



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2014 年 8月

석사학위논문

IR-UWB를 활용한 물체 탐지 및
거리 측정시스템 구현

조선대학교 대학원

정보통신공학과

김 하 준

2014년 8월

석사학위논문

IR-UMB를 활용한 물체 탐지 및 거리 측정
시스템 구현

김
하
준

IR-UWB를 활용한 물체 탐지 및
거리 측정시스템 구현

Implementation of Object Detection and
Ranging system Using IR-UWB

2014년 8월 25일

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

김 하 준

IR-UWB를 활용한 물체 탐지 및
거리 측정시스템 구현

지도교수 변 재 영

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2014년 4월

조 선 대 학 교 대 학 원

정보통신공학과

김 하 준

김하준의 석사학위 논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 한 승 조 印

위 원 조선대학교 교수 권 구 락 印

위 원 조선대학교 교수 변 재 영 印

2014년 5월

조 선 대 학 교 대 학 원

목 차

그림 목 차	ii
표 목 차	iv
Acronyms	v
ABSTRACT	vi
I. 서 론	1
A. 연구 배경 및 목적	1
B. 연구 목표	2
C. 논문 구성	2
II. IR-UWB 기술 개요	3
III. IR-UWB 레이더의 물체 탐지 및 거리 측정	5
IV. IR-UWB 레이더 신호처리 과정	8
A. 고주파 통과 필터	8
B. 배경차분 과정	9
C. 수신 신호 감쇄 보상	11
D. CFAR (Constant False Alarm Rate) 알고리즘	13
E. 신호 오차 보정	16
V. IR-UWB 레이더 시스템 구성	17
A. 물체 탐지 및 거리 측정 시스템 구성	17
B. 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템	22
VI. IR-UWB 레이더 성능 평가 및 결과 분석	26
VII. 결론 및 향후 연구과제	36
참고문헌	37

그림 목 차

그림 1. UWB 주파수 정의	3
그림 2. 국내 UWB의 주파수 분배	4
그림 3. 클러스터가 포함된 물체 탐지 신호	5
그림 4. novelda NVA6000 chip의 IR-UWB frame 구조	6
그림 5. novelda NVA6000 chip의 시간 지연부의 블록도	6
그림 6. Frame offset 변경을 통한 거리 측정	7
그림 7. 실시간 물체 탐지 거리 측정 시스템 신호 처리 과정	8
그림 8. FIR 필터를 사용한 적응 필터 블록 다이어그램	9
그림 9. 적응 필터를 사용 주변 간섭 신호 제거 결과	10
그림 10. 신호 감쇄 보상	11
그림 11. 수신 신호 감쇄 보상 결과	12
그림 12. CFAR 블록도	13
그림 13. CA-CFAR 블록도	14
그림 14. 신호 오차 보정 결과	16
그림 15. NVA620 IR-UWB 레이더	17
그림 16. NVA6000 송수신 신호 파형	17
그림 17. LNA (low noise amplifier)	19
그림 18. novelda Sinuous Antenna	20
그림 19. 실시간 물체 탐지 거리 측정 시스템	21
그림 20. 보행자 검출 및 추적 알고리즘	22
그림 21. 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템 구성도	23
그림 22. 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템	24
그림 23. 벽에 의해 가려진 객체 탐지	25
그림 24. IR-UWB 물체 탐지 및 거리 측정 실험 시나리오	26
그림 25. 실내 복도 환경 거리 측정	27
그림 26. 실내 강의실 환경 거리 측정	27
그림 27. 실외 넓은 공간 환경 거리 측정	27
그림 28. 실내 복도 환경 거리 측정 결과	28
그림 29. 실내 강의실 환경 측정 결과	29

그림 30. 실외 넓은 공간 환경 측정 결과	30
그림 31. 거리에 따른 평균 제공근 오차 결과 비교	31
그림 32. 실내 복도에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 결과	32
그림 33. 실내 강의실에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 결과	33
그림 34. 실외 넓은 공간에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 결과	34
그림 35. 움직이는 물체의 탐지 및 거리의 평균 제공근 오차 결과	34

표 목 차

표 1. IR-UWB 레이더 파라미터	18
표 2. HMC311SC70 LNA specification	19
표 3. Novelda Sinuous Antenna specification	19
표 4. Realtime IR-UWB radar system parameter	20
표 5. 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템 파라미터	24
표 6. 실내 복도 환경 평균 제공근 오차 결과	28
표 7. 실내 강의실 환경 평균 제공근 오차 결과	29
표 8. 실외 넓은 공간 평균 제공근 오차 결과	30
표 9. 실내 복도에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 평균 제공근 오차 결과	32
표 10. 실내 강의실에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 평균 제공근 오차 결과	33
표 11. 실외 넓은 공간에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 평균 제공근 오차 결과	34

Acronyms

UWB :	Ultra-Wideband
IR-UWB :	Impulse Radio-Ultra Wideband
FCC :	Federal Communications Commission
RSSI :	Received signal strength Indication
AOA :	Angle of arrival
TOA :	Time of arrival
TDOA :	Time difference of arrival
AP :	Access Point
DAA :	Detection and Avoid
LO :	Local Oscillator
DCR :	Direct Conversion Receiver
CFAR :	Constant False Alarm Rate
CA-CFAR :	Cell Averaging Constant False Alarm Rate

ABSTRACT

Implementation of Object Detection and Ranging system Using IR-UWB

Kim, Ha-Jun

Advisor : Prof. Pyun, Jae-Young, Ph.D.

Department of Information and Communication Engineering
Graduate School of Chosun University

Nowadays, people spend most of their life indoor. Therefore, the detection and ranging of people in a small range indoor surveillance are very important applications. The existing positioning systems such as Global Positioning System (GPS) and conventional Radar are limited at the indoor applications high errors. In recent years, the UWB has become a possible solution for object detection and ranging because it has many advantages such as high spatial resolution, simple transceiver, and low cost.

This paper proposes the improved real time object detection and distance measurement system using IR-UWB radar. Firstly, the IR-UWB signal is applied for clutter reduction to reduce unwanted signals. After that, the Constant False Alarm Rate (CFAR) is used for detection of objects. Finally, the object distance is computed based on time of arrival (TOA). In order to evaluate the performance of proposed method, several experiments are made with a real IR-UWB test equipment. The experimental results validate that the implemented IR-UWB Object tracking system finds the moving object with tolerable ranging errors of 30cm in 6m distance.

I. 서 론

A. 연구 배경 및 목적

최근 위치추적 시스템 연구가 보안 및 군사 등 다양한 분야에서 활발히 진행되고 있다. 스마트 기기의 보급으로 위성항법장치 (global positioning system, GPS)을 활용한 다양한 편의 서비스가 개발되고 있으며, 대표적으로 내비게이션 시스템 (navigation system)이 있다. 이 시스템은 위성에서 보낸 신호 정보를 바탕으로 목적지를 찾아가는 시스템이다. 또한, 위성항법장치의 신호를 이용 위급상황 발생 시 자신의 위치를 다른 사람에게 전달 위급상황에 대처할 수도 있다. 반면 위성항법장치의 단점은 실내 환경에서 사용이 불가능하다는 것이다. 오늘날 우리는 대부분 시간을 실내에서 보내고 있다. 실내 환경에서 위와 같은 문제를 해결하기 위해 실내 위치추적 시스템 (indoor positioning system, IPS)이 그 대안으로 제시되고 있다. 실내 위치추적 시스템은 제한된 공간에서 센서 및 통신 장치를 통한 위치추적 시스템을 말 한다 [1]. 이를 위해 적외선 센서를 이용한 측위 시스템으로 액티브 배지 (active badge location system), 초음파 센서를 이용한 액티브 배트 (active bat), 초음파와 RF를 이용한 크리켓 (cricket location support system) 등 현재 세계 여러 연구기관과 대학에서 연구가 진행되고 있다 [2]. 액티브 배지 시스템은 15초 주기로 1초에 1회 자신의 인식 번호를 적외선을 통해 전송하며, 천장에 부착된 적외선 감지 센서에 의해 감지하여 위치 정보를 서버에 전송한다. 액티브 배지 시스템의 경우 적외선을 사용하기 때문에 태양광과 실내조명에 의해 오차가 발생 할 수 있다 [4]. 초음파를 이용하는 액티브 배트는 송신기로부터 발신되는 초음파 펄스를 천장에 달린 수신기로 수신한다. 수신된 펄스 도달 시간의 삼각측량법에 의해 이동 시간을 계산 하여 위치를 측정한다. 수신기를 1.2미터 간격으로 설치하여 실험한 결과 9센티미터 이내의 오차를 갖는다. 그러나 이는 측정 범위가 증가됨에 따른 추가적인 비용이 발생한다 [3]. 초음파와 RF를 이용하는 크리켓 시스템의 경우 송신기에서 RF신호와 초음파 신호를 동시에 송신하며 RF신호와 초음파의 수신되는 시간차를 이용하여 수신기 사이의 거리를 계산하고 삼각측량법을 이용하여 위치를 추정한다. 크리켓 시스템의 경우 측정 오차는 1.2m로 정밀한 위치 측정에 어려움이 있다 [5]. 이러한 측정 오차와 비용적 문제점을 최소화하고 정밀한 위치 추적을 위해 IR-UWB 레이더가 대안으로 평가되고 있으며, 국내외 대학과 연구기관에서 활발하게 연

구가 진행되고 있다. IR-UWB 레이더는 TX 안테나에서 방사된 주기적인 임펄스 신호가 목표물에 반사되어 RX 안테나에 수신된 시간 차이 (time of arrival, ToA)를 계산하여 거리를 측정한다. 낮은 소비전력으로 에너지 효율이 우수하며, 넓은 스펙트럼 대역에 걸쳐있어 다중경로 페이딩에 강하다. 펄스가 매우 짧아 수 센티미터 정도의 정밀도로 거리를 측정할 수 있어 위치기반 응용에 활용도가 높다 [7]. 또한 콘크리트 벽이나 나무 재질의 벽을 투과할 수 있다. 이를 이용하면 지진이나 화재 등 각종 사고로 인한 인명 구조에 사용될 수 있다 [6]. 이러한 UWB의 장점인 정밀한 거리 측정을 활용한 IR-UWB 레이더는 보안, 군사 등 다양한 분야에서 많은 연구가 진행되고 있다.

B. 연구 목표

본 논문에서는 IR-UWB 레이더를 활용하여 움직이는 물체의 실시간 탐지 및 거리 측정 시스템을 구현한다. 움직이는 물체 탐지 및 거리 측정을 위하여 수신된 신호의 클러터 (clutter)를 제거하기 위해 적응 필터 (adaptive filter)를 사용한다. IR-UWB 레이더의 측정 거리가 멀어지면 신호가 약해지게 되며, 이 경우 정확한 측정에 어려움이 있다. 클러터가 제거된 신호는 물체 탐지를 위해 거리에 따른 신호 감쇄 보정을 한다. 신호 감쇄 보정 후 CA-CFAR 알고리즘을 통하여 물체를 탐지하게 된다. 물체의 더욱 정밀한 위치 탐지를 위해 신호를 일정 간격으로 나누어 신호 보정 과정을 거치게 된다. 이후 탐지된 물체까지의 거리 환산을 통해 거리를 측정하게 된다.

C. 논문 구성

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서 IR-UWB 기술 개요를 기술한다. 제 III장에서 IR-UWB 레이더의 물체 탐지 및 거리 측정 시스템에 대해 고찰한다. 제 IV장에서는 IR-UWB 신호처리 과정을 기술하며, 제 V장에서 시스템 구성을 소개한다. 제 VI장에서 IR-UWB 레이더의 성능 평가 및 결과 분석을 하며, 마지막으로 제 VII장에서 결론을 맺는다.

