



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](#)

工學碩士學位論文

IR-UWB 레이더를 이용한 3차원
위치 측위에 관한 연구



2017年 02月

釜慶大學校大學院

制御計測工學科

崔明薰

工學碩士 學位論文

IR-UWB 레이더를 이용한 3차원
위치 측위에 관한 연구

指導教授 邊 基 植

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2017年 02月

釜慶大學校大學院

制御計測工學科

崔明薰

崔明薰의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2017年 02月



主 審 工學博士 李 京 昌



委 員 工學博士 元 榮 秀



委 員 工學博士 邊 基 植



목 차

목 차	i
그림 차례	iv
표 차례	v
Abstract	vi
제 1 장. 서론	1
제 2 장 IR-UWB	2
2.1 IR-UWB(Impulse-Radar Ultra Wide Band) 개요	2
2.1.1 UWB 레이더와 협대역 레이더의 차이점	4
2.2 UWB Radar Signal	4
2.2.1 UWB를 이용한 대상 정보	6
제 3 장 IR-UWB 레이더를 이용한 거리 측정	8
3.1 IR-UWB 신호처리 과정	10
제 4장 위치 측위에 대한 연구	14
4.1 AOA(Angle of Arrival) 방식	14
4.2 TOA(Time of Arrival) 방식	15
4.3 IR-UWB를 이용한 대상좌표 인식	16
4.3.1 2차원 위치좌표	17
4.3.2 3차원 위치좌표	18
제 5장 위치측위 시스템 구성	20
5.1 탐지 및 거리 측정 시스템	20
제 6장 좌표측위	23

6.1 실험 구성도	23
6.2 거리 측정 실험	24
6.3 실시간 거리 측정	25
6.4 IR-UWB Radar를 이용한 공간좌표	26
6.4.1 2차원 위치좌표	27
6.4.2 3차원 위치좌표	30
제 7 장 결론	32
참고문헌	33



그림 차례

그림 2.1 UWB통신과 다른 무선 시스템의 비교	2
그림 2.2 UWB의 주파수 대역폭	3
그림 2.3 UWB Signal	5
그림 2.4 대상 신호 등급에 반응하여 분산된 UWB 신호	6
그림 3.1 IR-UWB 시스템 구조	8
그림 3.2 IR-UWB 레이더 프레임	9
그림 3.2 IR-UWB 신호처리 알고리즘	10
그림 3.3 UWB Raw Data	11
그림 3.4 Raw Data Average removing	11
그림 3.5 주파수영역 분석	11
그림 3.6 band-pass filter를 이용한 대상거리 측정	13
그림 4.1 Angle of Arrival	14
그림 4.2 Time of Arrival	15
그림 4.3 2차원 좌표추위	17
그림 4.4 3차원 위치좌표 측정	19
그림 5.1 NVA-661 IR-UWB Radar	20
그림 5.2 NVA-661 송수신 신호 파형	21
그림 5.3 Sinamous antenna	22
그림 6.1 IR-UWB 3차원 위치좌표 측정 구성도	23
그림 6.2 실내 실험공간	24
그림 6.3 실시간 거리 측정	25
그림 6.4 실제 이동거리 측정	25
그림 6.5 IR-UWB Radar 배치도	26
그림 6.6 2차원 공간좌표	28

그림 6.7 2차원 공간좌표 28
그림 6.8 3차원 위치 측위 28
그림 6.9 3차원 위치 측위 29



표 차례

표 5.1 NVA-661 제원	21
표 5.1 Sinamous antenna 제원	22
표 6.1 실제 위치 좌표와 측정 좌표	28
표 6.2 실제 위치 좌표와 측정 좌표	29



A Study on 3D position measurement using IR-UWB radar

Myoung-Hoon Choi

*Department of Control & Instrumentation Engineering
Graduate School of
Pukyong National University*

Abstract

Nowadays, researches on locating systems have been actively conducted in various fields such as security, military and smart devices. A typical system used in smart devices and automobiles is Global Positioning System (GPS). This system finds a destination based on signals from satellites. In an emergency, one can also communicate one's position so that others can respond. However, GPS has its weak points. With GPS it is not possible to track location indoors, and if a disturbance occurs, it is difficult to detect the object again. Ultrasonic sensors, cameras and infrared sensors are typically used to detect objects. But since these sensors are highly affected by their surrounding environment, there are many errors caused by the environment, and detection distance is very limited.

This paper uses IR-UWB to detect objects. The IR-UWB radar system radiates regular impulse signals from TX antennas and checks the times to receive the impulse signals that are reflected from the target to measure the Time of arrival (TOA). It has low power consumption and high energy efficiency, and has a very wide spectrum band. To remove unwanted signals, the average value of the Raw-data is removed and a band-pass filter is used. The coordinates of the target is found by measuring the distance values. Two distance values (X, Y) are required to find two dimensional coordinates. Three distance values (X, Y, Z), using the Pythagorean theorem, are required to find three dimensional coordinates. This is called Trilateration. The experimental results in this paper had ranging errors of 3~10cm. These errors were caused by the process of moving one radar to each position. The results confirm that three dimensional coordinate measurement using IR-UWB is possible.

제 1 장 서 론

레이다(radar)는 radio detection and ranging의 약어이며, 그 어원에서도 알 수 있는 바와 같이 매우 짧은 시간에 임의의 물체에 날카로운 지향성 안테나를 통하여 전자파를 발사하면 그 물체로부터 미약한 반사파가 생긴다. 이때 그 반사파를 수신하면 발사시로부터 시간차를 알게되므로 표적까지의 거리를 정확히 측정할 수 있다. 레이다는 사람이 주위를 보는 눈의 능력을 먼거리까지 확대하는 목적으로도 사용되고 있으나, 눈으로는 도저히 할 수 없는 동작도 한다. 레이다를 사용하면 어두운 밤이나 안개 그리고 비와 같은 사람의 시계를 방해하는 주위환경이라도 투과해서 주위의 지형이나 장애물을 정확하게 관측할 수 있다.[1][2]

IR-UWB Radar는 최근에 가장 많이 연구되고 있는 레이다이며 그 기본 원리는 그림과 같이 송신기에서 짧은 펄스의 전자파를 만들어 송신 안테나를 통하여 전자파를 복사하고, 표적으로부터 반사되어 돌아오는 반사파를 수신 안테나를 통하여 수신한다. 이때 송수신기가 서로 간섭을 받지 않고 펄스를 주고 받을 수 있도록 동기를 조정하는 동기 펄스와 반사파를 표시하는 지시기가 필요하다. 펄스 변조된 송신 펄스는 표적에 닿게 되면 여러 방향으로 반사되며 그 중에서 수신 안테나방향으로 오는 파가 수신되어 표적이 탐지되고, 또 표적까지의 거리 뿐 아니라 레이다와 표적간에 반경방향의 상대속도도 알 수 있다. IR-UWB 레이더를 이용하여 TX안테나에서 방사된 펄스 신호가 목표물에 의하여 반사되어 RX안테나에 수신된 시간차이를 계산하여 거리를 측정하며 콘크리트 벽이나 나무 재질의 벽을 투과할 수 있다. 이러한 IR-UWB 레이더를 이용하여 대상의 좌표를 측정하고 대상의 특징을 검출하는 등의 연구가 많이 진행되고 있다.[1]

제 2 장 IR-UWB

2.1 IR-UWB(Impulse-Radar Ultra Wide Band) 개요

UWB(Ultra Wide Band)는 기존 무선랜에 비해 5~10배 빠르고 100~500Mbps의 무선 전송속도와 낮은 저전력으로 인해 최근들어 네트워크를 완성할 차세대 전송기술로 주목받고 있다. UWB레이더 센서는 GHz이상의 매우 넓은 주파수 대역을 사용하기 때문에 기존의 무선 시스템의 잡음과 같은 매우 낮은 스펙트럼 전력 밀도를 사용하며 다른 통신 시스템과 상호 간섭없이 주파수를 공유할 수 있다. 임펄스의 신호가 좁을수록 대상의 위치 추적률이 향상되며 더욱 넓은 대역을 가지게 된다. 그림 2.4는 FCC(Federal Communications Commission)의 기준으로 대역폭이 500MHz이상인 시스템들을 UWB로 정의 하고 있다.[1]

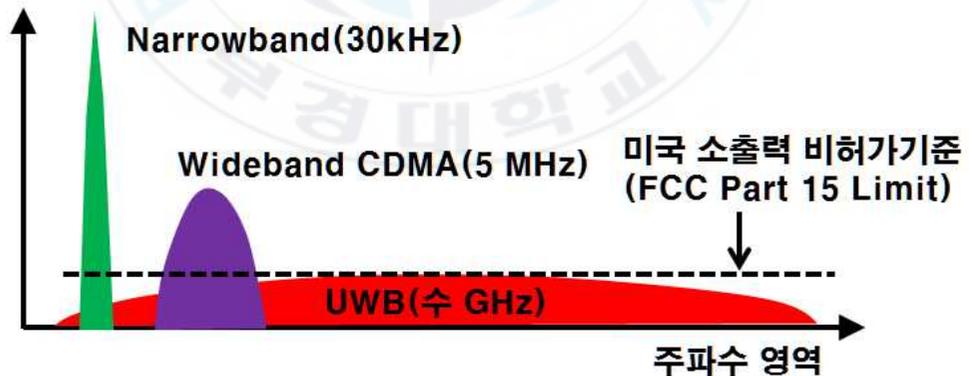


그림2.1 UWB통신과 다른 무선 시스템의 비교

IEEE 802.15.3a에서 UWB 표준안으로 단일 주파수 대역(3.1Ghz~10.6Ghz)에 임펄스를 발생시키는 통신기술을 예상했으나 검증된 통신인 Multi

