

## 장거리 고정밀 측위를 위한 UWB IR 시스템 구현

(An Implementation of UWB IR System for Long Distance and High-precision Localization)

김기윤\* · 김길겸 · 김태권\*\*

(Ki-Yun Kim · Gil-Gyeom Kim · Tae-Kwon Kim)

### Abstract

Recently, the interests of the precise localization are rapidly increasing, which are linked to IoT(Internet of Things) sensors. The precise localization in indoor environment can be utilized in navigation, security, anti-collision, and various location based services etc. However, conventional positioning sensors, such as PIR, ultrasonic, microwave etc. are vulnerable to weather or insensitive to direction of subject movement or low precision performance. In this paper we implement a UWB-IR localization system for long distance and high-precision localization, which is not affected by temperature, light and weather. The proposed system was divided and designed by H/W, Antenna, S/W parts, each of which was designed based on an accurate analysis and simulation. As a result, we can implemented and verified UWB IR system with precise localization performance.

Key Words : Antenna, Impulse, IoT, Localization, Radar, Sensor, UWB

### 1. 서 론

최근 IoT(Internet of Things)와 접목한 RTLS(Real Time Location Service)에 대한 관심과 수요가 증가되고 있다. 스마트폰에 포함된 GPS(Global Positioning System), Wi-Fi, Bluetooth 등은 위치 인식 및 측위에 활용 가능한 통신 기술로 인식되고 있으나, GPS는 실내에서는 사용이 불가능한 단점이 있으

며, Wi-Fi 및 Bluetooth는 실내에서의 측위 정밀도가 1m ~수 m 수준으로 고정밀 측위에는 사용이 어려운 단점이 있다[1-2]. LED(Light Emitting Diode)를 이용한 가시광 통신 기법에 의한 측위 기술도 있으나 장애물이 존재하는 환경에서 통신이 어려운 단점이 있다[3-4]. 따라서 현재까지 대부분의 경우 거리 추정을 위해 거리 추정용 센서를 활용하는데, 대표적인 위치 인식 센서로는 PIR(Passive Infrared Ray) 센서, 초음파 센서, 마이크로웨이브 센서 등이 있다[5-6]. 그러나 이러한 센서들은 날씨등과 같은 주변 환경에 취약하고, 목적 피사체의 특정 움직임 방향성 검출에 둔감하거나, 정밀도가 낮은 단점이 있다. 반면 최근 부각되고 있는 UWB(Ultra Wide Band) 기술을 이용한 임펄스 레이더(Impulse Radar) 센서는 무선 전파를 이용하기

\* Main author : Professor, Dept, of Electrical Engineering, Myongji College  
\*\* Corresponding author : Chief R&D Manager, Osteonic Co. Ltd.  
Tel : 02-6901-8479, Fax : 02-6901-8401  
E-mail : jukyou@naver.com  
Received : 2015. 11. 18.  
Accepted : 2015. 12. 8.

때문에 실내 온도나 빛에 무관하게 동작하며, 매우 고정밀 측위가 가능하여 상용에서는 물론 군용 및 보안 분야 응용을 시도하고 있다[7-9]. 표 1은 기존 센서와 임펄스 레이더 센서의 장단점을 비교한 것이다.

**Table 1. Comparison between UWB-IR and Conventional Sensors**

항목	UWB-IR	PIR	Microwave
열/날씨	무관	유관	무관
정밀도	매우 높음	매우 낮음	낮음
투과탐지	가능	불가	가능
입체탐지	가능	불가	일부 가능
가격	저가	저가	증가
측정거리	수십 m 이내	수m 이내	수백 m 이내
동작방식	능동	수동	능동

관련 기술 동향과 관련하여 국내에서 최근 에스원이 UWB 센서 상용화에 성공하여, 2015년 8월 글로벌 센서 해외 업체에 수출을 계약한 바 있으며, 해외에서도 Time domain, Ubisense, TI, Freescale Semiconductor, Alereon 등이 이와 유사한 제품 및 칩셋을 개발하고 있으며, 곧 다양한 응용제품과 함께 시장이 활성화될 것으로 기대된다.

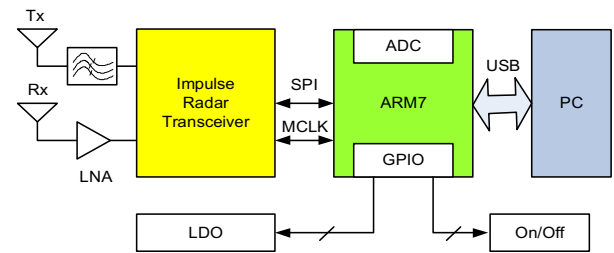
UWB-IR 시스템의 R이 의미하는 레이더(Radar)는 기본적으로 군사용 목적으로 사용되어 장거리 표적의 탐지 및 추적에 활용되는 것이 통념이었으나, 현재에는 상용에서 다양한 생활 편의를 위해 사용되고 있다. 실내에서 사람의 움직임과 거리를 정밀 감지하고 사람 수에 대한 정보를 제공하고, 상황에 따라 조명, 음악, 정보 등 관련 서비스를 감성적으로 제공하며, 보안용으로 고가의 물건이나 귀금속 등을 관리하고, 침입자를 탐지하며, 차량에 장착하여 전후방 다른 차량이나 물체가 위험 거리내에 있을 경우 알람을 주는 등 응용 분야가 매우 다양하다.