II. IR-UWB 기술 개요

UWB는 레이더는 군사적 목적으로 개발되었다. 항공사와 통신업체에서 기존 무선통신 시스템 운영에 지장을 준다는 이유로 기술의 상업적인 목적으로 사용을 금지하였다. 2002년 FCC에서 상업적 목적 사용을 허용 하였으며, 이후 IEEE802.15.3a와 IEEE802.15.4a에서 표준화가 시작되었다. FCC는 상용화를 허용하며 중심 주파수의 20% 이상의 점유 대역폭을 가지거나 500MHz 이상의 대역폭을 갖는 무선전송 기술로 UWB를 정의하였다. 또한, 대역폭을 500MHz 이상 기존 캐리어 변조 기술도 UWB로 분리하였다. UWB는 3.1-10.6GHz 대역에서 100Mbps 이상의 고속으로 데이터를 전송한다. 또한, 낮은 소비 전력으로 에너지 효율이 우수하며, 넓은 스펙트럼 대역에 걸쳐있어 다중경로 페이딩에 강하다. 펄스가 매우 짧아 수 센티미터 정도의 정밀도로 거리를 측정할 수 있어 위치기반 응용에 활용도가 높다 [7]. 그림 1은 UWB의 주파수 정의를 표현하였다. UWB의 3GHz 이하 대역에는 GPS, PCS, Bluetooth, Zigbee, IEEE802.11b 등의 통신 방식이 존재한다.

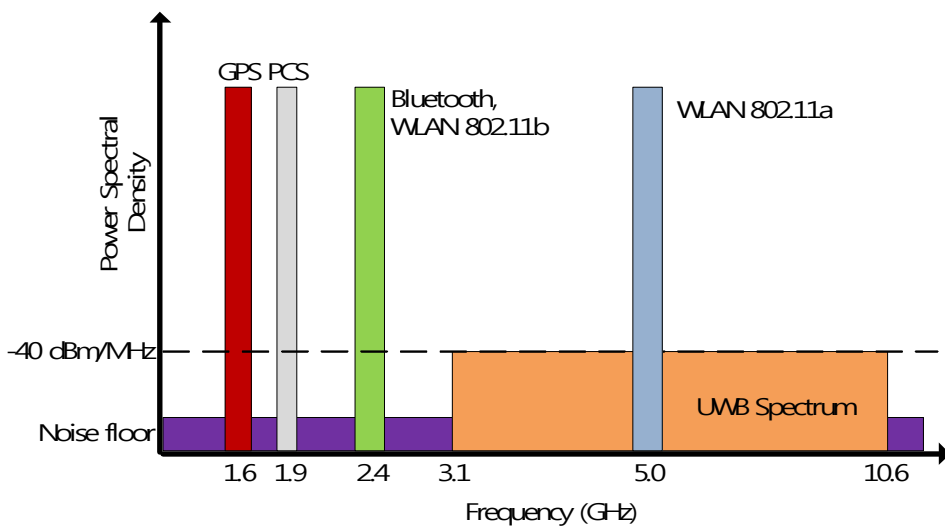


그림 1. UWB 주파수 정의

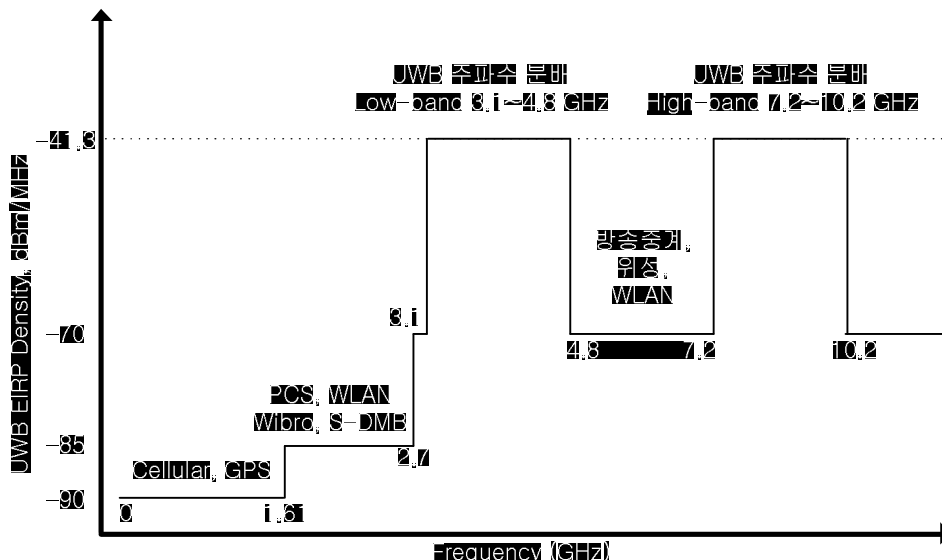


그림 2. 국내 UWB의 주파수 분배

국내 UWB 주파수는 3.1-4.8GHz (low band), 7.2-10.2GHz (high band) 2개 대역으로 정하였다. 저주파수에서는 기존 주파수 및 차세대 이동통신 주파수와 간섭을 고려하여 간섭회피기술 DAA를 적용한 UWB시스템만이 사용 가능하다. 출력은 -41.3dBm/MHz이며 실내·외에서 통신 용도의 사용을 허용하고 있다 [7].

IR-UWB 레이더는 펄스의 폭이 적을수록 많은 정보를 얻을 수 있다. 탐지 거리는 평균유효 방사전력과 목표물 응답, 전파 매질과 클러터에 의해 특성이 좌우되며, 평균 방사전력은 안테나 이득, 전송전력, 듀티 (duty)비에 의해 특성이 결정된다. 또한, 탐지 물체의 크기에 따라 수신되는 신호의 세기가 좌우된다. 기존 펄스 레이더와 비교하면 IR-UWB 레이더를 사용으로 얻을 수 있는 장점으로 탐지 물체의 정밀도가 향상되며, 눈과 비, 안개와 같은 자연환경에 대한 영향이 줄어든다. 또한, 다른 외부 기기로부터 협대역 전자파나 잡음에 대해 우수한 감내성을 가지고 있으며, 신호의 특성을 변화시켜 아주 좁은 안테나 패턴 제작이 가능하다는 장점이 있다. 짧은 펄스를 사용하여 콘크리트 벽이나 나무 재질의 비금속성 벽을 투과할 수 있으며, 이를 활용한 지진, 화재 사고발생에 건물 내의 인명 구조 목적으로 사용할 수 있다. 이처럼 IR-UWB 레이더 기술은 기존 펄스 레이더나 연속파 레이더가 가지는 제한적인 성능을 개선할 수 있는 기술로 평가받고 있다 [8].

III. IR-UWB 레이더의 물체 탐지 및 거리 측정

기존의 센서 기반의 물체 탐지 및 거리 측정 시스템은 RSSI, AOA, TOA, TDOA 등의 방식을 사용하였다. RSSI를 이용한 거리 측정 방식은 AP (access point)에서 무선 장치의 신호 세기를 이용하여 거리를 측정한다 [9]. AOA는 이동 노드와 고정 노드간의 방향각을 이용하여 거리를 구하는 방식이다. 방향각을 구하는 방식은 고정 노드에서 송신하는 신호를 이동 노드에서 방향 인식이 가능한 안테나를 이용하여 수신된 신호를 바탕으로 고정 노드와 이동 노드의 각도를 구한다 [10]. TDOA는 송신 신호가 수신될 때까지의 지연시간의 차이를 이용하여 위치를 추정하는 기법이다. IR-UWB 레이더는 TOA를 사용하여 물체의 거리를 측정한다. IR-UWB 레이더는 임펄스 신호를 방사하여 탐지 물체로부터 반사되어 되돌아오는 신호의 시간차를 이용하여 물체의 탐지 및 거리를 측정하고 그 위치를 추정한다. 수신된 신호는 주변 환경에 의해 간섭 신호 클러터 (clutter)와 잡음 신호 (noise)가 함께 수신된다. 그림 3은 TX 안테나로 송신된 임펄스 신호가 RX 안테나로 수신되는 과정을 표현하였다. 이를 수식으로 표현하면 식 (3.1)과 같다.

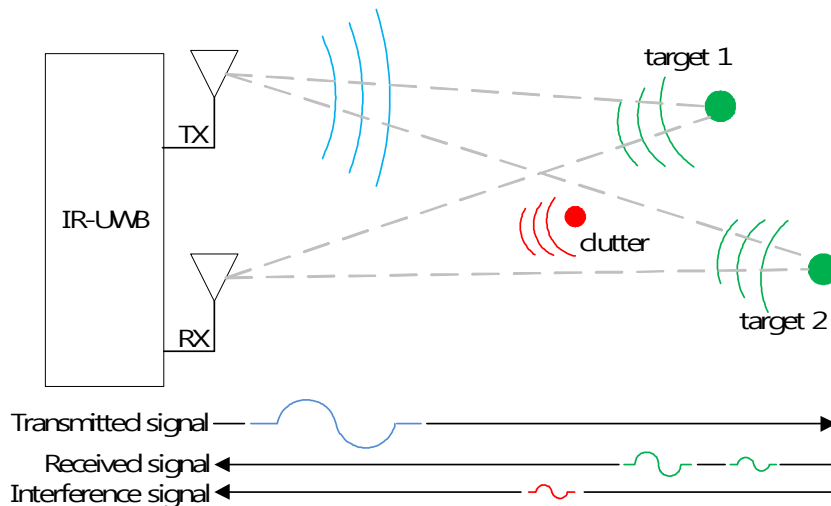


그림 3. 클러터가 포함된 물체 탐지 신호

$$R(t) = R_t(t) + R_c(t) + n(t) \quad (3.1)$$

여기서 $R(t)$ 은 클러터와 노이즈 신호가 함께 수신된 신호이다. $R_t(t)$ 은 탐지 물체의 신호이며, $R_c(t)$ 은 클러터, $n(t)$ 은 노이즈 신호이다. 정밀한 물체 탐지를 위해서는 클러터와 노이즈 신호를 효과적으로 제거해야 한다.

물체 탐지 및 거리 측정 실험에 사용된 IR-UWB 레이더는 novelda 사의 NVA6000 칩으로 제작된 NVA620 모듈이다. 그림 4는 IR-UWB 레이더의 프레임과 샘플에 대한 설명이다. 한 프레임은 512개의 샘플로 이루어지며, 샘플 하나의 측정 거리 값은 수식 (3.2)로 나타낼 수 있다.

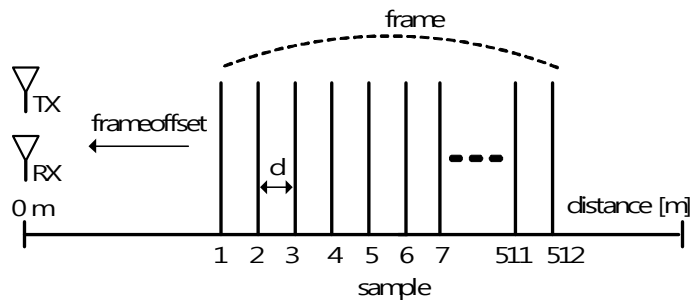


그림 4. novelda NVA6000 chip의 IR-UWB frame 구조

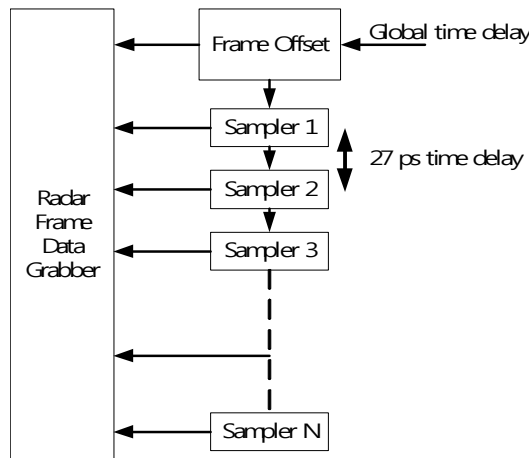


그림 5. novelda NVA6000 chip의 시간 지연부의 블록도

$$d_{sampler} = \frac{C \times timedelay}{2} \quad (3.2)$$

$$= \frac{299792458[m/s] \times 27 \times 10^{-12}}{2} \quad (3.3)$$

$$= 0.00404719813[m]$$

$$\approx 4[mm]$$

여기서 C 는 공기 중 전파의 속도를 나타내며, 샘플간의 time delay 이는 27ps이다. 이를 계산하면 수식 (3.3)과 같이 샘플 하나의 해상도는 4mm가 나온다. 512개의 샘플로 측정할 수 있는 거리는 약 2m가 된다 [21].

IR-UWB 레이더로 2m 이상의 거리를 측정한다면, 프레임 오프셋 파라미터 설정 변경을 통하여 가능하다. 0~4m의 거리 측정의 경우 0~2m를 측정한 이후 프레임오프셋을 변경하여 2~4m의 거리를 측정한다. 이후 측정된 두 가지의 결과를 합산하여 총 거리 정보를 얻는다. 그림 6은 프레임오프셋 과정을 표현하였다.