Band - OFDM방식과 DS-CDMA방식으로 나뉘어 경쟁하였다. 전세계적으로 수행되고 있는 연구의 흐름을 살펴보면 일본에서는 UWB 무선 기술은 최근 주파수 대역이 광대역이면서도 고속 데이터 전송이 가능한 UWB 특성을 이용하여 초고속 무선 인터페이스를 사용하는 WPAN과 같은 근거리 광대역 통신에 대한 응용에 많은 관심이 집중되고 있으며, IEEE802.15 Working Group에서도 고속전송 및 위치인식 WPAN으로의 UWB 무선 기술의 사용을 위한 표준화가 진행되고 있다. 국내에서도 현재 ETRI, 삼성, 전기연구소를 비롯한 몇몇 대학 연구소에서 UWB 무선 기술 개발이 본격화되고 있다.[1][2]

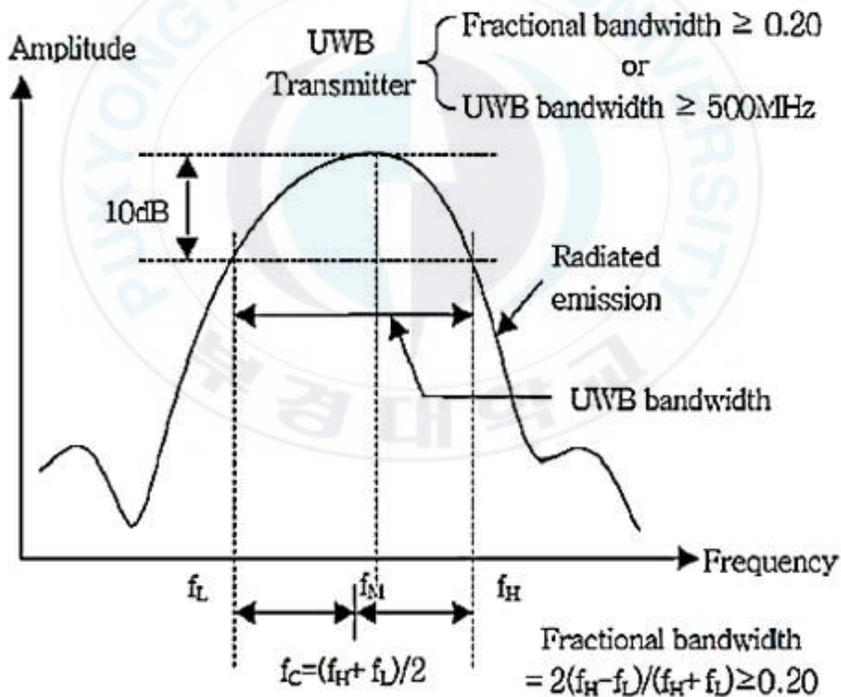


그림 2.2 UWB의 주파수 대역폭

2.1.1 UWB 레이더와 협대역 레이더의 차이점

대부분의 무선통신 시스템은 Sin 반송파 신호를 변조 한 후 신호 주파수들의 협대역을 사용하다. 그렇게 처리하는 이유는 Sin파는 LC회로의 진동이며 기본이기 때문이다. 협대역은 장치에 전송된 정보의 양이 밴드에 비례하기 때문에 정보 수용력을 제한하며 용량을 증가시키는 것은 밴드확장을 뜻한다. 그것에 따른 대체 방법은 전송시간을 설정하는 방법에 있는데 이 방법의 문제는 타겟이 제한되는 곳의 정보를 얻는 것이 중요하다. 그렇기 때문에 검출된 대상의 범위의 알고리즘을 설계한다면 수신된 신호가 대상 뿐만 아니라 각각 집단에도 정보를 가지기 때문에 대상의 클래스와 형태를 식별 할 수 있다. 이러한 정보의 문제는 대상이 제한되는 곳의 전파위치 탐지 시스템을 위해 특히 중요하며 반송된 주파수의 10%를 넘지 않는 집단을 사용한다. 그러므로 실제적으로 타겟의 특성의 관점을 볼 때 더 넓은 개발이 필요하였고 폭넓고 더 넓은 대역폭인 UWB가 가지는 신호의 변화이다.[2]

2.2 UWB Radar Signal

대상을 검출하는 레이더 기술들의 원리는 그림 3.1과 같다. 레이더 센서 전방에 두개의 대상이 있다고 가정하였을 때 센서에서 대상을 향해 이동하는 펄스를 보낸다. 그 보내진 펄스 에너지중 일부가 물체에 부딪쳐 반사되고 반사된 신호는 앞서 말한것과 같은 산란이라고 한다. 후방 산란은 입사 광선 또는 신호와 반대 방향으로 반사되는 용어이고 전송 된 신호가 전송 된 후 얼마간, 반사 된 신호는 수신안테나에 도달하게 된다. 신호가 전송되고 반사 된 신호가 수신 될 때까지의 시간을 측정함으로써 물체의 거리와 반사되어 돌아온 파형을 분석함으로써 대상의 상태와 차이점들을 검출해낼 수 있다.[2][3]

이와같은 전통적인 레이더에 사용 된 반송파 주파수는 생각보다 유용하지 않다. UWB 레이더에서는 1나노초 미만의 지속 시간을 가진 펄스를 방출하고 이러한 펄스는 다른 레이더와는 달리 가우스 펄스에 대한 근사치로 주파수 스펙트럼에 퍼지게 되고 펄스가 좁을수록 주파수 대역이 넓어지게 된다.[3] 따라서 UWB레이더는 다른 레이더와 달리 대상을 정확하게 검출하기에 매우 좋다.[3][4][5]

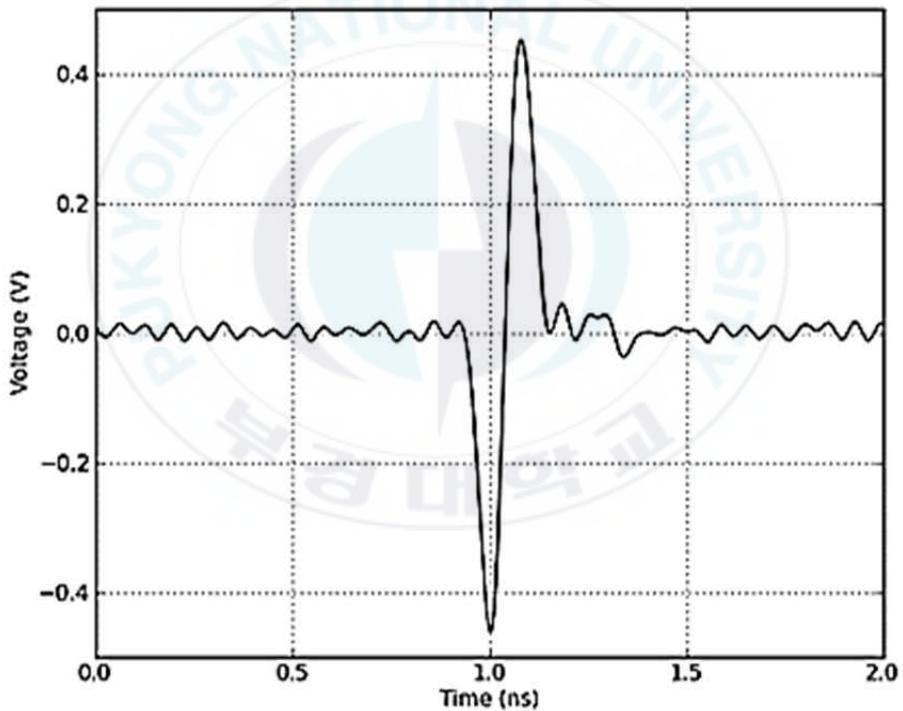


그림 2.3 UWB Signal

2.2.1 UWB를 이용한 대상 정보

UWB의 신호처리중 가장 복잡한 문제중 하나는 신호들이 사용될 때 획득된 대상 단면적으로부터 신호반사의 문제이다. 신호 파형에 달려있지 않는 산란단면적의 거리 R이 평평하지 않기 때문에 대상에 대상의 식은 아래의 식과 같이 주어진다.[2][3]

$$\sigma = 4\pi R^2 \left(\frac{E_s^2}{E_0^2} \right) \quad (2.1)$$

E_s 는 전계의 강도이고 레이더 수신 안테나에서 수신받은 대상 정보에 의해 결정된다. E_0 는 표적에 입사하는 전기장의 세기 이다. 이와같은 식은 대상으로부터 입사파의 파워 밀도를 가지고 레이더에 도착한 반사파의 특성을 비교한다. 일반적으로 대상의 개체 집단들이 독립하여 서로 입사파의 에너지를 분산한다. 그래서 이 대상들의 합계로 생각하고 각각 독립된 값을 가지게 된다. 신호 반사 형식의 처리를 개체 점으로 생각하도록 하고 이러한 펄스 파라미터들은 응답 특성의 파형에 달려있다. 이러한 파형 특성을 나타내고 N 펄스들의 연속을 표현한다.[2] 전체 이미지를 만들고 있는 펄스들은 다른 넓이를 가지게 되고 이에 상응하는 올바른 신호의 형태를 가지게 된다. 이러한 목표의 안에서 암시하는 것은 난반사에 의존하고 이 펄스의 극성은 바뀔지도 모른다. 재료마다 자기의 투과성에 의존하며 컨덕터로부터 반영할 때, 전기의 구성 요소는 그 극성을 나타낸다. 그러하든 UWB신호는 대상에 대해 복잡한 모양으로 산발적으로 나타난다.[2][4][5]

