vs 나무판자 vs 금속 측정

(ㄱ). 사람 움직임 vs 나무판자, 금속 멈춤



촬영 map

사람 : 30 [deg]
금속 : -30 [deg]
나무 판자 : 0[deg]

물체 고정일 때 **사람 우선 감지**
=> 사람은 미세하게 움직이므로 숨을
참고 가만히 있지 않는 이상 사람을
잡게 된다.

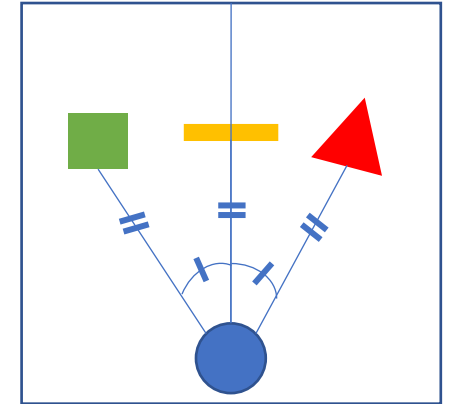
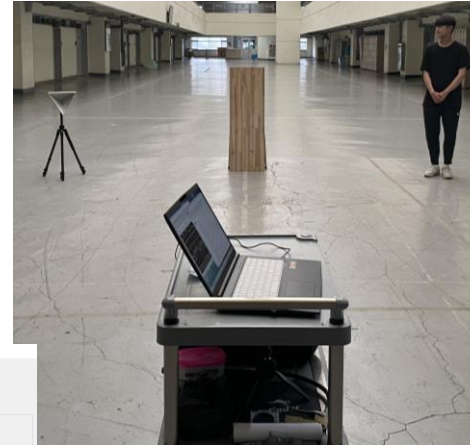
둘 다 가만히 있을 때
사람 우선 감지

2. 프로젝트 내용 - 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

1) 센서 고정상태에서 물체와 사람 구분

2) Radar 고정, 사람 vs 나무판자 vs 금속 측정

(L). 사람 움직임 vs 나무판자, 금속 움직임



촬영 map

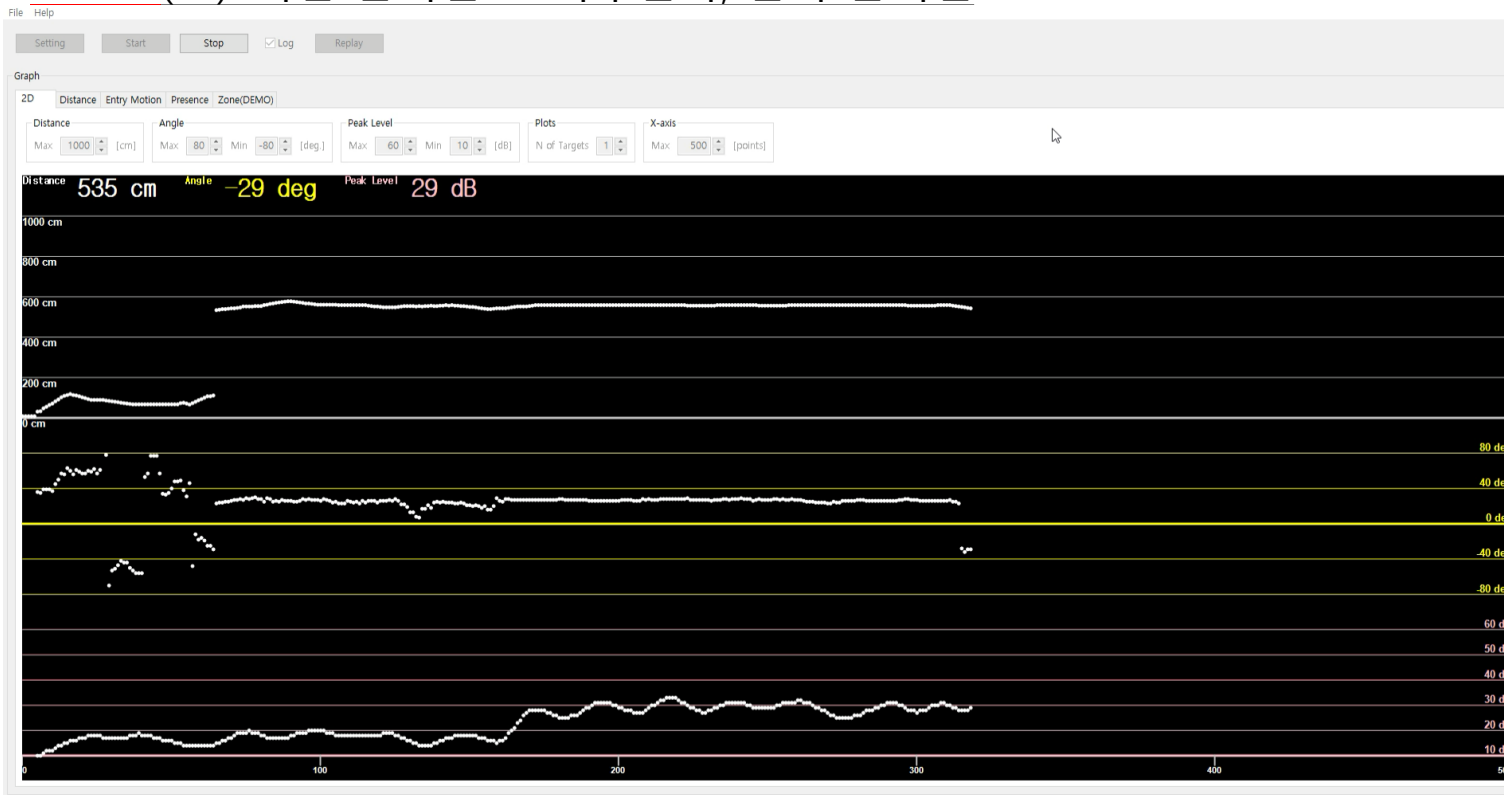
사람 : 30 [deg]
금속 : -30 [deg]
나무 판자 : 0[deg]