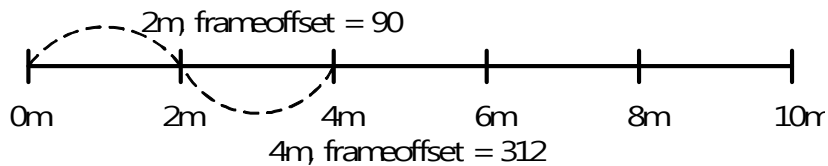


그림 6. Frame offset 변경을 통한 거리 측정

IV. IR-UWB 레이더 신호처리 과정

IR-UWB 레이더의 신호처리 과정은 그림 7과 같은 과정을 통하여 물체 탐지 및 거리 측정을 하게 된다. RX 안테나로 수신된 로우 데이터는 고주파 통과 필터(high pass filter, HPF) 과정을 통하여 DC offset 신호를 제거 하게 된다. 수신 신호의 클러터를 제거하기 위해 배경차분을 한다. 배경차분 이후 거리에 따른 수신 신호의 감쇄의 신호 보상 과정을 거치게 되며, 물체의 탐지를 위해 CA-CFAR 알고리즘을 사용하게 된다. 탐지된 물체 신호의 오차 보정을 위해 신호 오차 보정을 한다.

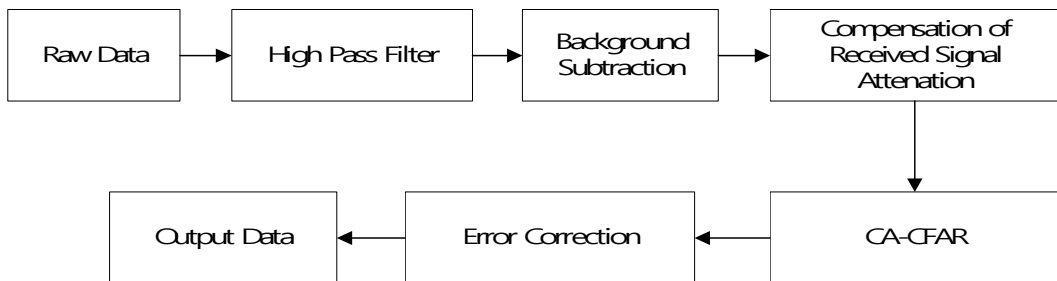


그림 7. 실시간 물체 탐지 거리 측정 시스템 신호 처리 과정

A. 고주파 통과 필터

IR-UWB 레이더의 수신된 Raw Data는 고주파 통과 필터 과정을 거치게 된다. 고주파 통과 필터를 사용하는 이유는 레이더 시스템에서 사용하고 있는 수신기가 UWB의 시스템의 특성상 중간주파수단이 없는 직접 변환 방식 수신기 (direct conversion receiver, DCR) 형태를 취하고 있기 때문이다. 직접 변환 방식 수신기는 높은 직접도와 낮은 전력소모의 장점이 있다. 직접 변환 방식 수신기를 통해 수신된 신호는 LNA와 Mixer를 통해 20~30dB 정도의 신호가 증폭된다. 그러나 LO (local oscillator) 신호의 누설 성분이 LNA입력 또는 Mixer입력 포트에 결합 되어 들어오게 되며, 이때 LO와 Mixing 되어 DC 성분을 만들어 내는 자가 혼합 현상으로 DC offset이 발생한다 [11]. 이러한 DC offset은 레이더 입력 신호의 레벨을 요동치게 함으로써 신호의 기저를 설정하는데 어려움을 겪게 된다. 저주파 신호인 DC offset을 제거 하기위하여 고주파 통과 필터를 사용하였다.

B. 배경차분 과정

정밀한 물체 탐지 및 거리 측정을 위해 주변 환경에 의한 클러터를 제거해야 한다. 클러터를 제거하기 위해 영상처리 분야에서 사용되는 적응 필터를 사용한다. 그림 8은 FIR 필터를 사용한 적응 필터 블록 다이어그램 이다 [12][13].

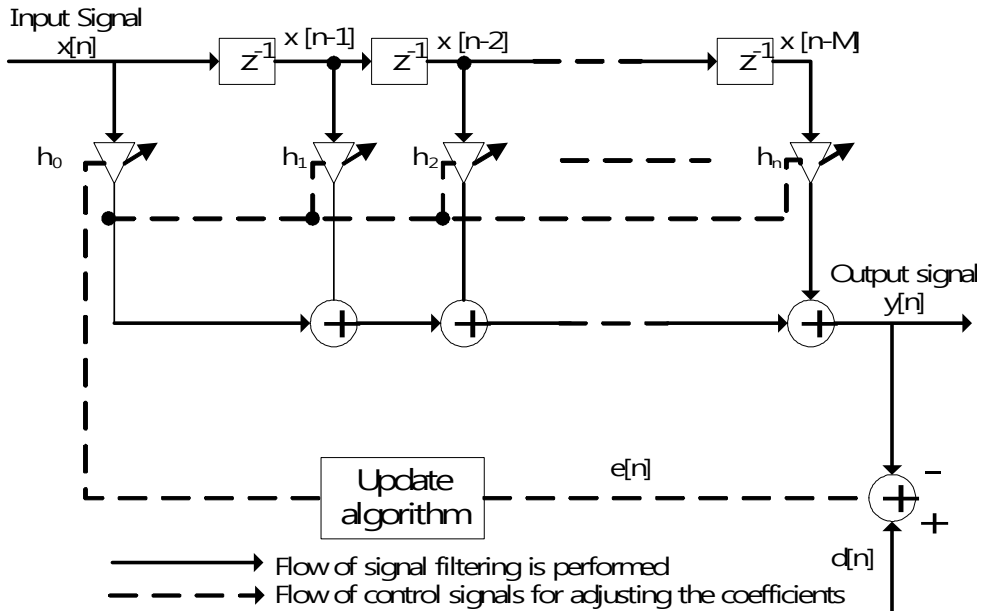


그림 8. FIR 필터를 사용한 적응 필터 블록 다이어그램

적응 필터의 출력 신호 $y[n]$ 을 수식으로 나타내면 식 (4.1)로 얻을 수 있다 [12].

$$y[n] = \sum_{k=0}^M h_k x[n-k] \quad (4.1)$$

오차 신호 $e[n]$ 은 식 (4.2)로 얻을 수 있다 [12].

$$e[n] = d[n] - y[n] \quad (4.2)$$

적응 필터에서는 오차 신호 $e[n]$ 을 최소화하기 위해 오차 신호 $e[n]$ 의 평균 제곱 오차 (mean square error) ϵ 을 최소가 되도록 수정한다. 이를 수식으로 나타내면 식 (4.3)로 나타낼 수 있다 [12].

$$\epsilon = E\{e^2[n]\} \quad (4.3)$$

그림 9는 클러터 신호가 포함되어 수신된 신호와 적응 필터를 사용하여 배경차분을 한 결과이다. 이처럼 클러터가 포함된 신호는 물체를 판별하기에 어려움이 있다. 클러터가 포함된 신호를 제거한 결과 탐지한 물체를 제외한 나머지 부분이 제거됨을 확인할 수 있다.

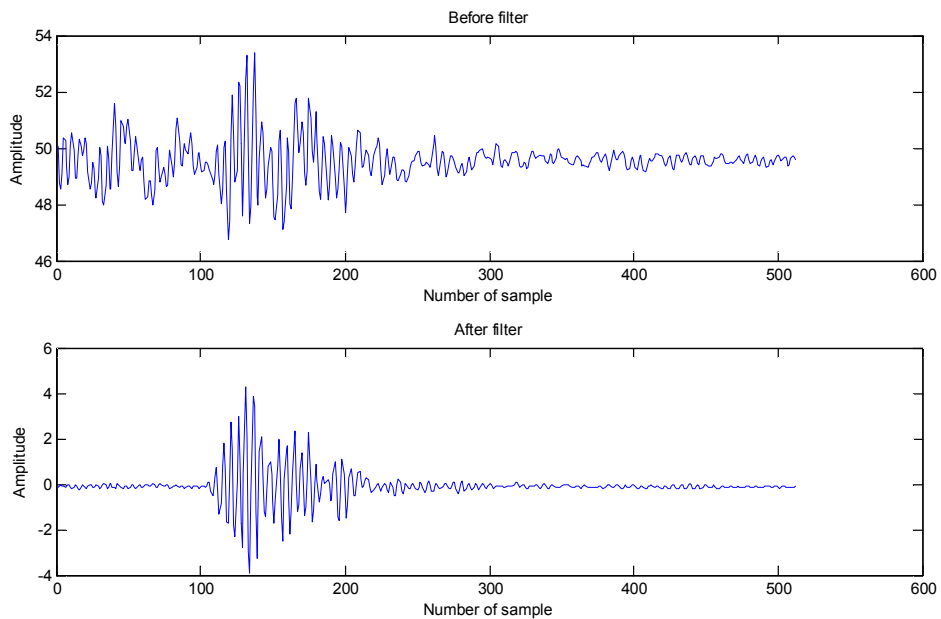


그림 9. 적응 필터를 사용 클러터 신호 제거 결과

C. 수신 신호 감쇄 보상

IR-UWB 레이더 기술은 극히 짧은 임펄스 신호를 방사하며 탐지 물체에 반사되어 되돌아오는 시간을 계산하여 물체의 거리를 측정 한다. 물체의 거리를 측정할 때 가장 중요한 것은 정확도이다. 그러나 탐지 물체의 측정 거리가 증가하면 그에 따른 신호의 세기는 감쇄된다. 또한, 다중 물체 탐지의 경우 첫 번째 탐지 물체의 신호 세기와 달리 두 번째 탐지 물체의 신호 세기는 감쇄된다. 이를 해결하기 위해 수신된 신호 1프레임을 같은 간격으로 나누어 가중치를 곱한다. 1프레임은 n 개의 윈도우로 이루어지며 이 윈도우는 k 개의 샘플로 나눈다. 그림 10은 신호 감쇄 보상을 표현한 것이다.

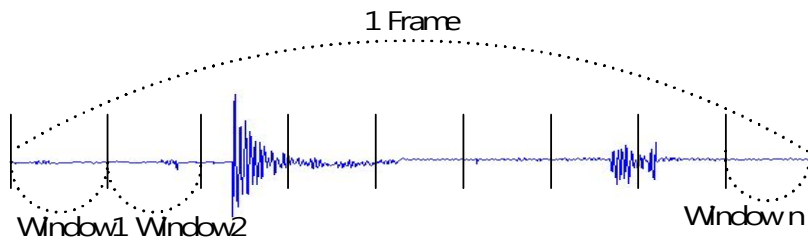


그림 10. 신호 감쇄 보상

수신 신호 감쇄 보상을 수식으로 나타내면 식 (4.4)로 나타낼 수 있다.

$$R_k = (B + aW_i)D_k \quad (4.4)$$

여기서 R_k 은 거리에 따른 수신 신호 세기의 차가 보상된 결과이다. B 는 D 에 곱해지는 최종적인 가중치를 일정 수준 이상 유지시켜주는 상수 값이다. a 는 가중치이며, W_i 는 k 번째 샘플이 속해 있는 윈도우이다. D_k 는 수신 프레임 중 k 번째 샘플의 신호 세기이다 [14].