그림 3.3과 같이 나타난 그림과 같이 산발한 UWB신호들은 대상의 크기나 모양에 따라 알려지지 않은 수치가 결정된다. 그렇지만 그 중 레이더에 의해 대상의 모양을 알아 낼 수 없는 한 수치에 대해서만 결정될 수 있다. 신호의 반복기간의 최고 수치를 검출하기가 어려움으로 이를 검출

하기위한 알고리즘을 필요로 한다. 최고 수치를 검출하는 것은 곧 대상의 진폭의 수치와 거리를 뜻하게 된다. 그 외에도 또 다른 문제점 들이 추가적으로 발생 될 수도 있다. 예를들어 표적 다중 반사, 복사 신호길이 감소, 시간에 따른 범위 측정망 증가에 따라 목표 대상과 섞여서 들어오는 신호에 대해 대비하여 알고리즘을 설계해야한다. 이러한 되돌아 오는 신호들을 분석하여 필요조건을 만족한 목표 대상을 검출한다.[2][3][7]



그림 2.4 대상 신호 등급에 반응하여 분산된 UWB 신호

제 3 장 IR-UWB 레이더를 이용한 거리 측정

기존의 센서 기반의 물체 탐지 및 거리 측정 시스템은 RSSI, AOA, TOA, TDOA 등의 방식을 사용하였다. 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 잡음 신호와 대상 신호가 함께 수신된다. [7]

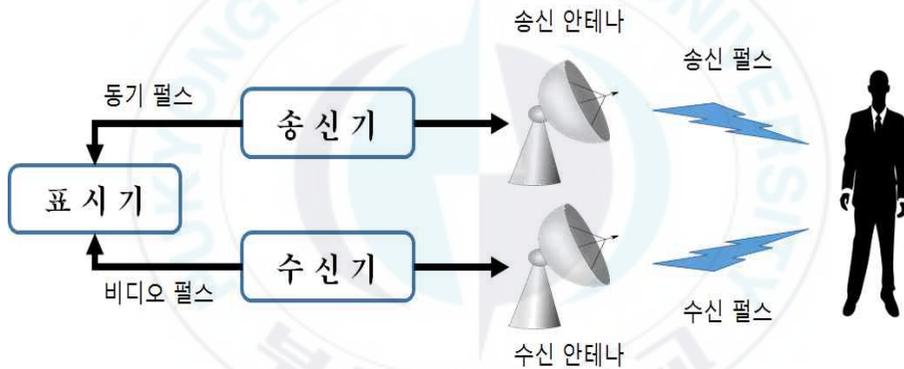


그림 3.1 IR-UWB 시스템 구조

IR-UWB 레이더 센서는 반사된 물체신호의 시간적 차이를 이용하여 거리를 판단한다. 이를 수식으로 나타내면 아래의 식(3.1)과 같이 나타난다.[7][8][9]

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

R은 잡음신호와 대상신호가 모두 포함된 신호이며 R_t 는 대상신호 R_C 는 대상 이외의 원하지 않은 신호 n은 잡음이다.

본 논문에서 사용된 IR-UWB는 Novelda에서 개발된 칩을 이용하여 칩에서 발생하는 프레임 구조는 그림3.2와 같다. 한프레임은 1m당 256프레임으로 구성되어 있으며 샘플의 전달시간과 목표거리를 측정할 수 있으며 각 샘플링을 식3.2를 통해 프레임을 이용한 레이더와 목표물까지의 거리를 구할 수 있다. C는 전파 속도를 의미하며 T는 샘플링 시간을 뜻한다.[7][8]

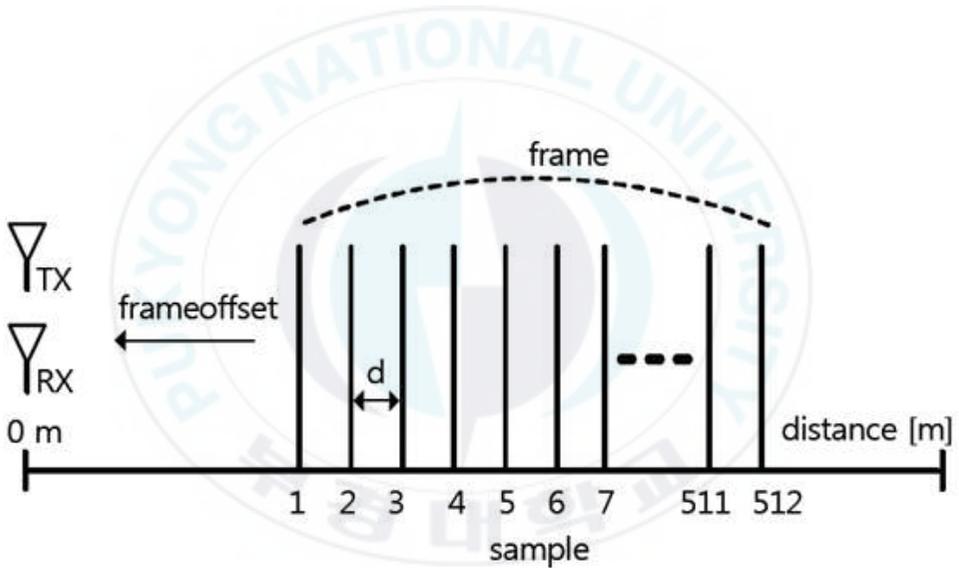


그림 3.2 IR-UWB 레이더 프레임

$$R = \frac{c \cdot T}{2} \quad (3.2)$$

두 번째는 그림 3.3과 같이 앞서 수신되어 들어온 Raw Data가 수신되어 들어온다. Average removing과정을 거쳐 평균값을 제거함으로써 잡음을 제거하게 된다. 수신된 Raw Data의 평균값은 0으로 수렴하기 때문에 평균된 신호에서는 잡음을 영향을 거의 받지 않는다.[4] 그렇기 때문에 그림 3.3과 그림 3.4와 같은 결과가 나타나며 잡음의 영향을 최소화 하여 대상의 신호를 측정할 수 있게 된다.[4][8][9]

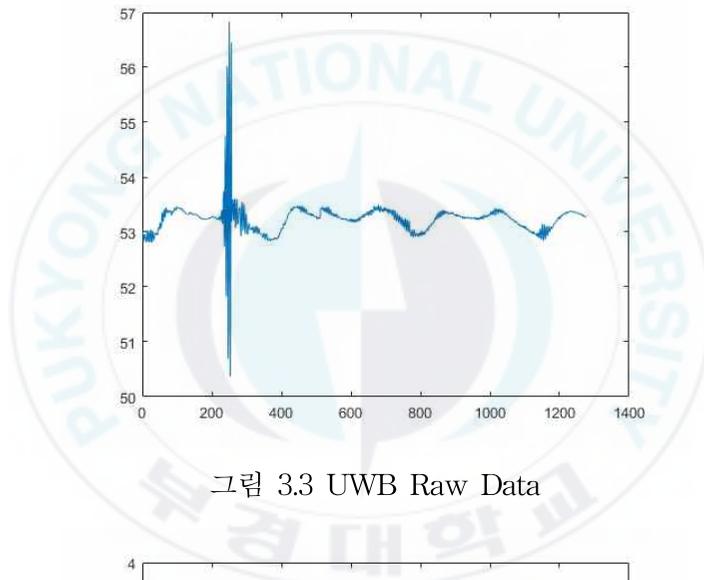


그림 3.3 UWB Raw Data

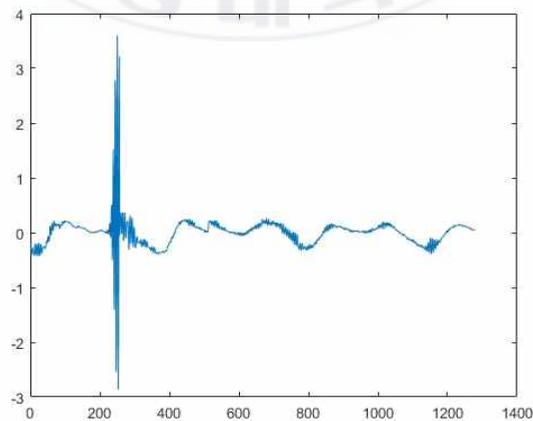


그림 3.4 Raw Data Average removing

세 번째로 MATLAB을 이용하여 고속푸리에변환(Fast fourier transform, FFT)을 하여 주파수 성분에 대한 정확한 대상의 정보를 분석하고 Band Pass Filter를 이용하여 대상 특정대역의 주파수를 분석하여 대상의 정보를 확인한다.