본 논문에서는 이러한 실내에서 활용 가능한 고정밀 실내 측위 시장 요구에 부응하여 목적 피사체의 모션 검출 및 고정밀 측위가 가능한 UWB IR 시스템을 구현하였다. 본 시스템은 10m 정도 수준의 탐지 범위에서 수 cm 이내의 오차범위로 물체를 추정하여 보안

시스템에 사용하는 것을 목적으로 구현하였다. 제안하는 시스템은 크게 H/W, 안테나, S/W의 파트로 구분하여 설계되었으며, 그간 저자들이 발표한 연구 결과를 토대로 종합적인 설계를 진행하였다[10-12]. 각 파트는 요구 조건에 맞는 정확한 분석 및 시뮬레이션에 기초하여 설계하고 방안을 제시하였다.

## 2. UWB IR 시스템 구성 및 특징

본 논문에서 구성한 개발 시스템 블록도는 그림 1과 같다. 임펄스 파형을 생성하고 수신하는 역할을 담당하는 임펄스 레이더 송수신기(Impulse Radar Transceiver)와 송수신기의 송신 출력을 전파 규정에 맞게 교정해주는 BPF(Band Pass Filter), 전파규정에 적합하게 교정된 신호를 송출하는 송신 안테나, 수신 신호를 받아들이는 수신 안테나와 받은 수신 신호의 감도를 향상시키기 위한 LNA(Low Noise Amplifier), 송수신기로부터 전달받은 수신 파형을 PC와 연동시키는 MCU(ARM7), MCU로부터 들어온 미가공 데이터(raw data)에서 목표물 신호를 검출하고 목표물의 위치 추정의 역할을 수행하는 신호처리 파트, 얻어진 정보들로부터 응용에 맞게 알고리즘 처리하는 PC(윈도우즈 OS) GUI(Graphic User Interface)로 구성된다. LDO(Low voltage Drop Out) 파트는 시스템에 전원을 공급하는 부분으로 하드웨어 부분에 안정적인 전원을 공급하는 부분이다.



**Fig. 1. Block Diagram of Proposed Development System**

여기서 UWB 사용을 위한 국내의 주파수 규격에 주의할 필요가 있는데 일반적 조건에서는 항공기, 선박, 위성, 모형비행기에의 적용을 금지하고 있으며, 주파

수대역폭(1 MHz 분해 대역폭으로 측정된 최대 전력 밀도보다 10dB 낮은 대역폭)은 450 MHz 이상일 것을 요구하고 있다. 한국은 유럽과 미국처럼 응용 분야별 기준이 명확하지 않아 통신 이외에 인증은 용도 미지정으로 인증을 받아야 하며 RF의 특성 또한 UWB 통신 사양과 동일하게 진행을 해야 하는 단점을 가지고 있다[13-14].

### 3. UWB-IR H/W 설계

그림 2는 NVA6100 칩을 이용하여 설계한 임펄스 레이더 UWB 시스템 하드웨어 구조를 나타낸 것이다 [15]. 먼저 동작과정을 살펴보면 다음과 같다. MCU(AT91SAM7S256) PLL(Phase Locked Loop)에서 만들어진 48 MHz의 메인 클럭(MCLK)을 이용하여 펄스 발생기에서 송신 펄스를 만들어 송신기 안테나를 통하여 매우 약한 전자기 펄스를 방출하고 주변에 있는 물체에서 반사된 신호를 검출한다. NVA6100은 반사된 신호의 고주파 성분을 검출하고 기본적으로 높은 수신 감도(-96 dBm)를 확보하기 위해 증폭기를 내장하고 있고, 또한 GHz의 신호를 디지털로 읽을 수 있는 출력으로 변환하기 위해 빠른 ADC(Analog to Digital Converter)를 내장하고 있다. 그러나 실제 적용에서는 주위 잡음 환경으로 인해 수신된 신호가 매우 약하므로, 수신감도를 확보하기 위해 LNA(Low Noise Amplifier)를 추가하여 수신감도를 -110 dBm 정도까지 확보되도록 설계하였다.