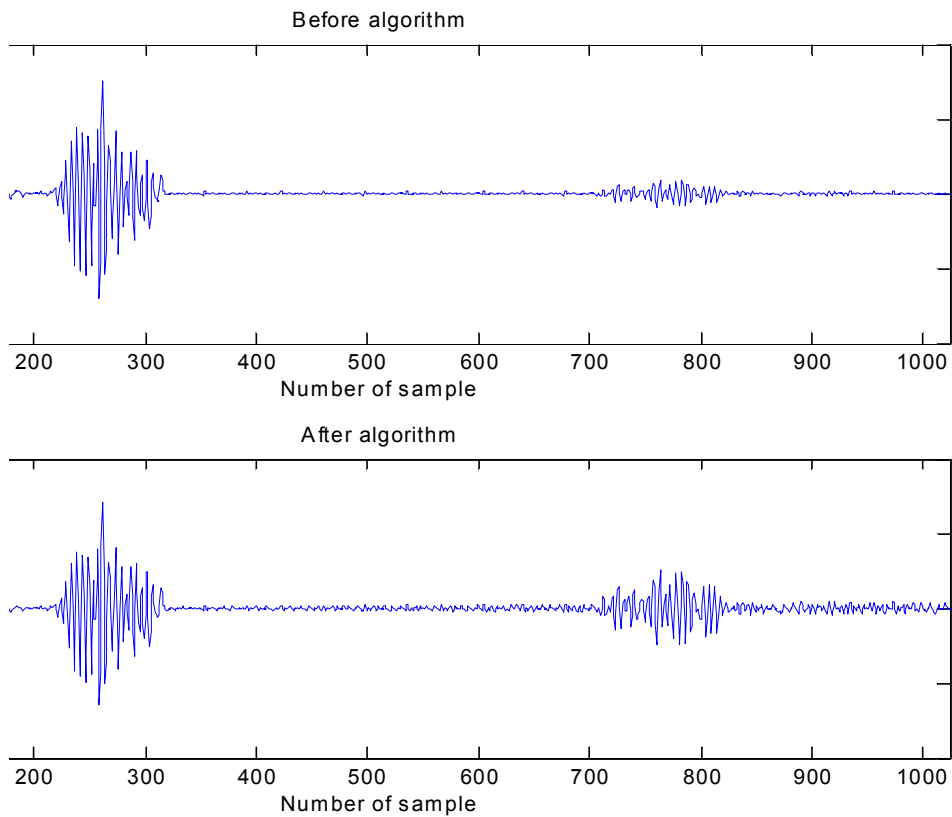


그림 11. 수신 신호 감쇄 보상 결과

그림 11은 수신 신호 감쇄 보상의 결과이다. 윈도우의 크기는 16이며 각 샘플에 곱해지는 가중치 a 는 0.006이다. 첫 번째 탐지 물체의 신호 세기는 변화가 적다. 반면, 두 번째 탐지 물체는 보상 전과 비교 하여 신호 세기의 변화가 있음을 알 수 있다.

D. CFAR(Constant false alarm rate) 알고리즘

IR-UWB 레이더로 수신된 신호는 탐지 물체 신호 외에 클러터와 노이즈 신호가 포함되어 있다. 이러한 클러터와 노이즈의 영향을 줄이며 물체 탐지 신호를 자동으로 탐지하는 것을 CFAR이라한다 [16][18].

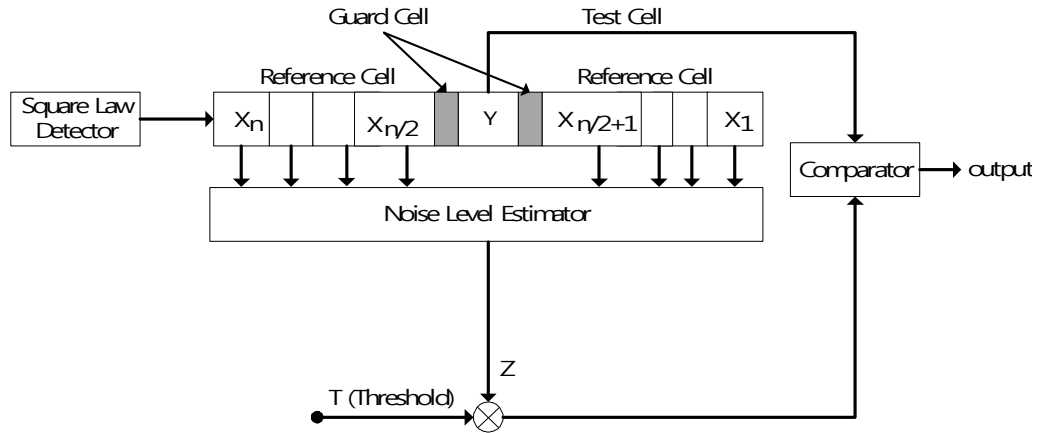


그림 12. CFAR 블록도

그림 12는 CFAR의 블록도이다. CFAR의 수신 신호를 수식으로 표현하면 식 (4.5)과 같다.

$$x(t) = \begin{cases} n(t) \\ s(t) + n(t) \end{cases} \quad (4.5)$$

여기서 $x(t)$ 은 수신신호이다. $n(t)$ 은 노이즈 신호 이며, $s(t)$ 은 탐지 물체 신호이다. 노이즈는 평균이 0인 백색 가우시안 노이즈이며 수신 신호가 자승 검파기를 거치면 신호는 지수분포를 따르게 된다. 자승 검파기를 거친 확률밀도함수는 식 (4.6) 과 같다 [17].

$$f_x(x) = \frac{1}{2\lambda} \exp\left(-\frac{x}{2\lambda}\right) \quad (4.6)$$

여기서 λ 는 표적의 존재여부에 따라 식 (4.7)과 같이 주어진다.

$$\lambda = \begin{cases} \mu & \text{under } H_0 \\ \mu(1+S) & \text{under } H_1 \end{cases} \quad (4.7)$$

여기서 H_0 은 노이즈만 존재하는 경우이며, H_1 은 노이즈와 탐지 물체가 모두 존재하는 경우이다. μ 는 노이즈의 평균 전력이며, S 는 탐지 물체신호 존재시의 신호대 잡음비 (signal to noise ratio, SNR)이다 [18].

CA-CFAR은 간단한 구조와 적은 계산으로 주변 환경에 의한 클러터 및 노이즈 신호에 세기가 균질한 환경에서 높은 탐지확률을 보이는 가장 일반적인 알고리즘이다. CA-CFAR은 테스트 셀을 기준으로 양쪽의 참조 셀의 윈도우 평균을 구하여 문턱 값을 결정 한다 [15][16][19][20]. CA-CFAR은 그림 13의 블록도와 같은 구조를 가진다.

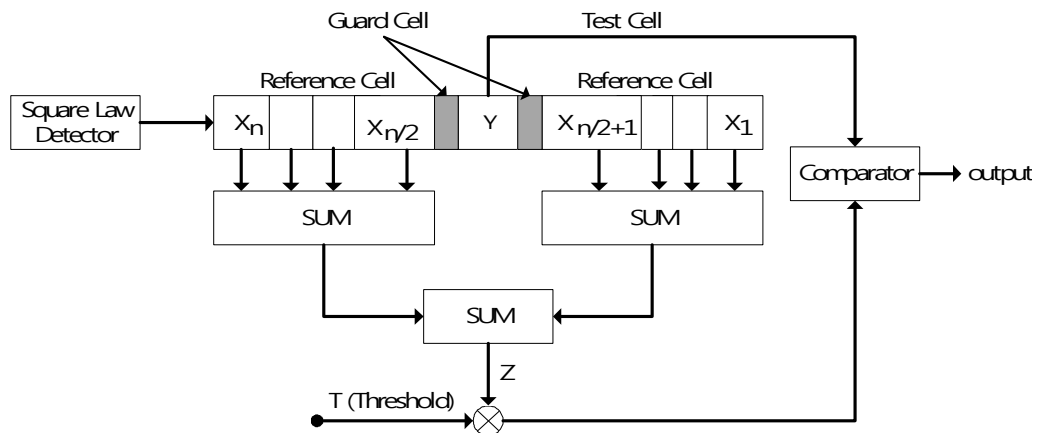


그림 13. CA-CFAR 블록도

참조 셀의 평균값 Z 를 수식으로 나타내면 식 (4.8)와 같다 [17].

$$Z = \sum_{i=1}^n X_i \quad (4.8)$$

참조 셀 X 는 총 N 개로 구성되어 있다. 테스트 셀 Y 을 기준으로 $\frac{n}{2}$ 개로 나뉘져 있으며, 스케일 상수 T 는 수식 (4.9)을 이용하여 구할 수 있다 [17].

$$T_{CA} = P_{fa}^{\frac{1}{N}} - 1 \quad (4.9)$$

CA-CFAR의 탐지확률 P_d 는 수식 (4.10)이며, 오경보율 P_{fa} 는 수식 (4.11)로 표현할 수 있다 [17].

$$P_d = \left(1 + \frac{T_{CA}}{1+S} \right)^{-N} \quad (4.10)$$

$$P_{fa} = (1 + T_{CA})^{-N} \quad (4.11)$$

E. 신호 오차 보정

CA-CFAR 알고리즘을 사용하여 탐지된 물체는 거리계산 과정을 통해 거리 정보를 얻을 수 있으며, 더욱 정밀한 거리 측정을 위해 신호 오차 보정을 통해 오차를 줄일 수 있다. 수신된 프레임을 동일 크기의 윈도우로 나눈다. 이후 윈도우를 이동하며 초기 설정된 문턱 값의 조건에 따라 샘플의 수를 계산한다. 만약 윈도우의 샘플의 수가 문턱 값에 만족한다면 윈도우에 속해있는 샘플은 현재의 값을 유지한다. 그렇지 않고 문턱 값보다 적다면 윈도우에 속해 있는 모든 샘플을 삭제 한다. 그림 14는 2개의 물체를 탐지 하고 신호 오차 보정을 한 결과다.

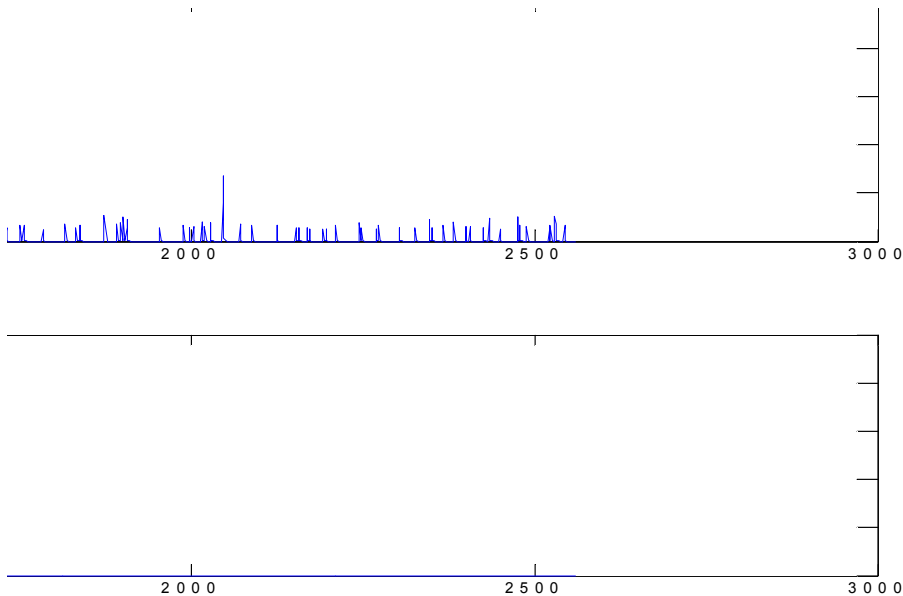


그림 14. 신호 오차 보정 결과

V. IR-UWB 레이더 시스템 구성

A. 물체 탐지 및 거리 측정 시스템 구성

실험에 사용된 IR-UWB 레이더는 novelda 사의 NVA6000 칩으로 제작된 모듈이다. NVA620 모듈은 MCU로부터 설정된 파라미터 값에 의해 일정한 파형을 송신한다. 탐지 물체에 반사되어 수신된 신호는 양자화와 샘플링 과정을 거쳐 디지털신호로 변환하여 다시 MCU로 데이터를 전송한다. NVA620의 한 프레임의 샘플 수는 512개이며 측정 범위는 2m이다. IR-UWB 레이더는 프레임 오프셋 변경을 통해 10m 범위의 거리 측정을 할 수 있다. 그림 15는 실험에 사용된 IR-UWB 레이더이다.