물체, 사람 모두 움직일 때

⇒ 신호 세기가 큰 물체를 잡는다

⇒ 금속의 세기가 가장 크다

-30 [deg] 위치한 금속 감지




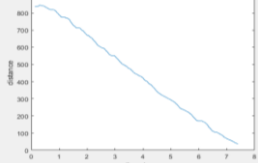
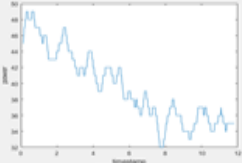

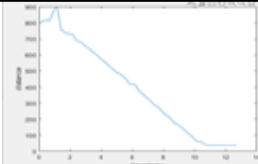
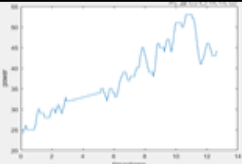

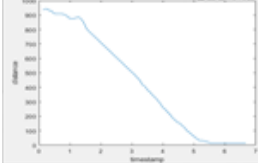
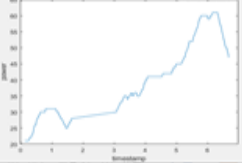

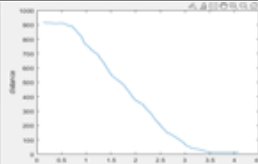
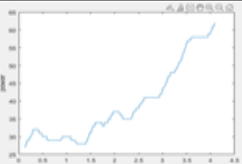


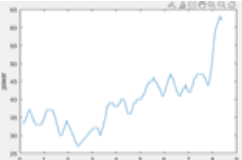
2. 프로젝트 내용 – 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

2) 센서와 사람이 상대적으로 이동하는 상황에서 측정

- 물체의 이동을 파악하기 위해서는 거리와 반사 신호 세기를 참고할 수 있다고 생각하여 실험 및 분석을 진행함.
- 속도 정보를 확인할 수는 없어 이동 거리 그래프를 미분하여 속도를 구하였고, 센서의 특성상 순간적인 기울기는 다소 튀는 현상이 있어 **2초 단위의 순간 기울기 평균을 계산하여 사용**
- **가정 상황**
 - **멀어질 시** : 카트 고정 및 걸어서 멀어짐, 카트와 보행자 동향으로 이동(보행자가 더 빠름, 보행자 뺨)
 - **접근 시** : 카트 고정 및 빠른 걸음으로 접근, 카트 이동 및 접근(걸어서, 빠른 걸음으로, 뛰어서 접근), 카트만 접근 (보행자 정지)


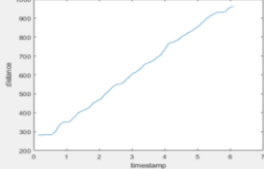
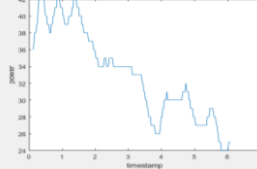

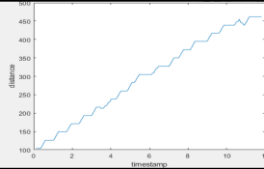
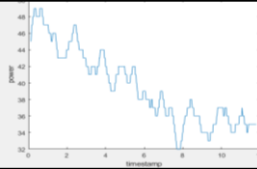

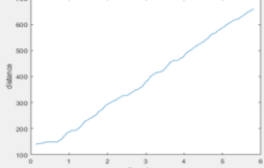
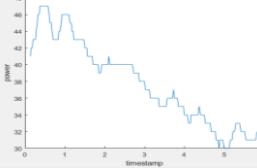
2. 프로젝트 내용