그림 3은 송수신단의 RF 부분에 대한 회로이며, 국내 규정(3.1~4.8GHz, -41.6dBm)에 맞게 TX단에 필터를 적용했으며, RX단은 수신 감도(-110dBm)를 확보를 위해서 LNA를 추가한 회로도이다. UWB IR 시스템의 RF 모듈 설계에 있어서 주요 고려 사항은 인지거리, 왜곡 없는 펄스 전송이다. 따라서 왜곡 없는 펄스 송신 및 수신을 위해 가급적 소자 사용을 배제하고 CPWG(Coplanar Waveguide with Ground-plane) 구조로 RF 라인을 설계하였으며 인지거리 부분에 있어 10m 기준으로 -110dBm의 수신감도를 유지하기 위해 설계를 진행하였고, 다양한 시스템에 적용하기 위해 사이즈 축소를 고려하여 설계하였다.

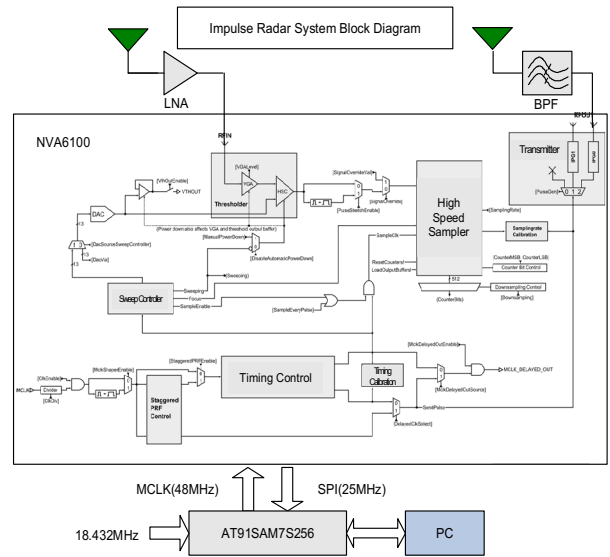


Fig. 2. Designed H/W System Block Diagram

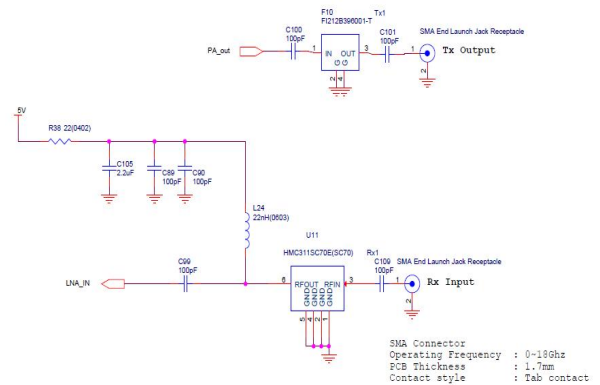


Fig. 3. RF Part Circuit

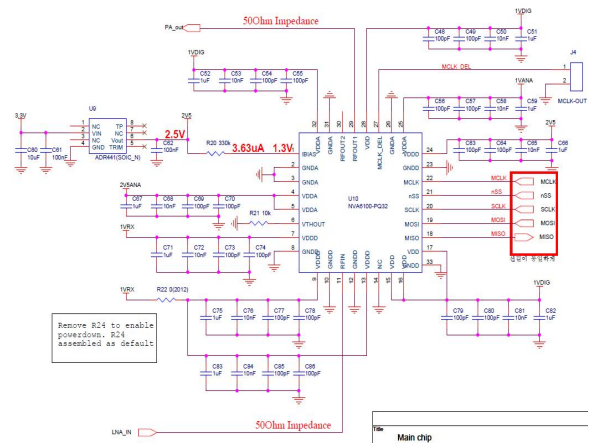


Fig. 4. Main IC and Peripheral Circuit

그림 4는 NVA6100 Main IC 주변 회로도로서, 임펄스 신호를 발생하고 물체에서 반사된 임펄스 신호를 수신하여 MCU로 전송하는 부분을 담당하는 회로 부분이다. 따라서 전원 노이즈 및 정확한 펄스 모양 (pulse shape)을 전송하고 SPI(Serial Peripheral Interface)의 임피던스를 고려하여 설계가 되어야 하기 때문에 전원 노이즈 제거를 위해 비드(bead) 및 0Ω 저항을 이용하여 튜닝을 할 수 있게 설계하였고, 임펄스 전송에 있어서 왜곡 없이 설계하기 위해 회로 시뮬레이션을 통해 소자를 사용하지 않고 CPWG 구조로 RF 라인을 설계하였다.