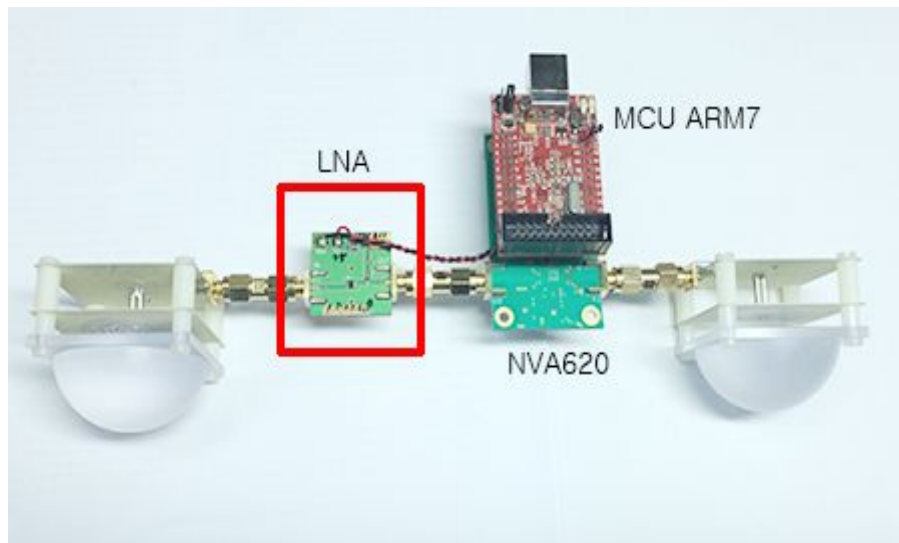
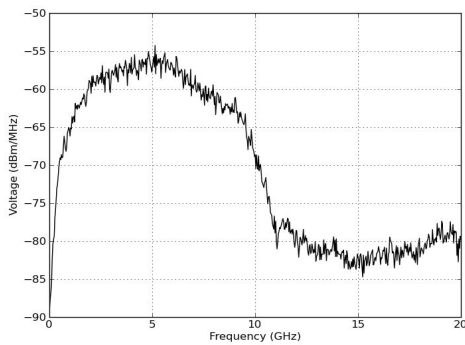


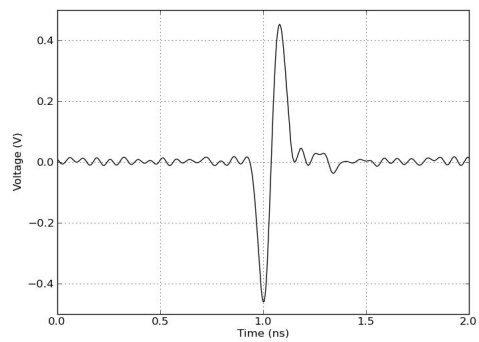
그림 15. NVA620 IR-UWB 레이더

표 1. IR-UWB 레이더 파라미터

Parameter	Unit
Operation frequency	6.0 – 8.5GHz
Pulse width	0.5 ns
Nominal output power	-53 dBm/MHz
Instantaneous output amplitude	500 mv
Number of sample in a frame	512
Sensitivity	-95 dBm
Frame range	Approximately 2m
Pulse repetition frequency(PRF)	48 MHz



(a) Typical frequency spectrum, nominal delay line



(b) Example time domain output

그림 16. NVA6000 송수신 신호 파형 [21]

수신 단에 LNA (low noise amplifier)를 장착하여 수신감도를 증가시켰다. 그림 17은 실험에 사용된 LNA다.

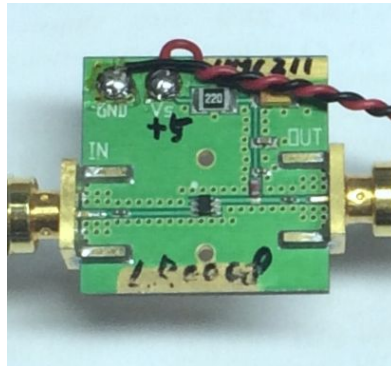


그림 17. LNA (low noise amplifier)

표 2. HMC311SC70 LNA specification

Gain	11.0 – 13.0 GHz
Gain Variation Over Temperature	0.018 – 0.022 dB/ °C
Return Loss Input / Output	15 dB
Reverse Isolation	18 dB
Output Power for 1 dB Compression (P1dB)	8.0 – 11.0 dBm
Output Third Order Intercept (IP3)	24 dBm
Noise Figure	5 dB

그림 18은 실험에 사용된 novelda 사의 sinuous antenna 이다.



그림 18. novelda sinuous antenna

표 3. novelda sinuous antenna specification

Frequency Range	6.0 – 8.5 GHz
Opening angle without lens	Typ. 65° (V) x 85° (H)
Opening angle with lens	Typ. 40° (V) x 35° (H)
Gain Without lens	Typ. 6.0 dBi
Gain with lens	Typ. 6.7 dBi
Polarization	Linear
Max. Power	1W EIRP

1. 시스템 실험 환경

IR-UWB 레이더의 실시간 물체 탐지 및 거리 측정을 위해 MFC를 기반으로 거리 측정 시스템을 제작하였다. 펄스 반복 주파수를 48MHz로 설정하였으며, 초당 6개의 프레임으로 측정하였다.

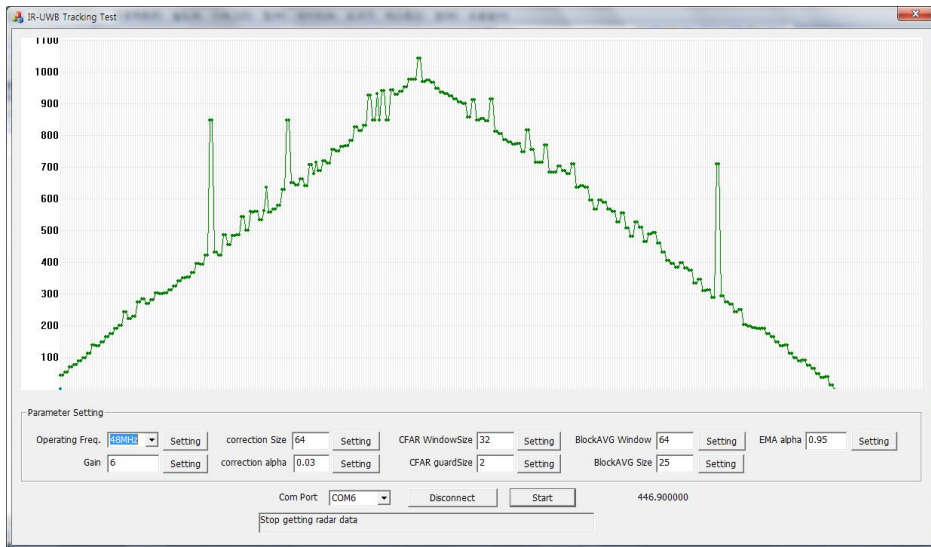


그림 19. 실시간 물체 탐지 거리 측정 시스템

표 4. novelda IR-UWB radar system parameter

Parameter	Number
Gain	6
AveraingFactor	100
PulseClkPrescaler	48 MHz
FrameOffset	67
FrameStitch	5

B. 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템

기존의 CCTV는 단순한 영상저장의 한계를 벗어나지 못하고 있다. 현재 CCTV 시스템은 지능형 감지 시스템으로 변화 하고 있으며, 동적 이동체의 검출, 분류, 인식, 추적을 위한 알고리즘을 요구한다. 하지만 영상을 이용하는 감지 방식은 주변 환경에서의 빛과 배경 및 감지 대상의 움직임과 같은 상태 변화에 영향을 받는다 [22]. 이러한 영상을 이용한 감지 시스템의 한계를 해결 할 수 있는 방안으로 IR-UWB 레이더와 카메라를 활용한 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템을 구현하였다.

1. 영상 객체 추적

영상 객체 추적은 전체 특징을 학습하는 Adaboost를 사용한다. Adaboost는 초기에 약한 분류기를 설정하고 학습하여 최종적으로 강한 분류기를 생성하여 보행자를 검출한다 [22]. 검출된 보행자가 겹침 현상에 의해 사라지거나 감지가 되지 않았을 경우 누적된 데이터와 IR-UWB 레이더의 탐지 정보를 사용하여 보행자의 위치를 추적한다.

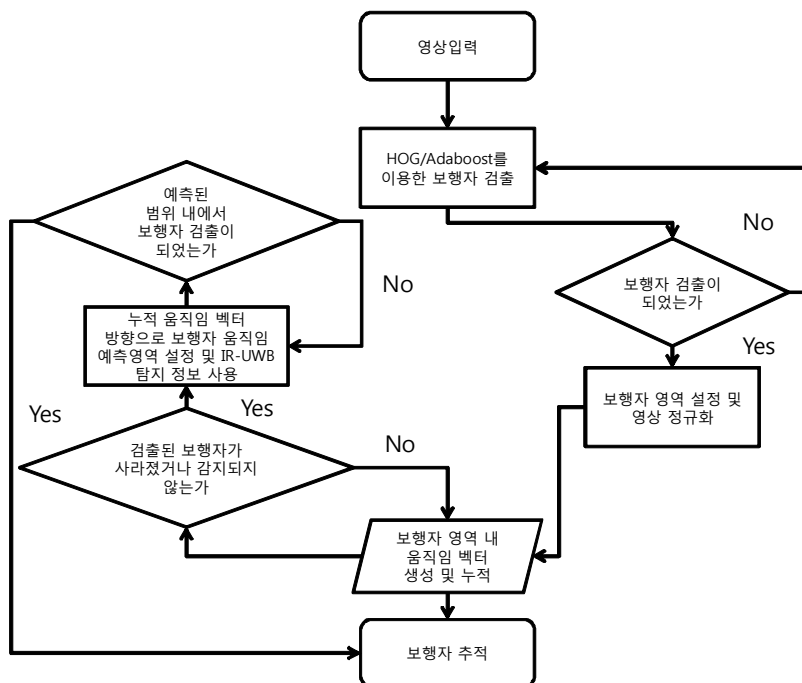


그림 20. 보행자 검출 및 추적 알고리즘 [22]

2. 시스템 구성

움직이는 객체 탐지 및 거리를 측정 시스템은 IR-UWB 레이더와 카메라를 사용하여 MFC 기반으로 제작하였다. 영상 객체 탐지는 openCV를 사용하였으며, 거리 측정은 IR-UWB 레이더를 사용하였다. 영상 객체 탐지의 경우 인식 객체 데이터의 학습을 통하여 기존에 추출된 특징을 비교해 유사하다고 판단되었을 때 객체를 인식하는 방식이다. 영상 객체 학습 과정은 대상의 특징 파라미터를 생성하는 것으로 인식 대상의 영상과 배경 영상을 이용하여 객체를 판단한다.

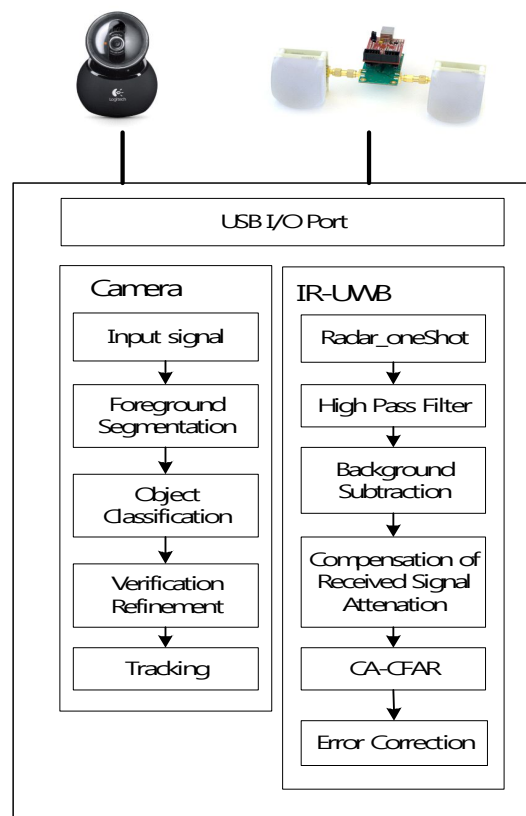


그림 21. 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템 구성도



그림 22. 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템

표 5. 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템 파라미터

파라미터	설정 값
동작 속도	48MHz
신호 세기	6
신호 감쇄 보정 윈도우 크기	16
신호 감쇄 보정 가중치	0.009
CA-CFAR 참조 셀 크기	32
CA-CFAR 가드 셀 크기	2
신호 오차 보정 윈도우 크기	64
신호 오차 보정 문턱 값	25

3. 실험 결과

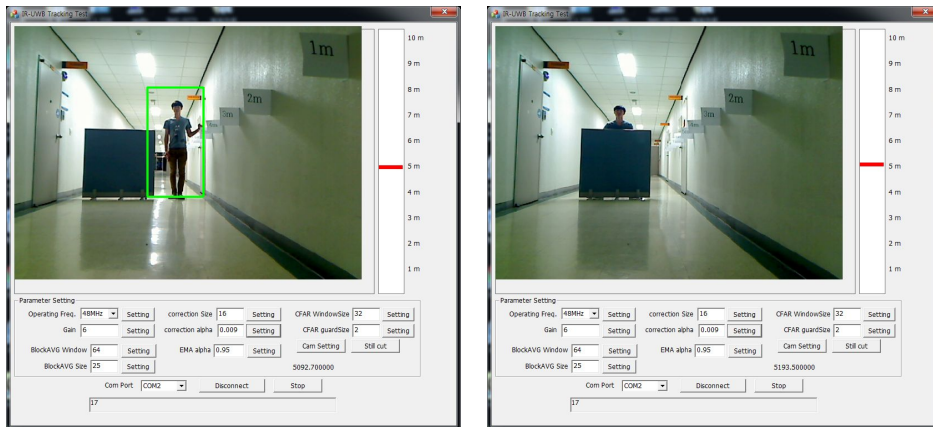


그림 23. 벽에 의해 가려진 객체 탐지

그림 23의 결과는 벽에 가려진 객체가 영상에서 인식 되지 못하는 상황이다. 이러한 경우에도 IR-UWB 레이더는 지속적으로 객체를 탐지하고 거리 정보를 표시 하고 있다. 이처럼 기존의 CCTV에서 벽이나 장애물에 의해 감지를 하지 못하는 상황에서도 IR-UWB 레이더를 활용한다면 지속적인 감지가 가능하다.