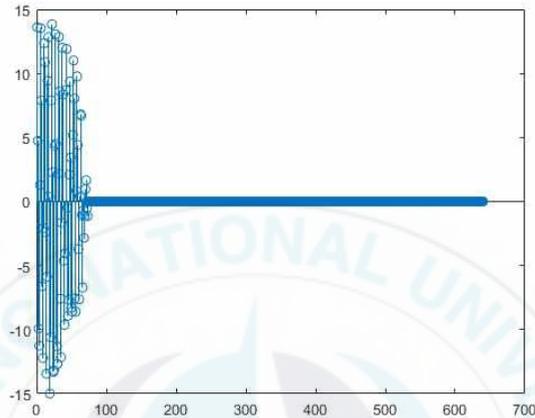


그림 3.5 주파수영역 분석

네 번째로 주파수영역에서 분석된 신호를 다시 시간영역으로 역푸리에 변환(Inverse Fast fourier transform)을 하여 대상과의 거리를 정확하게 측정한다. 그림3.6과 같은 band-pass filter를 이용하여 대상의 거리가 측정되며 진폭의 최대치에 올라간 부분이 바로 안테나와 대상과의 거리를 뜻한다. band-pass filter와 다른 여러 필터인 칼만필터, FIR필터등 여러 가지 필터가 있지만 칼만필터는 수많은 필터링 데이터를 처리하기에는 필터프로그램이 다소 무거운 단점이 있고 FIR필터회귀성분을 가지지 않으므로 본 논문에서는 band-pass filter를 사용하여 원하는 주파수 대역의 범위를 조정하며 주파수의 특징을 자유롭게 설정하여 분석할 수 있다.[8][9]

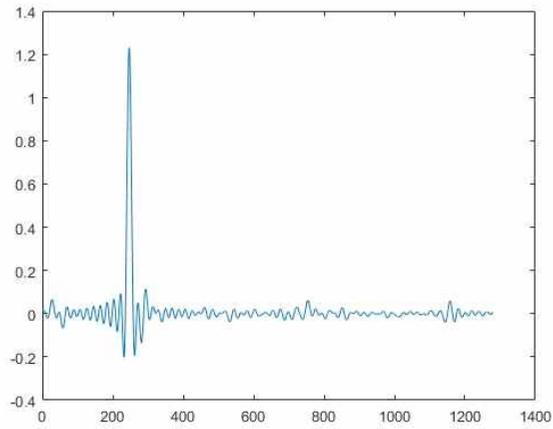


그림 3.6 band-pass filter를 이용한 대상거리 측정

그림3.6과 같이 band-pass filter에서 IC칩의 Data Sheet를 참고하여 출력 대역폭을 설정하여 대상의 Time Domain영역으로 확인하여 안테나와 대상과의 거리를 검출되는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 거리정보를 기반으로 IR-UWB를 여러대 사용하여 측정된 거리값을 연산한다면 대상의 위치좌표를 측위할 수 있게 된다.

제 4 장 위치 측위에 대한 연구

4.1 AOA(Angle of Arrival) 방식

AOA는 대상과 신호의 각도(Angle) 정보를 사용하여 위치를 추정하는 방식이며 DOA(Direction of Arrival)이라고도 한다. 각 방향별로 배치되어 신호를 보내는 안테나의 번호를 수신하여 안테나의 방향과 신호원이 만나는 곳을 위치로 추정한다. 그렇기 때문에 안테나 장착은 필수이며 방향성이 있는 안테나와 그 안테나를 회전시켜줄 장치를 필요로 한다. 이와같은 AOA방식은 대상이 가까이 있거나 신호의 산란이 발생하는 경우 매우 큰 오차를 발생하기 때문에 실내환경이나 근거리 측정에는 쓰이지 않는다.[10][11]

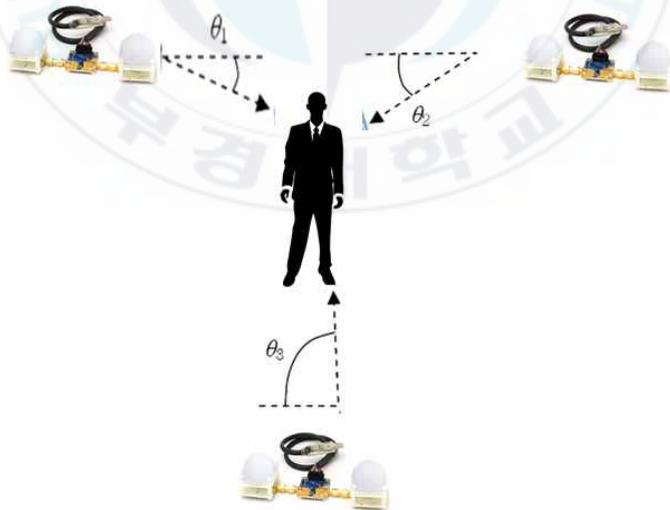


그림 4.1 Angle of Arrival

4.2 TOA(Time of Arrival) 방식

TOA는 그림 4.2와 같이 신호를 송수신하는 안테나와 대상과의 신호가 도달하는데 발생하는 시간을 측정하여 거리를 측정하는 방식으로 2~3개 이상의 안테나를 사용하여 삼각측량법등을 사용하여 계산이 가능하다 TOA에서는 크게 동기식과 비동기식이 있으며 동기식은 수신으로부터 절대적인 시간을 구할 수 있으며 절대적인 시간을 이용하여 사용되는 신호의 전송 속도와 도달 시간으로부터 거리를 구한다. 비동기 방식에는 이러한 시간동기를 맞출필요가 없으며 현재시간을 기록하여 그 즉시 다음 신호를 보내고 신호를 되돌려 보내는데 시간이 일정하다면 그 지연시간으로부터 거리를 측정하게 된다.[10][11][12]

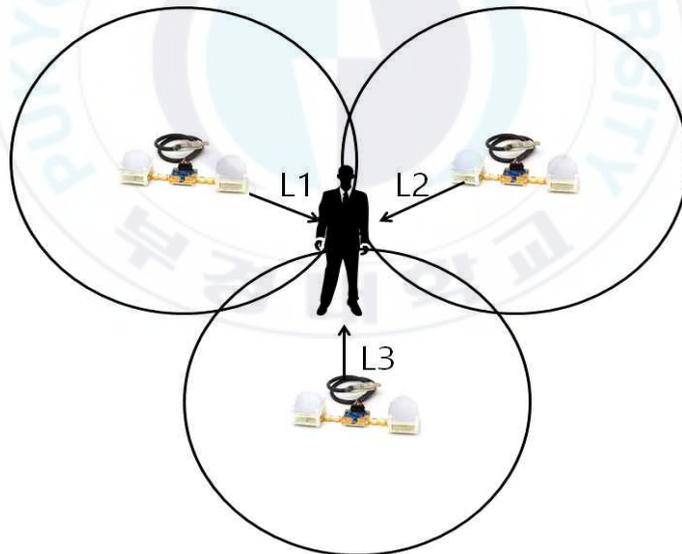


그림 4.2 Time of Arrival

4.3 IR-UWB를 이용한 대상좌표 인식

IR-UWB를 이용하여 물체를 감지하고 거리를 측정하여 대상의 위치가 결정된다. 대상으로부터 위치를 검출하기 위한 거리를 구하기 위해서는 식 4.1을 이용하여 IR-UWB에서 측정되어 나타나는 대상의 거리를 알 수 있다.

$$Distance = N \times R \quad (4.1)$$

식4.1의 N은 대상으로부터 검출되어 나타난 샘플링 숫자를 의미한다. 파형에서 나타나는 가장 진폭이 최대치로 올라간 샘플링 넘버를 뜻하며 R은 앞서 소개된 식3.2를 통하여 구할 수 있다. 본 논문에서 사용된 IR-UWB의 R은 대략 0.39mm이며 식4.1에서 대상의 검출된 샘플링 넘버가 256번으로 나타났다면 대략 99.84cm가 거리로 계산되며 이는 안테나와 대상과의 거리가 대략 1m라는 것을 의미한다. 식4.1에서 나타난 거리를 이용하여 좌표를 측위하기 위해서는 2차원에서는 X,Y의 최소 두 개 이상의 거리값이 필요하다.[9][10]

$$(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 = D_i^2 \quad (4.2)$$

식4.2에서 X와 Y는 대상이 있는 좌표값이고 X_i 와 Y_i 는 측정되고있는 IR-UWB 레이더 위치이며 D_i 는 식4.1을 통하여 나타나는 대상과의 거리값이다.[9][10][13]

4.3.1 2차원 위치좌표 측정

식4.2를 사용하여 2개 이상의 방정식이 나타나며 2차원 평면에서의 삼변측량기법의 기본 개념은 그림 4.3과 같이 대상좌표를 측위하는데 2개 이상의 센서가 사용된다. IR-UWB Radar의 위치좌표를 중심점으로 정의하고 이동노드까지의 거리를 반지름으로 정의한 2개의 원이 형성된다. 이때, 2개의 원둘레는 한 점에서 교차하게 되는데, 이 교차점이 목표대상의 위치가 된다.[9][11][13]