#### 4. UWB-IR 안테나 설계

UWB용 신호 처리 송수신기에서는 기존의 RF 시스템과는 다르게 임펄스를 사용하기 때문에 안테나 설계 및 검증 방법도 기존의 방식에서 사용되는 안테나 설계 및 검증과 차이를 가지며, 일반적인 광대역 안테나를 설계 및 검증하는 방법은 여러 번의 공진점 (resonance point)을 갖는 방식을 사용하여 설계한다. 그러나 임펄스 레이다에서 사용되는 안테나는 여러 공진점을 가질 경우 동작에 왜곡을 발생할 수 있다. 또한 다중 공진점을 가질 경우 위상에 영향을 미치며 선형적인 특성이 아닌 불규칙한 값을 가지게 되어 펄스신호의 왜곡을 발생시킨다. 이는 UWB 레이다 시스템의 치명적인 약점으로 작용하게 된다.

그림 5 (a)은 UWB 안테나 설계 방식에 부합하여 제작한 패치 안테나로서, 범용의 목적으로 주파수 범위를 하향(3.1~4.8GHz) 및 상향(7.2~10.2GHz) 주파수 대역 모두를 고려하여 전방향성 안테나로 설계하였다. 그림 5 (b)의 사진은 안테나 시험을 위해 설계된 안테나 시험 보드(antenna test board)이다.

그림 6 및 표 1은 안테나 챔버(chamber)를 이용하여 제작한 안테나의 방사 출력을 측정한 결과에 대한 측정값이며 주파수 3GHz~6GHz에서 평균 이득 약 -0.9dBi를 유지하면서 첨두 이득(peak gain)이 약 3.46dBi로 우수한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있다. 또한 지향성은 향후 범용성을 고려하여 무지향성 (omni-direction) 특성을 가지도록 설계하였다.

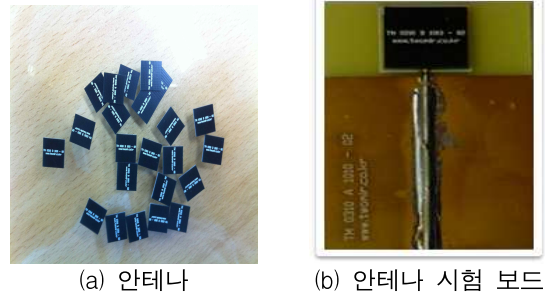


Fig. 5. Antenna and Testboard

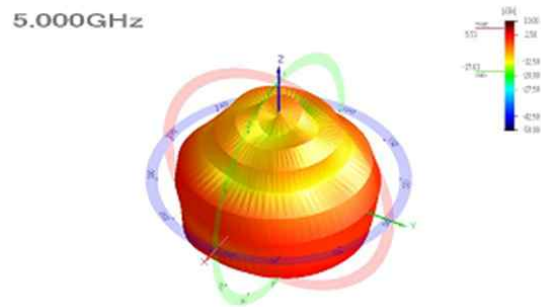


Fig. 6. Antenna Radiation Pattern

Table 2. Main Parameter of Manufactured Antenna

주파수	피크값	평균 이득	효율
MHz	dBi	dBi	%
3000	3.48	-1.6	69.17
4000	3.67	-0.21	95.31
6000	3.24	-0.89	81.47
8000	4.13	0.45	100.94
9000	2.4	-0.76	83.98
10000	2.95	-0.87	81.82

그림 7은 회로망 분석기(network analyzer)를 이용해 제작된 안테나의 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio: 정체파비)를 측정한 결과이다. 여기서 황축은 주파수를 종축은 VSWR 값을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 3GHz ~ 10GHz 대역에서 이득이 평탄한 결과를 확인할 수 있다. 주파수 범위를 한국 규정보다 넓게 고려한 이유는 한국규정과 동일한 설정을 하게 되면 설계하는데 어려움이 있을 뿐더러 사이드 밴드에서 주파수 특성이 좋지 않은 결과가 발생하기 때문에 규정보다 넓은 범위의 설계를 진행하였

다. 그림 7에서 나타낸 VSWR은 정체파비, 반사계수를 나타내며 3.11GHz~10.31GHz의 범위에서 최대값은 2.3이다.

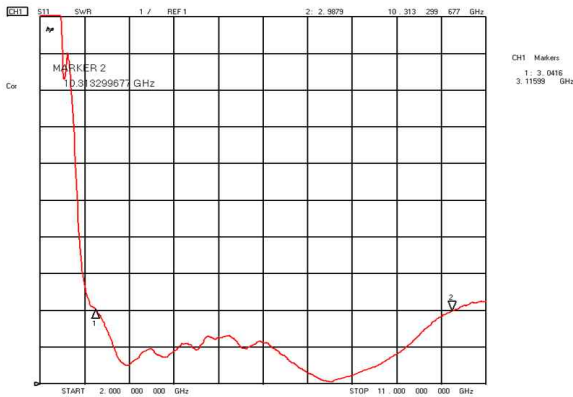


Fig. 7. VSWR Test Result of Manufactured Antenna

그림 8은 이상의 설계 결과를 바탕으로 얻어진 프로토타입(prototype)을 나타낸 것이다. 여기서 안테나는 탐지거리 확장을 위해 지향성이 있는 시누어스(sinuous) 안테나를 사용하였다.