VI. IR-UWB 레이더 성능 평가 및 결과 분석

IR-UWB 레이더의 거리 측정 실험은 3가지 환경에서 실시하였다. 실내복도, 실내 강의실, 실외 넓은 공간에서 그림 21의 시나리오에 따라서 실험을 실시하였다.

첫 번째 시나리오는 1~10m 범위에서 1m 간격으로 일정 시간 동안 서 있으며, 실제 거리에 따른 평균 제곱근 오차를 평가하였다. 각 측정 위치에서 5초의 시간을 유지하였다. 측정을 위해 미세한 움직임을 주었으며, 정밀한 측정을 위해 10번의 실험 데이터 결과 값을 사용하였다. 또한, 측정 시간은 5초 측정 프레임은 30프레임을 기준으로 평가하였다. 실험 중 시간을 초과하여 측정된 30프레임 이상의 데이터는 평가 데이터에서 제외하였다.

두 번째 시나리오는 이동하는 물체의 탐지 및 추적을 시행하였다. 측정을 위해 한 걸음에 약 25cm를 이동하였으며, 1m 이동에 4초를 소모하였다. 측정값의 오차를 최소화하기 위해 3번의 실험 결과의 평균 데이터를 사용하였다.

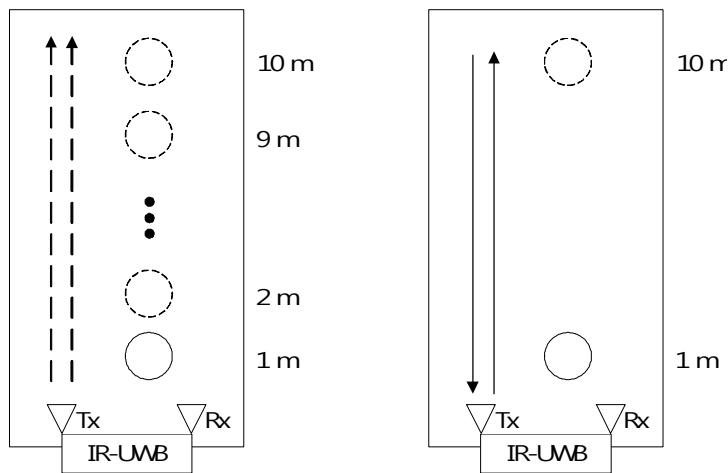


그림 24. IR-UWB 물체 탐지 및 거리 측정 실험 시나리오

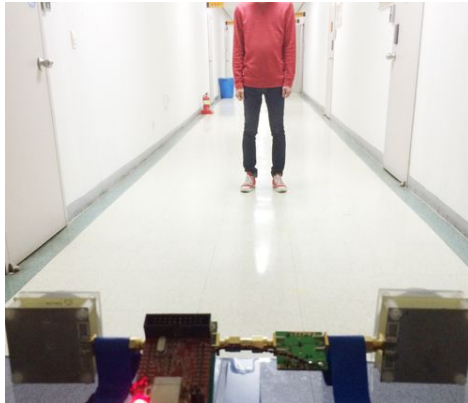


그림 25. 실내 복도 환경 거리 측정



그림 26. 실내 강의실 환경 거리 측정

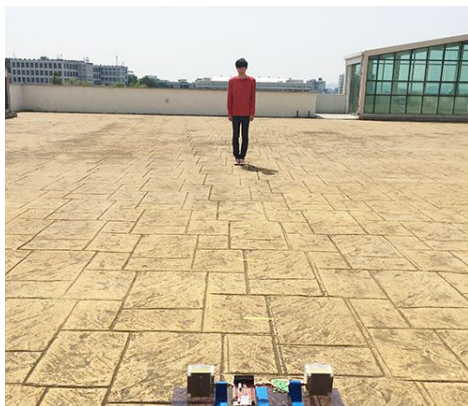


그림 27. 실외 넓은 공간 환경 거리 측정

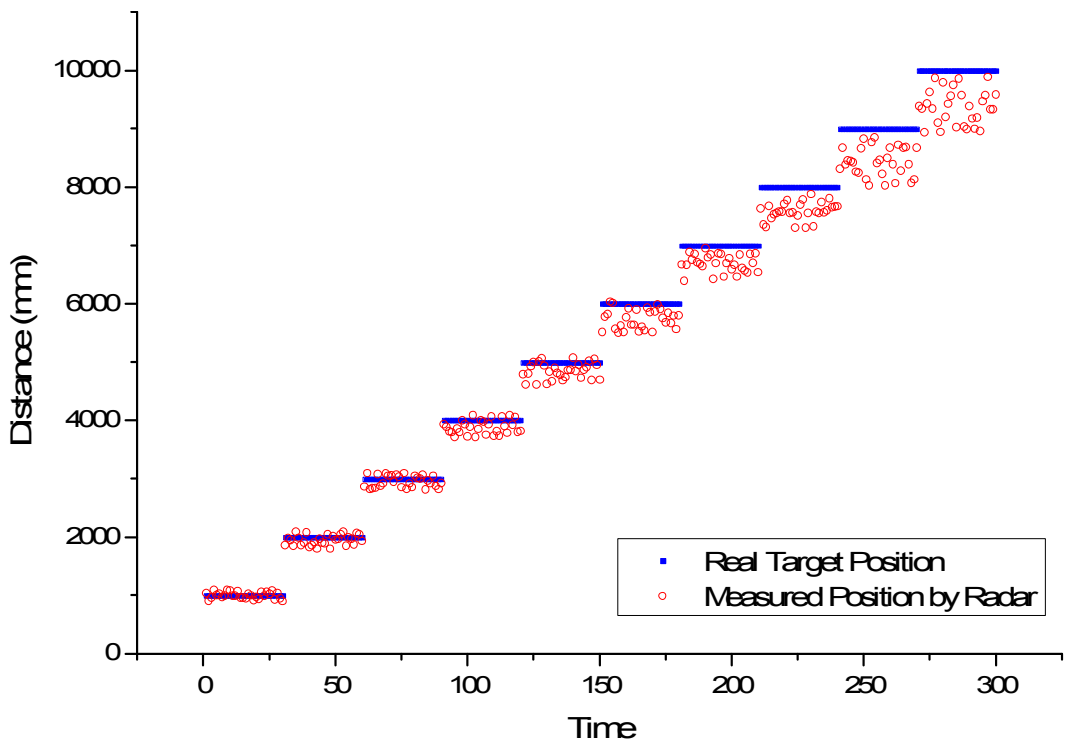


그림 28. 실내 복도 환경 거리 측정 결과

표 6. 실내 복도 환경 평균 제곱근 오차 결과

Distance (m)	RMSE (mm)	Distance (m)	RMSE (mm)
1	57	2	102
3	108	4	165
5	206	6	309
7	335	8	440
9	619	10	690

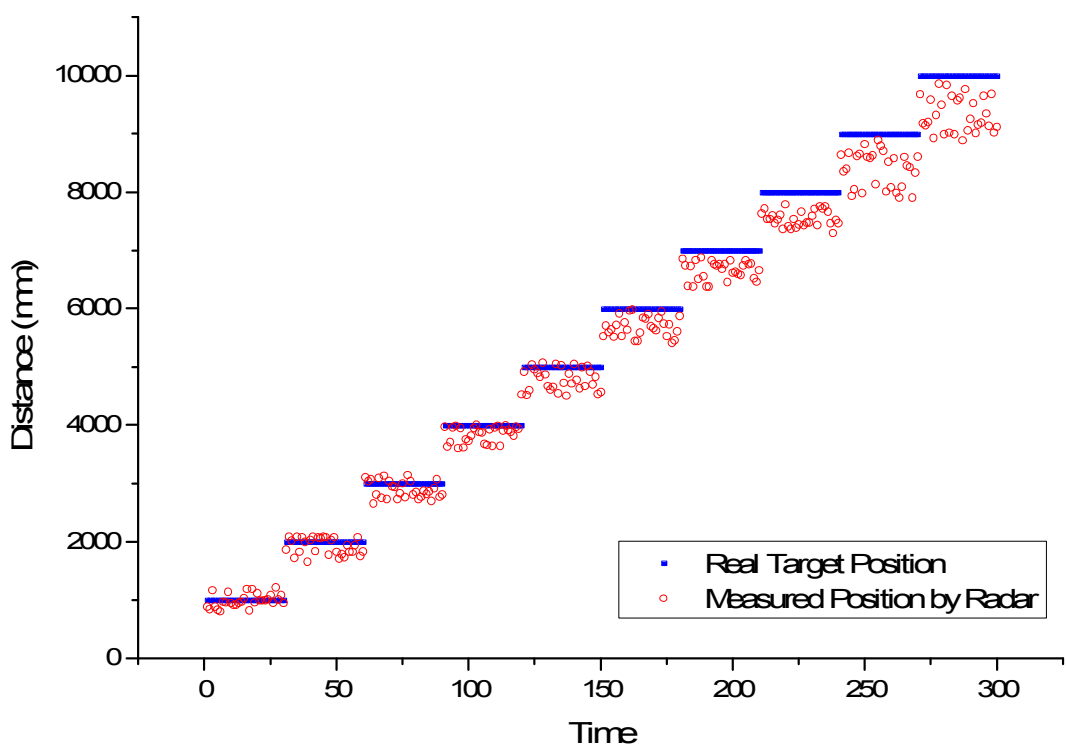


그림 29. 실내 강의실 환경 측정 결과

표 7. 실내 강의실 환경 평균 제곱근 오차 결과

Distance (m)	RMSE (mm)	Distance (m)	RMSE (mm)
1	111	2	160
3	178	4	226
5	276	6	351
7	378	8	471
9	672	10	788