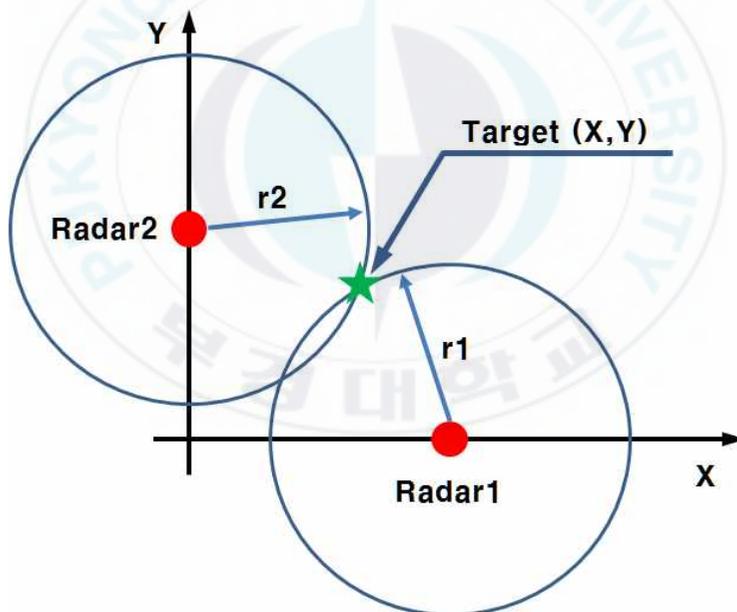


그림 4.3 2차원 좌표측위

4.3.2 3차원 위치좌표 측정

3차원 위치좌표 측정에서는 2차원 위치좌표 측정에서 z좌표가 추가되기 때문에 3개 이상의 거리값이 필요하다. 본 논문에서는 구의 방정식을 기반으로 3차원 위치좌표 값을 계산하며 연립한다면 목표대상의 X,Y,Z 값을 측정할 수 있다. 3개의 구의 교차점이 두개가 발생하게 되는데 만약 실내에서 센서 위치가 상단에 위치하고 있다면 목표는 아래의 좌표를 목표대상으로 결정하고 만약에 하단에 있다면 상단의 교차점을 목표위치로 확인 하여 하나의 점으로 측정한다.[11][12]

$$(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2 = D_i^2 \quad (4.3)$$

식4.3과 같이 3차원 좌표인 X,Y,Z값을 구의 방정식으로 계산하게 되며 3개의 센서를 이용하여 계산 한다면 식 4.4와 같은 방정식으로 나타낸다.

$$\begin{aligned} (X - X_1)^2 + (Y - Y_1)^2 + (Z - Z_1)^2 &= D_1^2 \\ (X - X_2)^2 + (Y - Y_2)^2 + (Z - Z_2)^2 &= D_2^2 \\ (X - X_3)^2 + (Y - Y_3)^2 + (Z - Z_3)^2 &= D_3^2 \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} X &= \frac{(y_1 - y_2)(D_3^2 - D_2^2) - (x_3^2 - x_2^2) - (y_3^2 - y_2^2) + (y_2 - y_3)(D_1^2 - D_3^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2)}{2[(x_2 - x_1)(y_2 - y_3) + (x_2 - x_3)(y_1 - y_2)]} \\ Y &= \frac{(x_1 - x_2)(x_3^2 - x_2^2) - (y_3^2 - y_2^2) - (D_3^2 - D_2^2) + (y_2 - y_3)(D_1^2 - D_3^2) - (x_1^2 - x_2^2) - (y_1^2 - y_2^2)}{2[(x_2 - x_1)(y_2 - y_3) + (x_2 - x_3)(y_1 - y_2)]} \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$Z = z_1 + \sqrt{D_1^2 - (X - x_1)^2 - (Y - y_1)^2}$$

식4.4를 연립방정식으로 풀이하여 대상의 X, Y, Z값을 각각 구하기위해 풀어보면 식4.5와같이 풀이하여 구할 수 있으며 삼변측량법을 이용하여 구의 방정식을 이용하면 대상의 위치좌표인 X, Y, Z값을 측정할 수 있다.

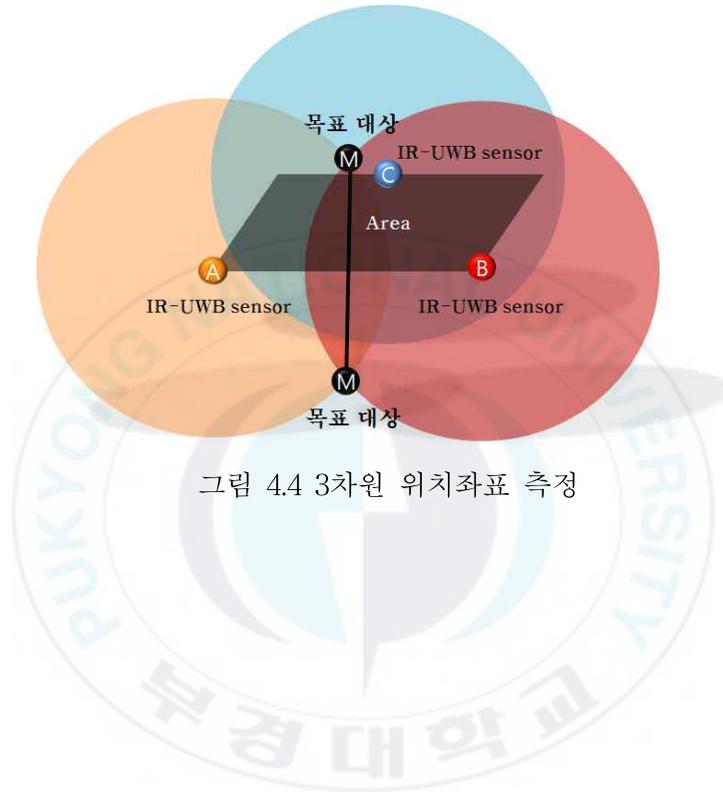


그림 4.4 3차원 위치좌표 측정

제 5 장 위치측위 시스템 구성

5.1 탐지 및 거리 측정 시스템

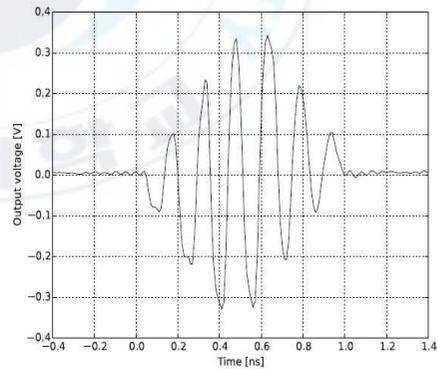
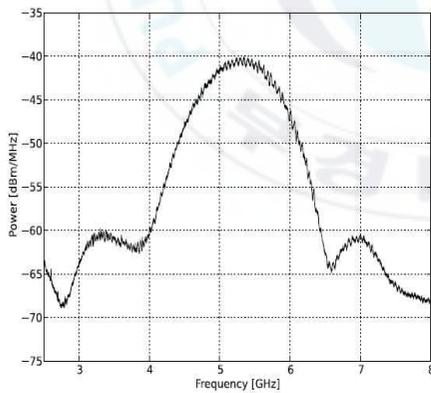
본 논문에 사용된 IR-UWB 레이더는 novelda 사의 NVA-R620X 칩으로 제작된 Development kits를 사용하였다. NVA-661 모듈은 MATLAB으로 설정된 명령어를 받고 설정된 값에 의해 파형을 송수신 하여 나타낸다. 물체에 반사되어 수신된 신호를 샘플링 과정을 거쳐 데이터를 PC에 전송되며 1m당 발생하는 샘플 수는 256개이다. IR-UWB의 프레임 오프셋을 변경하여 설정하면 최대 15m까지 측정이 가능하며 그림 5.1은 NVA-661모듈 칩과 PC에 데이터를 전송해주는 I/O USB 모듈과 안테나이다.



그림 5.1 NVA-661 IR-UWB Radar

표 5.1 NVA-661 제원

NVA - 661	
Frequency band	6.0 GHz to 10.2 GHz
Detection range	Close range operation
Transmitter	On chip
Programmable gain receiver	On chip
Programmable sampler	On chip
Simultaneous sampling points	256
sampling rate	>39 GS/s
interface	High speed SPI
Power consumption	120mW
package type	QFN32



(a) Pulse Generator Output Spectra (b) Pulse Generator Time Domain Output

그림 5.2 NVA-661 송수신 신호 파형

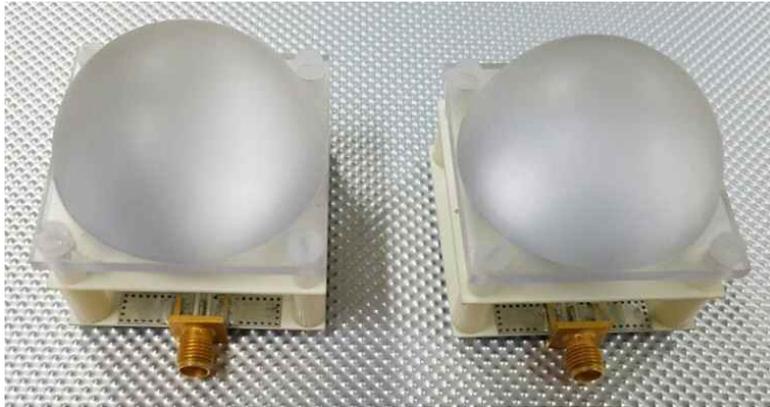


그림 5.3 Sinamous antenna

표 5.2 Sinamous antenna 제원

Frequency Range	6.0 ~ 8.5 GHz
Opening angle without lens	Typ. 65° (V) × 85° (H)
Opening angle with lens	Typ. 40° (V) × 35° (H)
Gain without lens	Typ. 6.0 dBi
Gain with lens	Typ. 6.7 dBi
polarization	Linear
Impedance	50 Ohm
Max. Power	1W EIRP
Size(Without lens and connector)	45 × 45 × 14mm