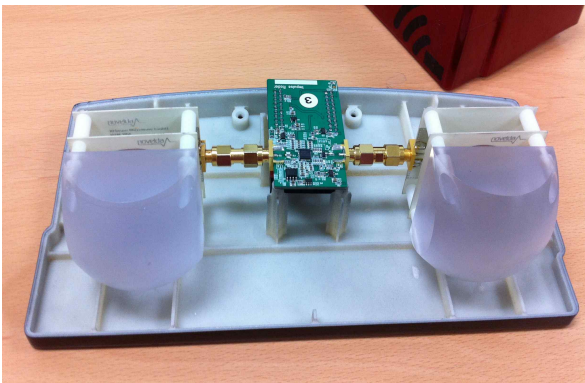


Fig. 8. Proposed UWB-IR Prototype

### 5. UWB-IR S/W 설계

S/W 설계에서는 윈도우 환경을 기반으로 PC상에서 UWB IR 시스템을 GUI(Graphic User Interface)로 제어 및 측정 결과를 모니터링할 수 있도록 프로그래밍 하였으며, 다양한 신호처리 알고리즘을 탑재하였

다. 그림 9에 S/W 구현 파트를 포함한 전체 시스템 블록도를 나타내었다.

그림 10은 임펄스 레이더의 GUI 화면을 나타낸 것이다. 화면에서 각 번호가 의미하는 것은 표 3과 같이 정리할 수 있다.

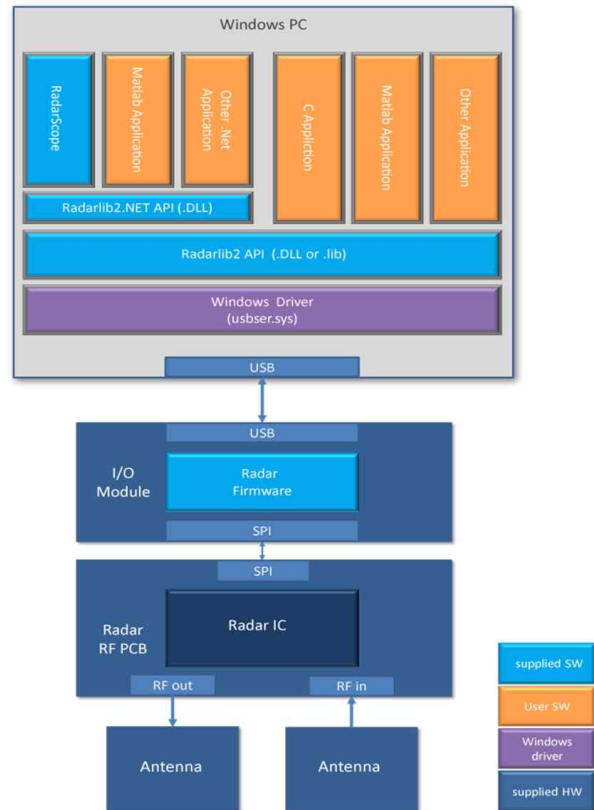


Fig. 9. S/W Block Diagram of UWB-IR System

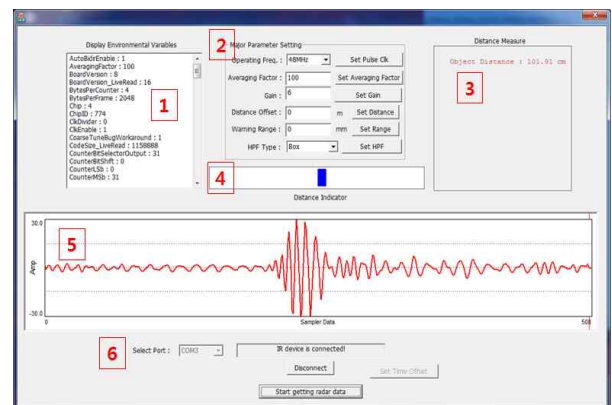


Fig. 10. GUI for UWB-IR System Operation

Table 3. Functional Options on GUI

번호 영역	GUI 의미
1 번	Impulse Radar RF IC의 환경 변수 값
2 번	주요 변수 세팅(Setting) - Operating Freq : 레이더 칩 구동 주파수 관련 옵션 - Averaging Factor : 신호의 프로세싱 이득 추가 관련 옵션 - Gain : 내부 LNA 이득을 조정하여 입력 신호의 크기를 조절하는 옵션 - Distance Offset : 검색 범위를 설정할 수 있는 옵션 - Warning Range : 보안 솔루션에서 알람을 울리게 하기 위한 거리 세팅 옵션 - HPF Type : 테스트(TEST)를 위한 디지털 필터 선택을 위한 옵션
3 번	거리를 측정하여 표시하는 옵션
4 번	측정 물체에 대한 Distance Indicator
5 번	실시간 임펄스 시그널에 대한 디스플레이
6 번	하드웨어 COM Port 지정 및 연결 ON/OFF