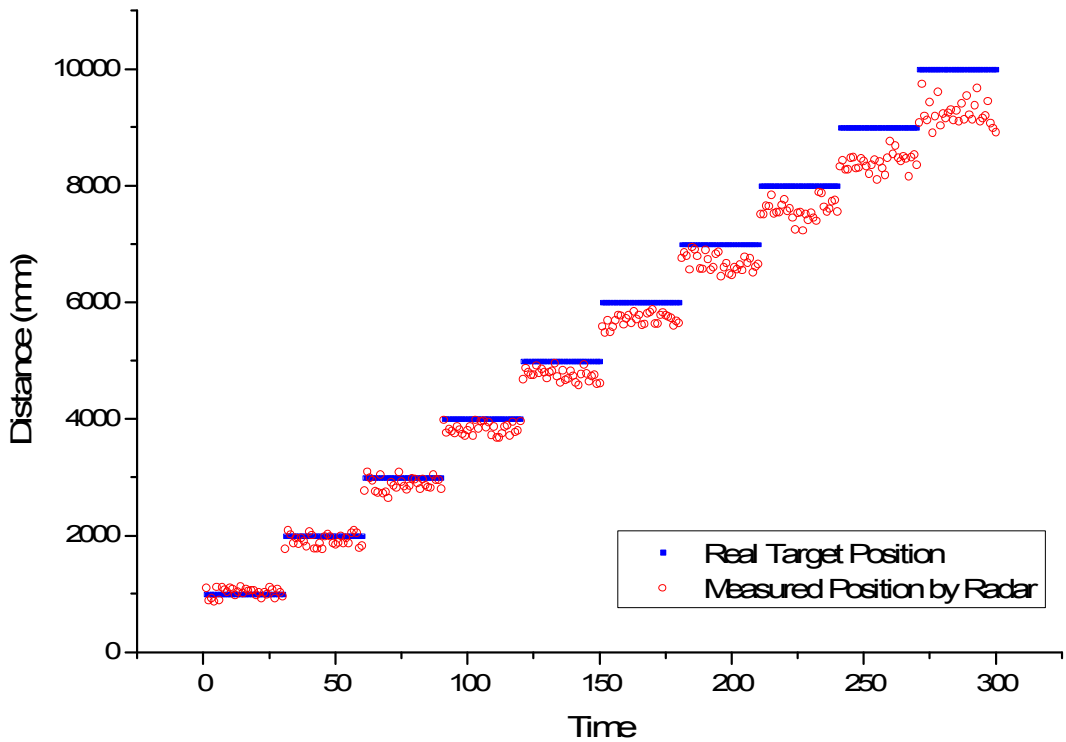


그림 30. 실외 넓은 공간 환경 측정 결과

표 8. 실외 넓은 공간 평균 제곱근 오차 결과

Distance (m)	RMSE (mm)	Distance (m)	RMSE (mm)
1	79	2	127
3	161	4	193
5	261	6	313
7	350	8	447
9	614	10	786

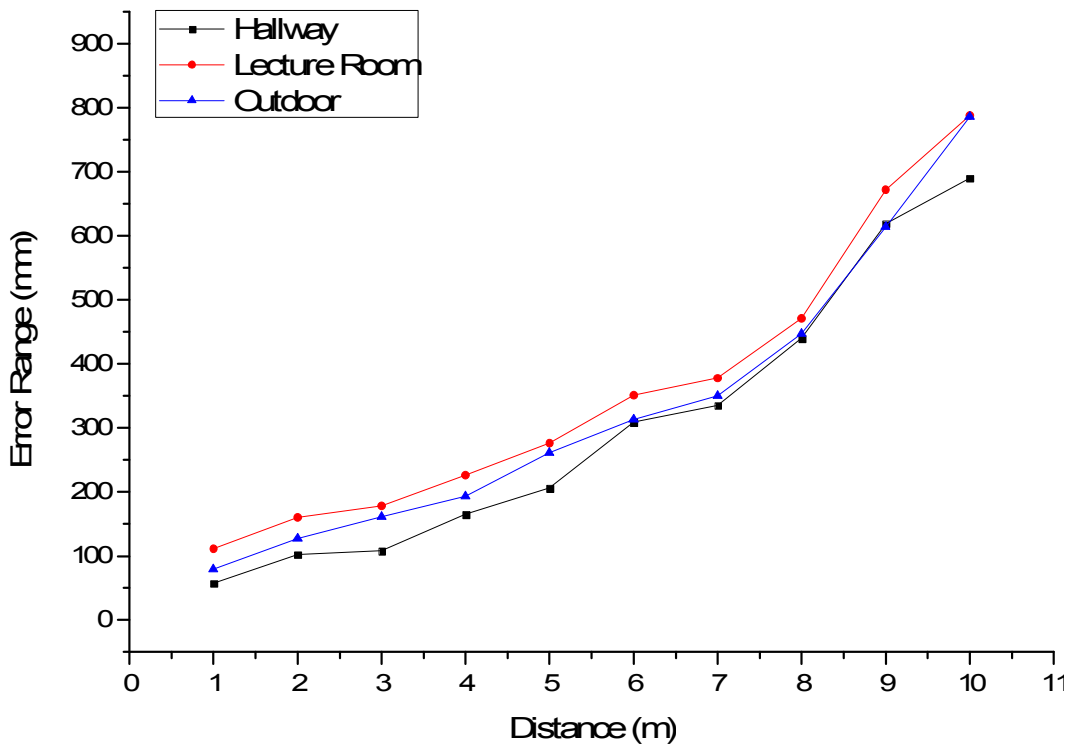


그림 31. 거리에 따른 평균 제공근 오차 결과 비교

거리에 따른 평균 제공근 오차 결과 복도, 실외, 강의실 순서로 오차 범위가 증가함을 알 수 있었다. 강의실의 경우 복도를 기준으로 15% 오차가 발생 하였으며 실외의 경우 9%의 오차가 발생하였다. 강의실의 경우 클러터에 의해 측정 거리가 늘어남에 따른 오차가 증가하였다. 반면 실외의 경우는 클러터가 아닌 신호 세기의 감쇄로 오차가 증가 하였다.

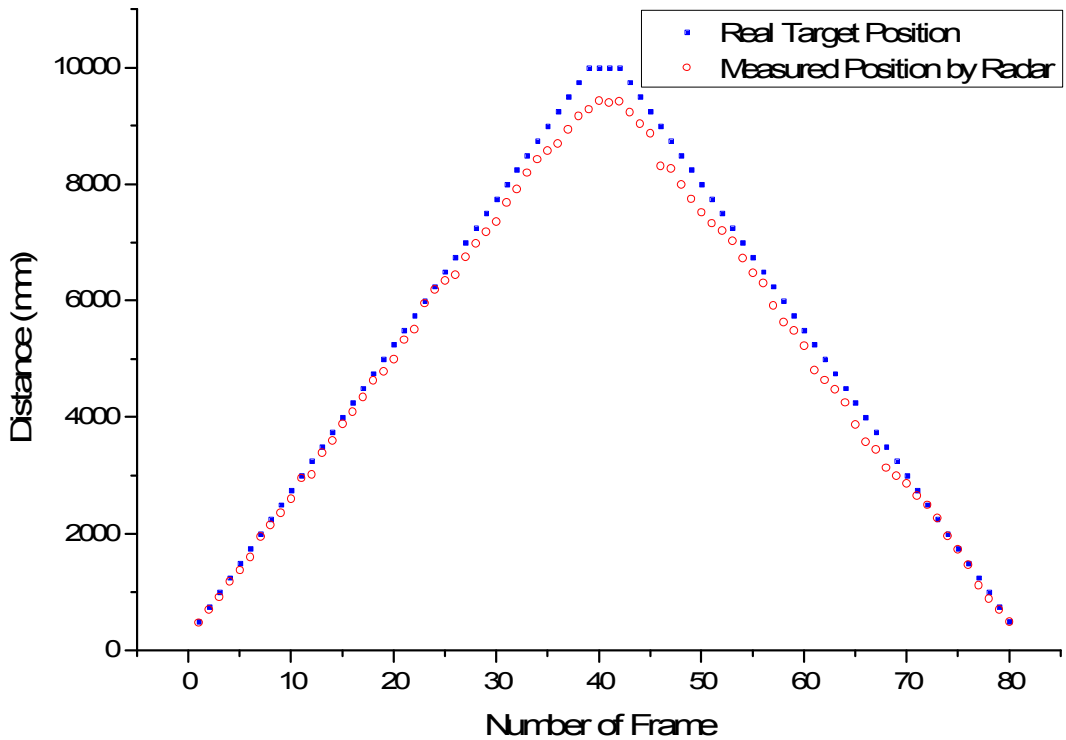


그림 32. 실내 복도에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 결과

표 9. 실내 복도에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 평균 제곱근 오차 결과

Distance (m)	RMSE (mm)	Distance (m)	RMSE (mm)
1	56	2	105
3	112	4	158
5	164	6	194
7	213	8	325
9	349	10	596

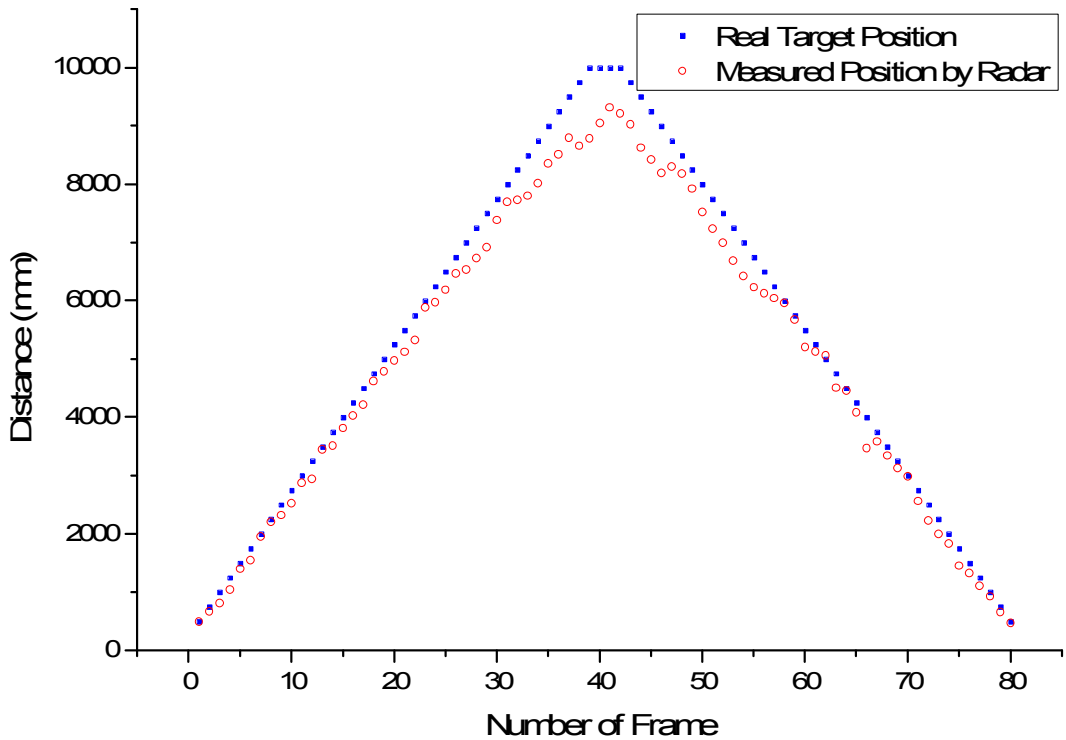


그림 33. 실내 강의실에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 결과

표 10. 실내 강의실에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 평균 제곱근 오차 결과

Distance (m)	RMSE (mm)	Distance (m)	RMSE (mm)
1	121	2	154
3	158	4	216
5	218	6	320
7	341	8	458
9	654	10	792

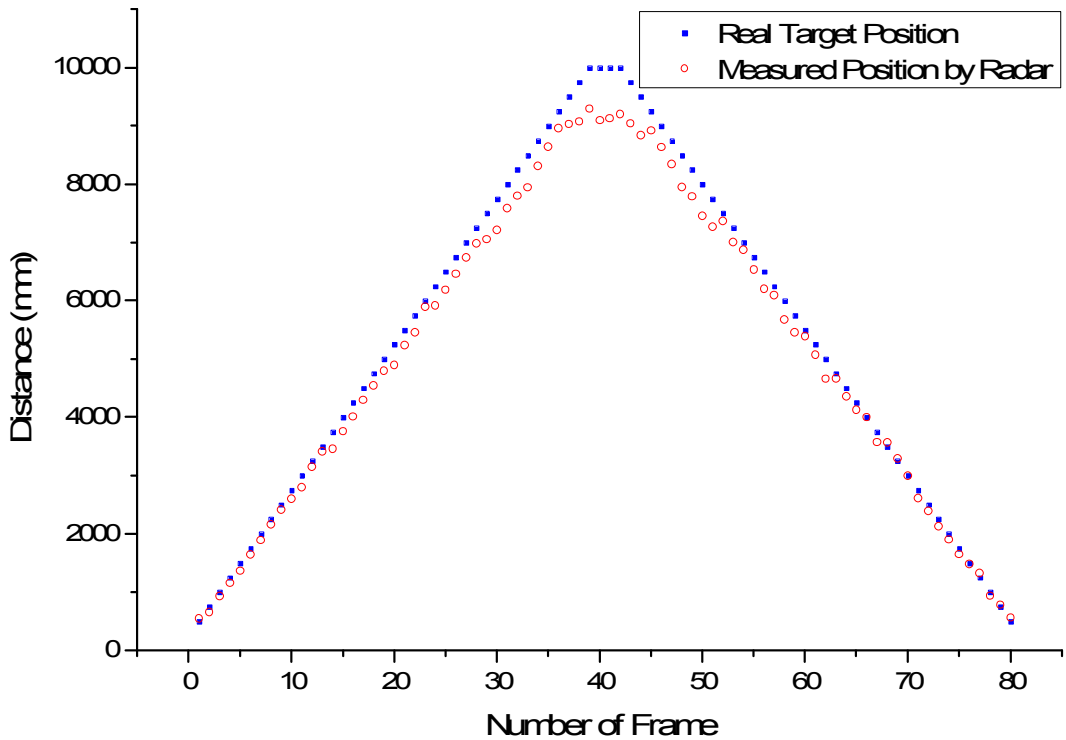


그림 34. 실외 넓은 공간에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 결과

표 11. 실외 넓은 공간에서 움직이는 물체 탐지 및 추적 평균 제곱근 오차 결과

Distance (m)	RMSE (mm)	Distance (m)	RMSE (mm)
1	70	2	111
3	139	4	197
5	212	6	269
7	300	8	425
9	454	10	799