제 6 장 좌표 측위

6.1 실험 구성도

대상물체의 3차원 좌표를 획득하기 위하여 한 대상의 좌표위치를 획득하기 위하여 거리를 측정하였다. 임의 위치에 있는 대상의 거리를 IR-UWB를 이용하여 획득된 파형을 분석하여 획득된 거리를 이용하여 삼변측량법을 사용하였다. X, Y, Z 좌표를 얻기 위해서는 3개의 센서를 지정된 위치에 고정을 하고 임의 위치에 있는 대상의 거리를 동시에 측정하여 계산하여야 하지만 본 논문에서는 IR-UWB Radar를 지정된 위치에 지지대를 고정하고 IR-UWB를 임의 위치에 있는 대상의 거리를 측정한 후 측정된 거리값을 MATLAB을 이용하여 목표 대상의 X, Y, Z를 측정 하였다.

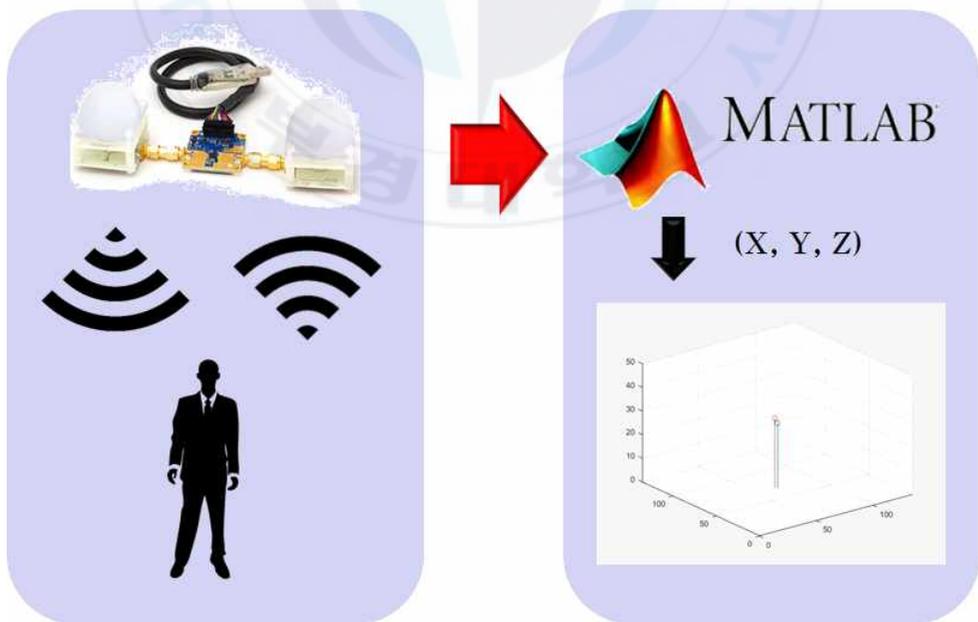


그림 6.1 IR-UWB 3차원 위치좌표 측정 구성도

6.2 거리 측정 실험

본 논문에서는 IR-UWB Radar의 위치를 표시하고 IR-UWB Radar가 한대만 보유하고 있다는 것을 바탕으로 측정해야할 IR-UWB Radar 위치를 3군데 지지대를 설치하고 1대의 IR-UWB를 옮겨가며 대상의 물체의 거리 데이터를 측정하는 방식이다. 실내공간의 넓이는 가로(X축) 350cm 세로(Y축) 450cm이다.

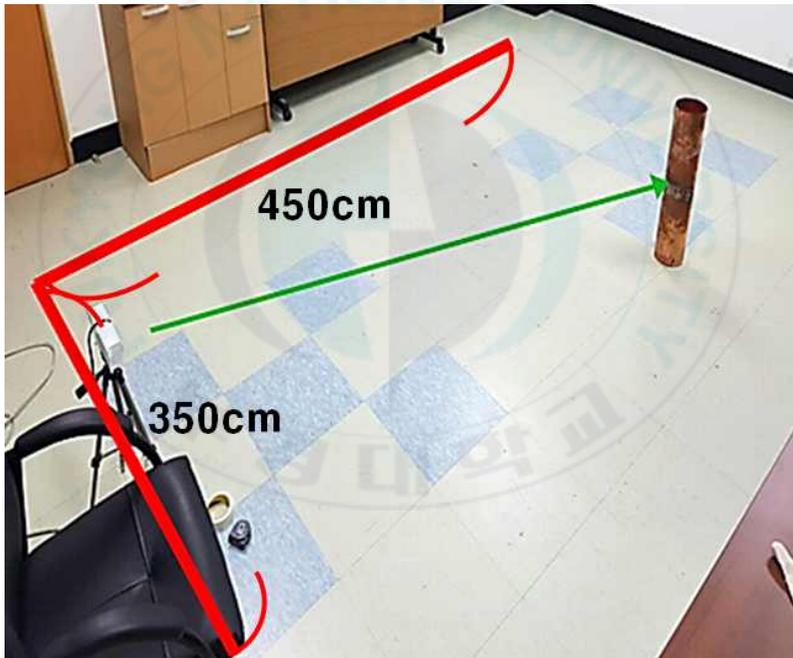


그림 6.2 실내 실험공간

6.3 실시간 거리 측정

대상물체의 좌표를 구하기 위해서는 IR-UWB Radar와 목표 대상과의 거리 데이터 수집이 가장 중요하다. 그림 6.3과 같이 실내공간에서 최대 4m정도 거리까지 대상을 측정할 수 있는 공간 내에서 IR-UWB를 설치하여 왕복이동을 실시 하였다. IR-UWB Radar를 이용하여 실시간 거리 측정을 실시한 결과 그림 6.4와같이 나타났으며 1회 왕복운동을 실시한 이후 다시 3.5m까지 이동한 후 50cm간격으로 멈췄다 움직였다는 반복하여 측정하였다.



그림 6.3 실시간 거리 측정

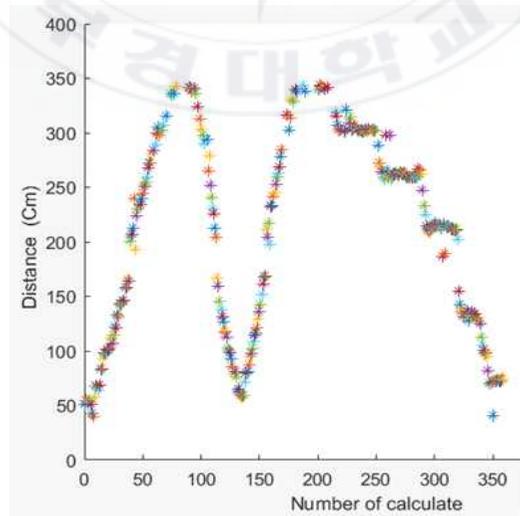


그림 6.4 실제 이동거리 측정

6.4 IR-UWB Radar를 이용한 공간좌표

좌표측위의 원리를 이해하고 실제실험을 통하여 목표대상의 좌표를 구하는 2차원 공간좌표에서 위치를 측위하여 목표대 6장 2절에서 설명한 것과 마찬가지로 최소 2개 이상의 거리값이 필요하며 측정된 레이더의 위치는 각각 다르다. 본 논문에서 사용된 레이더의 위치는 그림6.5와 같은 지점에 레이더 고정위치를 설정하여 목표대상에 대한 각각의 위치에서의 거리를 측정하여 삼변측량법을 이용하여 측정하였다.