## 6. 거리추정을 위한 신호처리알고리즘

동체의 움직인 거리 검출 알고리즘은 크게 피사체로부터 반사된 레이더 미가공 데이터(raw data)를 수신하는 부분, 수신 미가공 데이터의 DC 오프셋(offset)을 제거하여 입력 신호를 HPF(High Pass Filter) 하는 부분, 동체의 움직인 변화를 감지하여 신호를 미분하는 부분, 미분한 신호에서의 변화가 최대 발생한 부분을 검출하는 부분, 수신 레이더 신호에서 최대 변화가 일어난 지점을 거리로 환산하는 부분으로 나눌 수 있다.

### 6.1 RF 수신 미가공 데이터 획득부

동체의 움직임을 파악하려면 주기적으로 RF 수신 미가공 데이터를 획득하여 RF 채널 노이즈를 제거하고 이를 동체의 움직임 분석부에 제공하여 외부 노이즈 환경에 강건한 신호를 분석하기 위한 데이터 수신

부가 필요하다. 이때 신호의 획득 주기는 UWB 송수신 장치의 메인 클럭(main clock) 과 RF 수신 입력 신호의 노이즈 제거를 위한 평균 인자(average factor), 아날로그 수신 입력 신호의 ADC(Analog to Digital Conversion)계수의 환경 변수 조합에 의해 결정된다. RF 수신 입력 신호 획득의 주기를 수식적으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$F_{frame\ rate} = PRF \times \frac{1}{N_D \times N_A} \quad (1)$$

여기서  $N_D$ 는 DAC 스텝 파라미터로 단위는 비트(bit)이며,  $N_A$ 는 평균 인자, PRF(Pulse Repetition Frequency)는 메인 클럭 주파수로 48MHz가 사용되었다.

예를 들어 DAC 스텝( $N_D$ ) 14비트, 평균 인자를 100으로 하였을 경우 프레임 전송속도는 약 29fps(frame per second)가 된다. 데이터 획득부에서 프레임 전송속도는 동체의 움직임의 속도와 매우 밀접한 관계가 있다. 예를 들어 데이터 획득이 29fps일 때 동체의 움직임이 34ms( $1/29 = 0.0344s \approx 34ms$ )이내에 발생하게 되면 동체의 움직임을 검출할 수 없게 된다. 따라서 적절한 데이터 프레임 전송속도를 설정하는 것이 중요하다.

### 6.2 High Pass Filtering 부

직접 변환(direct conversion) 방식의 수신기를 통해 수신된 RF신호는 필연적으로 DC offset 발생하게 되며 이러한 DC 오프셋은 레이더 입력 신호의 레벨을 스윙하게 함으로써 신호의 기저를 설정하는데 어려움을 있다. 따라서 DC 오프셋은 저주파 신호이므로 HPF를 통해 신호의 DC 오프셋을 제거한다. 이 때 HPF 신호의 수학적 표현은 식 (2)와 같다.

$$O[x]_{HPF} = I[x]_{original} - I[x]_{LPF} \quad (2)$$

여기서  $[*]_{HPF}$ 는 HPF,  $[*]_{LPF}$ 는 LPF가 적용된 신호를 각각 나타낸다.

### 6.3 동체의 움직임 거리 결정부

동체의 움직임 추이를 추적하려면 필수적으로 인접 과거 시간의 입력 레이다 신호부터 현재 입력 레이다 신호 프레임간의 신호 변화량을 살펴보아야 한다. 신호의 변화량을 산정하는데 있어 가장 간단하고 유용한 방법은 인접 프레임간의 변화량을 산출하는 것이다[16-17]. 이때 동체의 움직인 거리를 추정하려면 프레임간 데이터의 변화량을 구하고 변화량이 최대가 되는 지점이 목적 피사체의 움직임이 있는 것으로 추정할 수 있다. 이를 수학적으로 나타내면 수식 (3)과 같다.

$$SamplerIndex_{max} = MAX[I[x]_{curr} - I[x]_{prev}] \quad (3)$$

여기서  $[*]_{curr}$  는 현재 프레임 신호,  $[*]_{prev}$  는 이전 프레임 신호,  $MAX[*]$  는 최대값에서 valued index 함수 값의 차이를 각각 나타낸다.

이러한 프레임 샘플간의 간격(spacing)을 시간 지연으로 매핑하여 최대값 샘플 인덱스(max-valued sampler index)를 추정하게 되면 목적 피사체의 움직인 거리를 추정할 수 있게 된다.