2. 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

상태	이동거리 그래프	Power 그래프	속도 평균 [m/s]	Power 평균 [dB]	P min / max [dB]
카트 고정 - 빠른걸음으로 접근 			-2.5562 m/s	36.0171	18 / 51
카트 이동 - 걸어서 접근 			-1.9216 m/s	38.554	24 / 53
카트 이동 - 빠른걸음으로 접근 			-2.9818 m/s	40	21 / 61
카트 이동 - 뛰어서 접근 			-6.3531 m/s	39.1875	27 / 62
카트만 접근 (보행자 정지) 			-1.0344 m/s	39.8117	27 / 63

2. 프로젝트 내용

2. 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

상태	이동거리 그래프	Power 그래프	속도 평균 [m/s]	Power 평균 [dB]	P min / max [dB]
카트 고정 - 걸어서 멀어짐 			-2.5562 m/s	36.0171	18 / 51
카트 이동 - 같은 방향, 보 행자가 더 빠름 			-1.9216 m/s	38.554	24 / 53
카트 이동 - 같은 방향, 보 행자 뒀 			-2.9818 m/s	40	21 / 61

2. 프로젝트 내용

2. 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

2) 센서와 사람이 상대적으로 이동하는 상황에서 측정 (멀어질 때)

- 2초 단위로 순간 속도 평균치 계산

	평균 속도	V_min	V_max
1. 정지 시	-0.0045 m/s	0 m/s	0.8625 m/s, -1 m/s

	평균 속도	V_min	V_max
2. 카트 고정 – 걸어서 멀어짐	2.8062 m/s	2.4375 m/s	3.4625 m/s
3. 카트 이동 – 같은 방향, 보행자가 더 빠름	0.8222 m/s	0.2875 m/s	0.8375 m/s
4. 카트 이동 – 같은 방향, 보행자 뒀	2.1611 m/s	2.0375 m/s	2.4000 m/s

2. 프로젝트 내용

2. 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

2) 센서와 사람이 상대적으로 이동하는 상황에서 측정 (접근 시)

	평균 속도	V_min	V_max
1. 카트 고정 - 빠른 걸음으로 접근	-2.5562 m/s	-1.6750 m/s	-3.1875 m/s
5. 카트 이동 - 걸어서 접근	-1.9216 m/s	-0.4625 m/s	-3.9125 m/s
6. 카트 이동 - 빠른 걸음으로 접근	-2.9818 m/s	-0.7875 m/s	-7.9875 m/s
7. 카트 이동 - 뛰어서 접근	-6.3531 m/s	-4.2250 m/s	-7.0625 m/s
8. 카트만 접근 (보행자 정지)	-1.0344 m/s	-0.6125 m/s	-1.6750 m/s

(* 접근 시 최고속도는 abs)

2. 프로젝트 내용

2. 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

2) 센서와 사람이 상대적으로 이동하는 상황에서 측정 (접근 시)

정지 시	평균 속도	V_min	V_max
	-0.0045 m/s	0 m/s	0.8625 m/s, -1 m/s

	평균 속도	V_min	V_max
5. 카트 이동 - 걸어서 접근	-1.9216 m/s	-0.4625 m/s	-3.9125 m/s
8. 카트만 접근 (보행자 정지)	-1.0344 m/s	-0.6125 m/s	-1.6750 m/s

➤ 분석 결과

- 가장 느린 상황에서의 속도를 threshold 값으로 두어 속도가 **-0.3 m/s** 정도로 감지되어도 서로 접근 중이라고 감지하는 것이 안전할 것이라고 판단됨.

2. 프로젝트 내용

2. 센서 고정 및 이동상태에서 물체 감지

2) 센서와 사람이 상대적으로 이동하는 상황에서 측정 (접근 시)

정지 시	평균	최대	2m	1m
	17.66dB	34.0145 dB	23.18794	34.01446

	2m	1m	반경 내 (사람 이라고 가정)		
1. 카트 고정 - 빠른 걸음으로 접근	43dB	45dB	신호 세기	상태	
5. 카트 이동 - 걸어서 접근	39dB	45.5dB	~ 35	정지	
6. 카트 이동 - 빠른 걸음으로 접근	41dB	42dB	35 ~	이동 중	50 이상 매우 가까움
7. 카트 이동 - 뛰어서 접근	38dB	41dB			
8. 카트만 접근 (보행자 정지)	36dB	44dB			

3. 결론

- 감지 정밀도
 - 평균 거리 오차 5.39 cm, 각도 오차 4.87deg
 - 최대 감지 거리 : 약 10m
 - 최대 감지 각도 : 약 [-45,45] deg
- 센서와 사람 및 장애물이 서로 접근 중일 시 일정 거리 내에서 2초간 **평균 속도가 -0.3 m/s** 정도로 감지되면 서로 접근 중이라고 감지하는 것이 안전할 것이라고 판단됨.
- 같은 거리일 때 감지의 우선순위
 - 1) **움직임**이 감지되는 대상
 - 2) 움직임이 없을 시 **신호 반사 세기가 강한** 대상
 - 금속 -> 사람 -> 나무 판자

THANK YOU

감사합니다