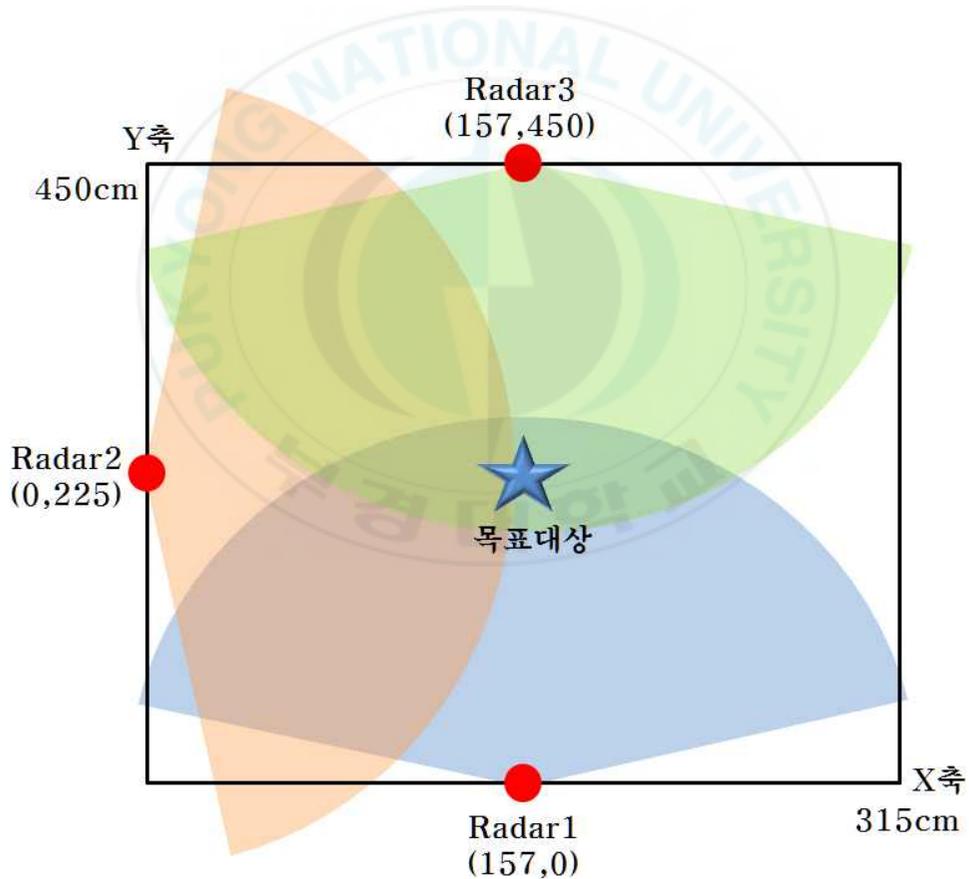


그림 6.5 IR-UWB Radar 배치도

6.4.1 2차원 공간좌표

실내환경에서 지정된 목표대상 위치에 고정하여 총 4군데를 설정하여 공간좌표를 구하였다. IR-UWB Radar를 컴퓨터에 연결하여 동작하고 지정된 위치에서 목표대상 위치까지의 거리를 MATLAB프로그램으로 계산하여 거리값을 측정하는 방식이다. 측정된 거리값은 식4.2를 통하여 프로그램으로 방정식은 연산하여 목표대상의 좌표값을 연산하게 프로그램 되어 있다. 목표대상의 고정위치는 그림 6.6과 같이 목표대상의 이동한 경로는 A1, A2, A3, A4 순서대로 이동하며 측정하였다. 그 결과 그림 6.6의 결과는 표 1과 같은 결과를 얻었으며 X축의 오차율은 5.25%, Y축의 오차율은 0.42% ~ 11.28%의 오차범위를 보였다. 하지만 2차원 좌표를 구하는 방식과 3차원 좌표를 구하는 방식은 매우 유사하며 3차원을 구하기전에 평면상에 있는 좌표를 구해보았을때 그 결과는 실제 대상의 좌표위치를 유사하게 측정이 가능하며 실제 위치 좌표위치와 유사하게 나타났다. 그리고 그림 6.7도 마찬가지로 이전과 같은 방법으로 이동하며 측정하였으며 그 결과 표2와 같이 X축의 오차율은 대체적으로 오차율이 1%이지만 A1의 Y값만 5.83%의 오차를 나타냈지만 실제의 위치와 유사하게 나타날 수 있다는 것을 알 수 있었다. 2차원 평면의 삼변측량법을 이용하여 실제 위치와 유사하게 나타난다면 3차원의 구 방정식을 이용하여 Z값이 추가되어 미지수가 총 3개가 나타나지만 프로그램의 알고리즘은 2차원과 매우 유사하며 2차원에서 보여준 결과는 3차원에서도 충분히 좌표를 구할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

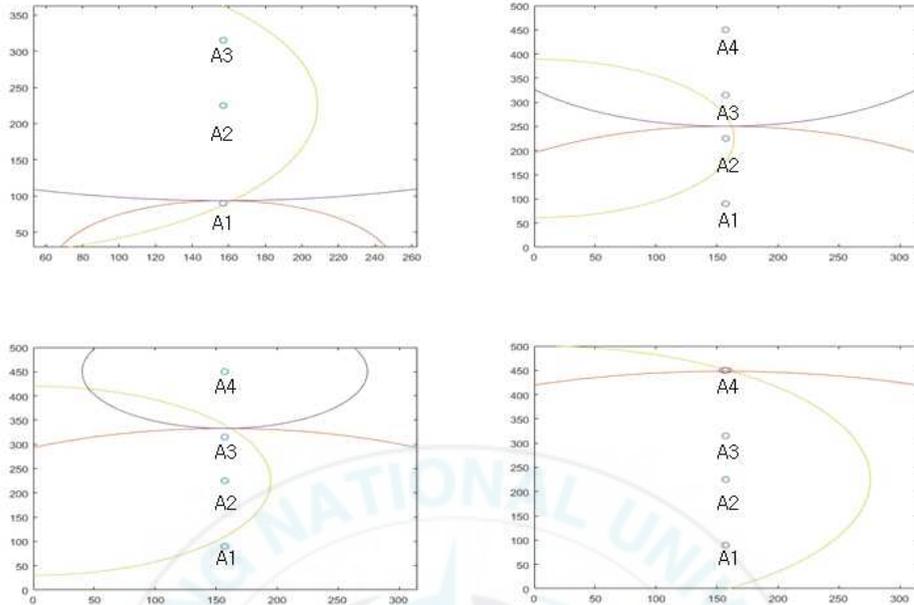


그림 6.6 2차원 공간좌표

표 6.1 실제 위치 좌표와 측정 좌표값

대상	실제 위치 좌표	측정된 좌표	오차율
A1	X = 157	X = 165.25	5.25 %
	Y = 90	Y = 96.33	7.03 %
A2	X = 157	X = 165.25	5.25 %
	Y = 225	Y = 250.38	11.28%
A3	X = 157	X = 165.25	5.25 %
	Y = 315	Y = 333.06	5.73 %
A4	X = 157	X = 165.25	5.25 %
	Y = 450	Y = 448.11	0.42 %

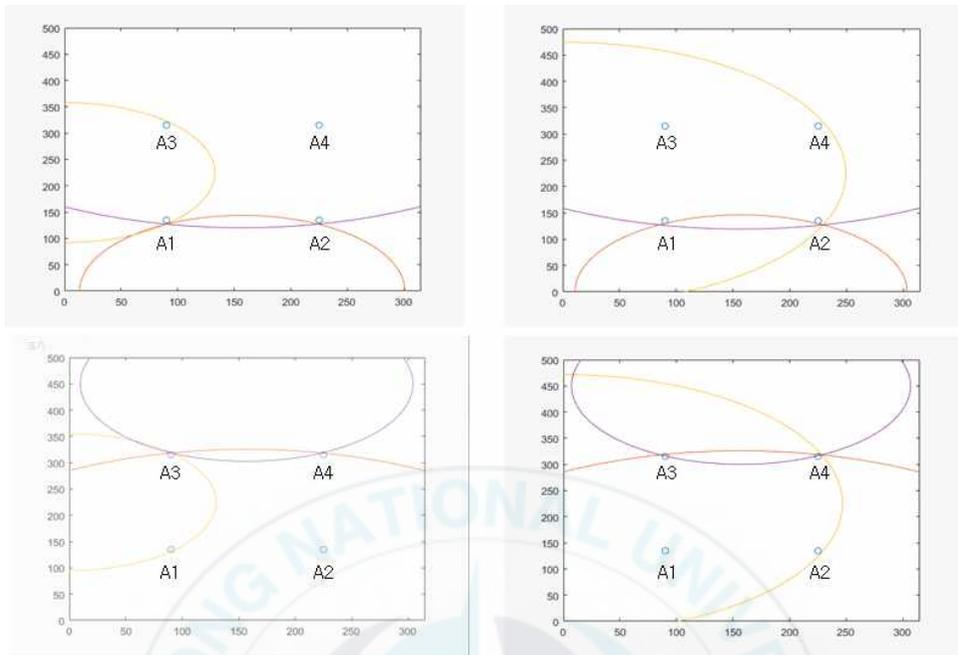


그림 6.7 2차원 공간좌표

표 6.2 실제 위치 좌표와 측정 좌표

대상	실제 대상 위치	측정된 좌표	오차율
A1	X = 90	X = 89.92	0.09 %
	Y = 135	Y = 127.13	5.83 %
A2	X = 225	X = 229.32	1.92 %
	Y = 135	Y = 127.14	5.74 %
A3	X = 90	X = 90.25	0.28 %
	Y = 315	Y = 318.63	1.15 %
A4	X = 225	X = 228.45	1.53 %
	Y = 315	Y = 318.25	1.03 %

6.4.2 3차원 공간좌표

실내환경에서 3차원 공간좌표를 구하는 방법은 2차원과 매우 유사하다 식4.4과 같이 X,Y,Z 좌표를 구하기 위해 3개의 식을 연립하면 식4.5와 같이 정리되며 식4.5를 이용하여 계산하면 A1,A2,A3의 3차원 좌표를 각각 구할 수 있다. 앞서 실험한 방법대로 동일한 높이에서 IR-UWB Radar가 감지한 거리값을 바탕으로 거리를 측정하고 MATLAB을 이용하여 대상의 좌표를 측정하였다. 그림 6.8과 같이 대상을 A1,A2,A3 순서대로 2차원과 동일한 방법으로 측정하였으며 표2와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 구의 방정식으로 교점을 얻을때 두개의 교점이 나타나지만 본 논문에서는 목표 대상이 동일한 높이에 있는 IR-UWB Radar의 높이보다 아래에 위치하여 측정 하였기 때문에 물체 대상이 아래에 있다는 가정하에 실험하였다. X축 Y축의 오차율은 0.58% ~ 6% 사이의 오차율이 나타났고 Z축의 오차가 다소 크게 나타났다.