### 7. 시험 평가

임펄스 레이더 시스템과 목표물의 배치 환경에 대한 구성 및 시나리오는 그림 11과 같다. 10m 범위 내외에서 피사체를 표면이 균일한 철판으로 제작하고 이동 수레를 이용하여 피사체를 이동하며 피사체 거리 측정을 수행하였다. 또한 0~12m를 이동하면서 실시간성을 확보하며 목표물의 움직임을 관측할 수 있는지 측정하였다.

인식 거리 시험을 실시하여 실제 거리와 소프트웨어적으로 측정된 거리간에 오차 범위를 줄이기 튜닝 작업을 실시하였으며 여러 시료를 시험하여 평균값을 소프트웨어에 적용하여 보다 정밀한 위치 분석을 실시하였다. 그림 12는 실험이 진행된 실험실 환경 및 시험 결과이다. 그림 12 (b)는 임펄스 레이다 디바이스에서 임의의 거리에 있는 목적 피사

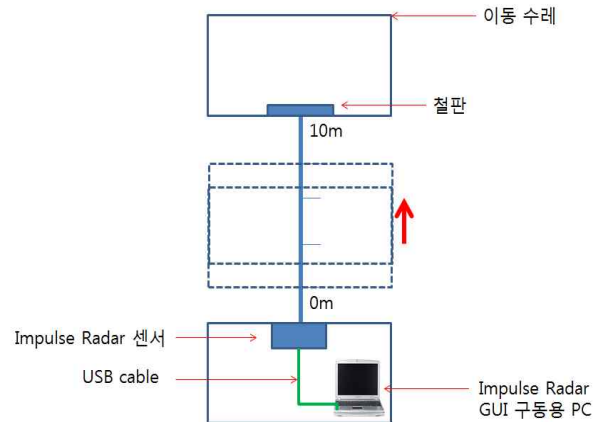


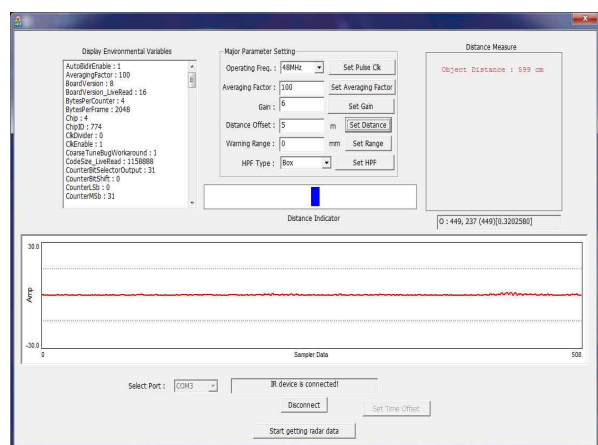
Fig. 11. Test Structure for Distance Measurement



(a) 실험실 환경



(b) 피사체 측정



(c) GUI 이용 검출 결과

Fig. 12. Test Environments and Measurement Test

체의 거리 검출을 시험하고 그 결과를 나타낸 것이다. 피사체를 598cm 위치에 두었을 때 그림 12 (c)에 GUI에 나타난 바와 같이 599cm를 표시하는 것을 알 수 있다.

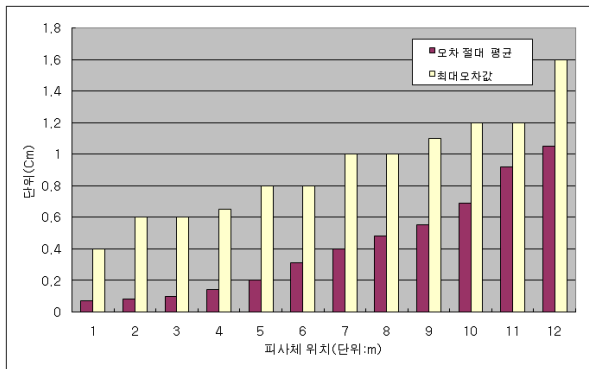


Fig. 13. Test Results of Repetitive Experiment

그림 13은 1m부터 12m 거리까지 1m 단위로 20회씩 거리를 측정된 결과를 나타낸 것이다. 해당 거리에 대한 최대 절대 오차값과 측정 오차 절대값 평균 특성 관찰을 통해 측정 성능을 예측할 수 있다. 본 논문에서의 구현된 시스템은 11m 범위내에서 최대 절대 오차  $\pm 12\text{mm}$ (해상도 24mm)를 가지는 것을 알 수 있다. 그림 15의 시험 결과에서 알 수 있듯이 0~4m 거리에 있는 동체의 검출 오차는 거의 없었으며 측정거리가 늘어날수록 오차 절대값의 평균값이 커짐을 알 수 있다.