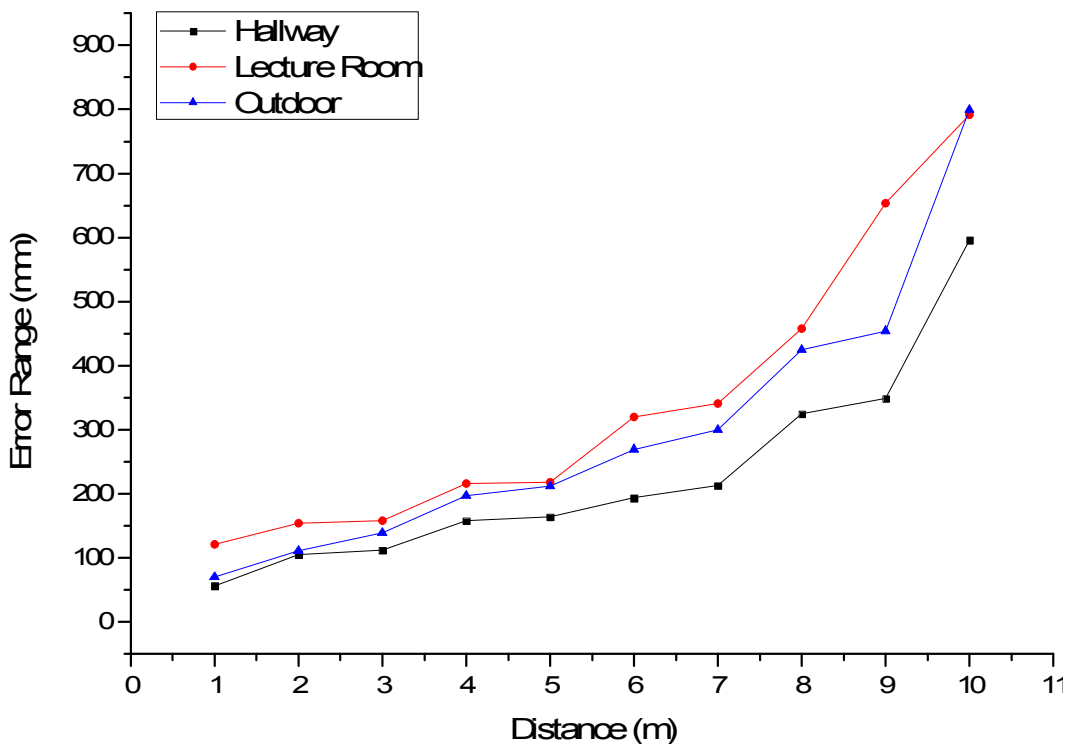


그림 35. 움직이는 물체의 탐지 및 거리의 평균 제곱근 오차 결과

그림 34는 움직이는 물체의 탐지 및 거리의 평균 제곱근 오차 결과이다. 측정값의 오차를 최소화하기 위해 3번의 실험 결과의 평균 데이터를 사용하였다. 탐지 물체의 움직임 추적의 경우 복도, 실외, 강의실 순서로 오차 범위가 증가하였다. 강의실의 경우 복도를 기준으로 51%, 실외의 경우 30% 오차가 발생하였다. 실외 환경은 클러터에 반사되어 수신되는 신호가 다른 환경에 비해 적다. 반면 강의실은 같은 실내 환경인 복도 보다 많은 클러터로 인한 움직임의 측정 오차의 범위가 증가함을 알 수 있다. 측정 거리에 있어서는 3가지 실험 환경 중 가장 짧은 거리를 측정 하였다. 실외 환경의 경우 신호의 세기가 다른 환경보다 낮게 측정되었기 때문이다. 이를 보완하기 위해 각 실험 환경에 따른 적정 환경설정이 필요하다.

VII. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 IR-UWB 레이더를 활용하여 물체 탐지 및 거리 측정 시스템을 평가하였다. 그리고 영상 객체 추적과 IR-UWB 레이더를 활용한 움직이는 객체 탐지 및 거리 측정 시스템을 제안하였다. IR-UWB 레이더의 신호 수신에서 발생하는 DC offset 현상을 제거하기 위해 고주파 통과 필터를 사용하였다. 클러터 제거를 위해 영상처리 분야에서 사용되는 배경 차분 알고리즘 중 많이 사용되고 있는 적응필터를 사용하였다. 클러터와 노이즈의 영향을 줄이며 물체 탐지 신호를 자동으로 탐지하기 위해 CFAR 알고리즘 중 참조 셀의 평균값을 비교 하여 물체를 탐지 하는 CA-CFAR 알고리즘을 사용하였다. 이와 같이 실험에 사용된 알고리즘은 실시간 처리를 위해 비교적 복잡도가 낮으면서 연산속도가 빠른 알고리즘을 선택하여 IR-UWB 레이더의 성능 평가를 실시하였다. 또한 주변 환경 변화에 민감하게 반응하던 기존의 센서 기반의 물체 탐지 및 위치 추적 시스템의 문제점을 IR-UWB 레이더를 활용하여 보완하였다.

IR-UWB 레이더의 성능 평가를 위하여 2가지 시나리오를 가지고 실험을 하였다. 첫 번째는 각 미터 마다 제자리에서 서있는 상태에서 IR-UWB 레이더의 성능을 평가하기 위하여 30프레임의 데이터를 수집하였다. 총 10번의 실험을 반복 하였다. 실험 결과 측정 거리에 따른 물체 탐지 및 거리 측정의 평균 제공근 오차에서 복도, 실외, 강의실 순서로 복도를 기준 강의실 15%, 실외 9%의 오차가 발생 하였다. 두 번째 시나리오 오는 1~10m 까지 왕복 하며 움직이는 물체 탐지 및 거리 측정 실험을 하였다. 실험 결과 움직이는 물체 탐지 및 거리 측정의 경우 복도, 실외, 강의실의 순서로 복도를 기준으로 강의실 51%, 실외 30% 오차가 발생하였다. 실험 결과 1~6m 지점에서 30cm, 최대 10m 거리에서 70cm 의 오차 성능을 낼 수 있었다. 이와 같이 IR-UWB 레이더를 활용하여 실내 위치 추적 시스템을 구현 한다면 기존의 적외선, 초음파, RF 신호를 활용할 때 보다 더욱 정밀한 위치 측정이 가능하다. 또한 기존의 CCTV의 문제점으로 제기된 주변 환경 변화와 탐지 객체의 겹침 현상이나 벽과 같은 영상으로 감지할 수 없는 지역의 객체까지 탐지 할 수 있다는 장점을 갖는다. 향후 다수의 IR-UWB 레이더를 활용하여 2차원적인 물체 탐지 및 위치 추적을 진행할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 박상혁, 박영식, 김진영, “실내 위치추적 시스템의 비즈니스 모델 사례 연구,” 통신위성우주산업연구회논문지, 제 8권, 제 4호, pp. 64-69, 2013.12.
- [2] 김범곤, 김관형, “무선 위치 인식 기술 소개,” 대한토목학회지, 제 58권. 제 10호, pp. 65-67, 2010.
- [3] O. J. Woodman and R. K Harle, "Concurrent scheduling in the Active Bat location system," Pervasive Computing and Communications Workshops 2010 8th IEEE International Conf., pp. 431-437, Apr. 2010.
- [4] Z. Yang, N. Patwari, P. Agrawal, and M. G. Rabbat, "Directed by Directionality: Benefiting from the Gain Pattern of Active RFID Badges," Mobile Computing, IEEE Trans., vol. 11, no. 5, pp. 865-877, May 2012.
- [5] W. Yunbo, S. Goddard, and L. C. Perez, "A study on the cricket location-support system communication protocols," IEEE International Conference on Electro/Information Technology, pp. 257-262, May 2007.
- [6] L. Jing, Z. Zhaofa, S. Jiguang, and L. Fengshan, "Through-Wall Detection of Human Being's Movement by UWB Radar," Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE., vol. 9, no. 6, pp. 1079-1083, Nov. 2012.
- [7] 남윤석, 허재두, “UWB 기술동향,” 한국통신학회논문지, 제 24권, 제 6호, pp. 41-49, 2007.6.
- [8] 김관호, “UWB 레이더 기술동향,” 한국전자파학회지, 제 13권, 제 3호, pp. 52-62, 2002.
- [9] A. Leopoldo, B. Matteo, G. Giovanni and S. Alessandro, “Effects of RSSI impairments on IEEE 802.15.4 wireless devices performance susceptibility to interference,” International Symposium on Electromagnetic Compatibility -EMC Europe, pp. 8-12, Sep. 2008.
- [10] Q. Spencer, R. Michael, J. Brian, and J. Michael, “A statistical model for angle of arrival in indoor multipath propagation,” IEEE Vehicular Technology Conf., vol. 3, pp. 1415-1419, May 1997.

- [11] A. A. Abidi, "Direct-Conversion Radio Transceivers for Digital Communications," IEEE Journal. Solid-state Circuits, vol. 30, no. 12, pp. 1399-1410, Dec. 1995.
- [12] 미카미 나오키, "C언어에 의한 디지털 신호 처리 입문," 성인당, 2006.
- [13] J. Chambers and A. Avlonitis, "A Robust Mixed-Norm Adaptive Filter Algorithm," Signal Processing Letters, IEEE, vol. 4 no. 2, pp. 46-48 Feb. 1997.
- [14] J. H. Kim, I. S. Baek, and S. H. Cho, "Compensation of received signal attenuation by distance using UWB radar," Winter Conference of Korea Information and Communications Society, Feb. 2012.
- [15] V. G. Hansen, "Constant false alarm rate processing in search radars," in Proc. IEE Int. Radar Conf., London, 1973.
- [16] D. Urdzik and D. Kocur, "CFAR Detectors for through wall tracking of moving targets by M-sequence UWB radar," Radioelektronika International Conf., pp. 1-4, Apr. 2010.
- [17] 홍석곤, 김백현, 정락교, 곽경섭, "무인 궤도 차량의 안전성 제고를 위한 UWB 레이더 기반 적응형 CFAR 알고리즘," 한국ITS학회지논문, 제 12권, 제 1호, pp. 28-42, 2013.
- [18] H. Rohling "Radar CFAR Thresholding in Clutter and Multiple Target Situations," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Jul. 1983.
- [19] P. P. Gandhi and S. A. Kassam, "Analysis of CFAR Processors in homogeneous Background," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, vol. 24, no.4, pp. 427-445, Jul. 1988.
- [20] A. Maali, A. Mesloub, M. Djeddou, H. Mimoun, G. Baudoin, and A. Ouldali, "Adaptive CA-CFAR Threshold for Non-Coherent IR-UWB Energy Detector Receivers," Communications Letters, IEEE vol.13 no.12 pp. 959-961, Dec. 2009.
- [21] Novelda, "NVA6100 Preliminary Datasheet," ed:Novelda AS, 2011.
- [22] 김정묵, "누적 움직임벡터를 이용한 겹침현상에 강한 보행자 추적," 석사학위논문, 조선대학교 대학원.