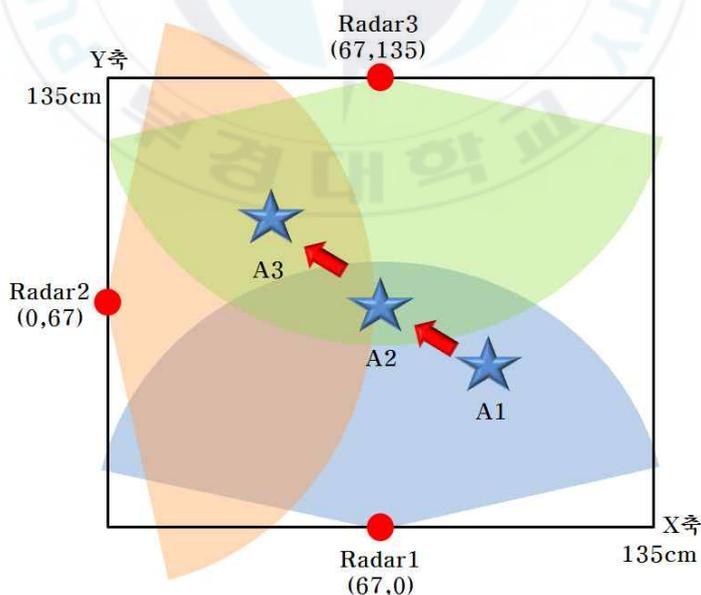


그림 6.8 3차원 위치측위



그림 6.9 3차원 위치 측위

표 2 실제 위치 좌표와 측정 좌표

대상	실제 대상 위치	측정된 좌표	오차율
A1	X = 90	X = 91.36	1.51 %
	Y = 45	Y = 47.70	6 %
	Z = 30	Z = 26.30	12.3 %
A2	X = 67.5	X = 65.82	2.49 %
	Y = 67.5	Y = 70.10	3.85 %
	Z = 27	Z = 29.40	8.89 %
A3	X = 45	X = 43.56	3.2 %
	Y = 90	Y = 90.52	0.58 %
	Z = 30	Z = 28.83	3.9 %

제 7 장 결 론

본 논문에서는 IR-UWB를 이용하여 3차원 공간의 좌표를 측위하는 알고리즘을 소개하였다. 저전력이고 투과성과 넓은 범위의 주파수 대역을 가지고 있는 IR-UWB를 통하여 기존 센서가 가지고 있는 문제점들을 보완하여 사용되는 연구가 활발하게 진행되고 있으며 이러한 IR-UWB Radar의 성질을 이용하여 장애물 뒤에 있는 목표대상을 감지하거나 거리를 측위하는 등의 다양한 분야에 사용 되고 있다. 하지만 이러한 IR-UWB의 넓은 주파수 범위와 수많은 신호 데이터중에는 목표대상에 대한 데이터와 각종 잡음이 함께 섞여서 산란된 데이터가 들어오는 단점을 보완 하기 위해 여러가지 필터요소를 응용한 방법들이 많이 제안되고 있다. 그리고 IR-UWB Radar를 이용한 거리 추정 알고리즘과 좌표측위 방법들이 많이 제시 되고있지만 현재까지 가장 많이 사용되고 있는건 2차원 까지 연구 되고 있고 3차원 좌표를 구하는 연구도 많이 진행되고 있다. 본 논문에서는 band-Pass Filter를 사용하여 임펄스 신호의 잡음을 제거하고 IR-UWB Radar와 목표대상의 거리를 측정하고 측정된 데이터를 이용하여 현재 많이 사용되고 있는 TOA 방식인 삼변측량법을 응용하여 2차원의 평면좌표를 구하는 방법으로 3차원 좌표도 측정이 가능하다는 것을 확인 하였다. 비록 구 방정식의 연립계산 과정에서 2차원보다는 연산되는 양이 기하급수적으로 증가되기 때문에 이를 보완하는 연구가 추가적으로 필요하며 더 나아가 사람과 사물을 구별하는 알고리즘과 여러 대상을 한번에 감지할 수 있는 IR-UWB Radar의 임펄스 신호의 장점을 이용하여 실내 공간에서 계속해서 변화되는 사람의 수를 실시간으로 측위하는 기술도 활발하게 연구 중이다.

참 고 문 헌

- [1] 윤두영, 전수연 “UWB 기술 개요 및 주파수 정책 동향” 정보통신정책 제 18권 13호 통권 397호
- [2] 이양설, 강정수 “레이더 工學” 普成文化社 P455-518
- [3] James D. Taylor " ULTRA-WIDEBAND RADAR TECHNOLOGY" CRC Press P1-21
- [4] 최영훈, 배정남, 김진영 “UWB 기반 위치인식 정확도 향상 기법” 한국인터넷방송통신학회 논문지 제11권 제2호 2011년 4월
- [5] SangHyun, Michael Wolf, Joel W. Burdick "An MHT algorithm for UWB radar-based multiple human target tracking" ICUWB 2009 September 9-11
- [6] 박재성, 백인석, 조성호 “IR-UWB RADAR 시스템에서의 목표물 거리값 산출 알고리즘 성능 비교” 한국통신학회 2012년도 하계종합학술발표회
- [7] 김범훈, 권구락, 변재영 “실내 위치 추정을 위한 임펄스 레이더 신호 필터링” 한국통신학회 추계종합학술발표회 2015년
- [8] Yinan Yu, Jian Yang, Tomas McKelvey, and Borys Stoew "A compact UWB Indoor and Through-Wall Radar with precise Ranging and Tracking" Hindawi Publishing Corporation International Journal of Antennas and Propagation Volume 2012, Article ID 678590, 11 pages
- [9] 김범훈 “ IR-UWB 레이더를 활용한 2차원 물체 추적” 조선대학교 소프트웨어융합공학과 2015. 8
- [10] 이가일, 강희원, 박슬기, 황동환 “초음파 센서를 이용한 3차원 마우스 시스템 설계”

- [11] 김휘환 “ 실내환경에서의 3차원 위치추적 알고리즘 구현에 관한 연구” 순천향대학교 대학원 정보통신공학과 2014. 2
- [12] 관트령, 김광열, 신요안 “무선 센서 네트워크를 위한 저복잡도 3차원 무선측위 기법” 한국통신학회 논문지 36(9) P573-580 , 2011. 9
- [13] 박재성 “멀티스테틱 IR-UWB 레이더 시스템에서의 다중목표물 위치 측정” 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 2013. 2



감사의 글

대학원에 진학하여 2년 여간의 여정을 무사히 마치게 도와주신 모든 분들에게 이 글을 올립니다. 학부생활부터 대학원을 졸업 할 때 까지 지도 교수님으로써 부족한 경험을 채워주시고 폭넓은 지식으로 많은 것을 가르쳐 주신 변기식 교수님께 감사인사 드립니다. 아울러 많은 격려와 지도를 해주신 이경창 교수님께 감사드립니다. 석사과정동안 부족한 저를 가르쳐 주시고 격려해주신 최연욱 교수님, 김남호 교수님, 황용연 교수님, 김만고 교수님, 안영주 교수님, 이경창 교수님들께 감사드립니다. 연구실 생활을 하면서 학업과 연구진행, 그 외 많은 다양한 부분에서 폭넓은 지식과 경험으로 일선에서 가장 많이 도와주신 김민 박사님에게 감사드립니다. 대학교 3학년 부터 연구실 생활을 시작하면서 많이 부족한 저를 많이 신경 써주시고 과제를 진행하면서 많은 도움을 주신 손경민형, 항상 유쾌하고 재밌게 분위기를 리드하고 어려운 일들을 옆에서 함께 도와주신 김현조형, 연구실에 입실 하면서 3D CATIA 설계 프로그램과 C언어등을 가르쳐주신 이종민형, 묵묵하게 후배들을 이끌어주시고 옆에서 부족한 부분을 조언해주신 강민우형 연구실에서 많은 과제와 논문실험연구를 같이 도와준 이동현 형, 임재준 형 그리고 랩실 가족들을 위해 항상 선봉에 나서는 정재훈, 석사를 같이 졸업하고 박사과정도 잘되기를 바란다. 그리고 많은 과제들을 같이 진행하면서 힘든 내색없이 도와준 박원현, 그리고 감지현, 미흐렛, 이가연, 이상 우리 모든 연구실 가족들과 논문작성에 큰 도움을 준 김나진과 로렌스에게 고마운 마음을 전합니다. 오늘의 제가 있기까지 아낌없는 사랑으로 키워주신 어머니, 아버지에게도 감사의 말씀드립니다. 끝으로 모든 분들에게 항상 행복하고, 건강하시고, 하시는 일 잘 되기를 기원합니다.

2017년 2월

최명훈 올림