## 8. 결 론

본 논문에서는 실내 온도나 빛에 무관하게 동작하며, 고정밀 측위가 가능한 UWB-IR 측위 시스템을 구현하였다. 제안하는 시스템은 H/W, 안테나, S/W 등으로 파트로 나누어 요구조건 및 분석에 맞추어 설계를 진행하였다. 그 결과 임펄스 신호를 처리하는 소형의 RF 모듈 및 광대역을 지원하는 소형의 안테나를 개발하였으며, UWB-IR 기반 신호처리 알고리즘을 개발하여 11m 이상의 거리에서 평균 오차  $\pm 12\text{mm}$ 를 가지는 장거리 고정밀 측위가 가능한 시스템을 구현하였다. 향후 본 시스템은 무선 측위 기능을 지원하는 각

종 서비스를 위한 핵심 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

## References

- [1] K. Y. Kim et al, Analysis of Indoor Localization Technology for Exhibition Services and Application Method of MLC/RF Converged Localization, The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 40, pp. 217-225, Jan. 2015.
- [2] J. M. Lim and T. K. Sung, Trend of indoor localization technique based on smart phone, The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 32, pp. 16-23, July. 2015.
- [3] B. W. Kim et al, MLC based positioning scheme in vehicle-to-infra(V2I) environment, The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol. 40, pp. 586-592, Mar. 2015.
- [4] Man-Il Heo and Wang-Jin Yoo, A study on the activation of fusion technology through LED lighting industry, Journal of KIEIE(Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers), no. 26, pp. 1-5, Apr. 2012.
- [5] In-ok Lee and Chul-mo Lee, A development of localization sensor for intelligent control, The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, pp. 4-11, Oct., 2009.
- [6] H. B. Kim et al, PIR sensor signal analysis for enhancing occupancy tracking, The Proceedings of The Institute of Electronics Engineers of Korea, pp. 825-827, June 2012.
- [7] DongWan Jang and Teahyun Jeon, A study on prevention of pass-through accident by utilization of wireless communication, Journal of KIEIE(Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers), no. 28, pp. 90-94, Dec. 2014.
- [8] S. Bartoletti et al, Sensor radar networks for indoor tracking, IEEE Wireless Communication Letters, Vol. 3, pp. 157-160, Apr. 2014.
- [9] A. S. Venkatachalam et al, Development of new high speed dual-channel impulse ground penetrating radar, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 7, pp. 753-760, Mar. 2014.
- [10] B. K. Lee et al, A design of omni directional and directional antenna for UWB IR, The Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 119-127, 2012.
- [11] B. H. Kim et al, A development of movement detection system for impulse radar, The Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 128-135, 2012.
- [12] K. Y. Kim and T. K. Kim, A study on the optimization algorithm for object motion detection, Myongji Research Report, Dec. 2015. To be appeared.
- [13] James D. Taylor, Ultra-wideband radar technology, CRC Press. 2012.
- [14] Zafer Sahinoglu, Sinan Gezici and Ismail Güvenc, Ultra-wideband positioning systems, Cambridge University



Press, 2011.

[15] Nikolaj Andersen & Tor Sverre Lande, Nanoscale impulse radar, Novelda White Paper.

[16] Alan V. Oppenheim, Alan S. Willsky, S. Hamid Nawab, Signals & systems, Prentice Hall, 2nd edition, 2015.

[17] C. Britton Rorrough, Digital filter designer's handbook, Tab Books. 1993.

◇ 저자소개 ◇



**김기윤**(金基潤)

1974년 7월 11일생. 2002년 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 졸업(박사). 2001~2008년 삼성탈레스 기술연구소 책임연구원. 2006~2007년 미국 Univ. of California, Los Angeles(UCLA) Post-doctor. 2008년~현재 명지전문대학 공학·정보학부 전기과 부교수.

주관심 분야 : 통신/영상 신호처리, 군통신, 이동통신, 의용 공학 시스템 등



**김길겸**(金吉謙)

1974년 10월 16일생. 2004년 국립한밭대학교 정보통신공학과 졸업(석사). 2004~2006년 (주)네스랩 연구소 선임연구원. 2006~2009년 삼성테크윈 이미지사업부 선임연구원. 2009년~현재 (주)라운우리 부사장.

주관심 분야 : 임펄스 레이더 시스템, 이동통신, 센서 네트워크, 마이로웨이브 등



**김태권**(金泰權)

1969년 8월 30일생. 1999년 성균관대학교 전기전자컴퓨터공학과 졸업(석사). 1999~2000년 KIST 트라이블로지 연구센터 연구원. 2001~2007년 삼성테크윈 DSC 개발팀 선임연구원. 2008~2014년 (주)인트로메딕 영상사업부 개발이사. 2015년~현재 (주)오스테오닉 연구소장.

주관심분야 : 영상신호처리, 의료 영상처리, 컴퓨터 그래픽스 등