

# Design and Implementation of a Microwave Motion Detector with Low Power Consumption

Surg-Won Sohn\*

## Abstract

In this paper, we propose a design of microwave motion detector using X-band doppler radar sensor to minimize the power consumption. To minimize the power consumption and implement battery operated system, pulse input with 2 KHz, 4% duty cycle is exerted on the doppler radar sensor. In order to simplify the process of working with ATmega2560 microcontroller unit, Arduino compatible board is designed and implemented. Arduino is open source hardware and many library software is published as open source tools. Smartphone app is also proposed and designed as a real-time user interface of the motion detector. The SQLite database on the Android mobile operating system is used for recording raw data of motion detection for post-processing job, such as fast Fourier transform (FFT). Bluetooth interface module is implemented on the motion detection board as a wireless communication interface to the smartphone. The speed of human movement is identified by post-processing FFT.

▶ Keyword : Low power consumption, Doppler radar, Motion detector, Arduino

## I. Introduction

인체의 동작을 감지하는 센서로서 PIR (Passive Infra Red) 센서, 초음파 센서, 그리고 마이크로파 센서 등을 사용한다. PIR 센서는 저가격으로서 현재 가장 많이 사용되고 있으나 감지기가 열 및 빛에 민감하다. 온도 15-20 °C 사이에서 최적으로 동작하지만 그 범위를 벗어나면 감지 범위가 너무 좁거나 넓어지는 단점이 있다. 또한 직접적인 햇빛에 의해 오작동을 많이 한다. 초음파 센서도 측정 거리가 짧아서 적용 예가 제한적이다. 따라서 최근 마이크로파를 이용한 인체 감지기의 개발과 응용이 점차 늘어나는 추세이다. 그러나 마이크로파를 이용한 감지기는 열 및 빛에는 영향이 없으나 소비전력이 큰 단점이 있다. 또한 다른 센서들과 마찬가지로 사람과 동물의 구별을 할 수 없다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 PIR 센서와 마이크로파 레이더 센서를 혼합하여 인체의 움직임 감지에 대한 성능을 높이는 사례도 있다 [1].

마이크로파 레이더 센서는 도플러 효과를 이용하는데 동작 주파수는 5.8 GHz (C-band) [2], 10.525 GHz (X-band) [3], 24 GHz (K-band) [4]를 많이 사용하지만 MIT의 교육용 레이더처럼 2.4 GHz (S-band)를 사용하는 예도 있다 [5]. 연속파 (Continuous Wave, CW) 레이더는 펄스 (Pulse Wave, PW) 레이더에 비해 저가격 및 소형으로 구현하기 쉽지만 물체의 속도만을 알 수 있다. 반면에 PW 레이더는 물체의 거리도 알 수 있다. 또한 고정된 주파수의 정현파만으로는 물체의 거리를 측정할 수 없으므로 주파수 변조를 하여 거리 측정을 하는데 이것을 FMCW (Frequency Modulation Continuous Wave) 레이더라고 한다 [4].

실험실에서 많이 사용되는 저가격의 Parallax PIR 센서의 소비전류는 물체감지시 5 V에서 3 mA를 보인다 [6].

그러나 본 논문에서 사용하려는 소형 마이크로파 도플러 레이더 센서 HB100 [7]은 5 V에서 30 mA를 소비하여 약 10 배 소비전류가 크다. 감지성능이 우수한 도플러 레이더 센서를 대규모로 구성하여 방법 및 보안에 응용하는 배터리

• First Author: Surg-Won Sohn

\*Surg-Won Sohn(sohn@hoseo.edu), Div. of Computer and Information Engineering, Hoseo University

• Received: 2015. 06. 29, Revised: 2015. 07. 14, Accepted: 2015. 07. 20.

※This research was supported by the Academic Research fund of Hoseo University in 2013 (2013-0331)

동작의 무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Network)를 만들 때에는 데이터를 무선 전송하여야 하므로 소비전류가 중요하게 된다. PIR 인체 감지기의 단점을 극복하는 저소비전력 마이크로파 인체감지기를 설계하고 구현하는 것을 본 논문의 첫 번째 목표로 한다. 즉, 빛과 열에 의해서 오작동이 최소화된 인체감지기를 구현한다.

두 번째 설계 목표는 실시간 인체감지기의 사용자 인터페이스 (User Interface)로서 스마트 폰을 이용하는 것이다. 이를 위해서 안드로이드 앱을 구현하여 감지 신호의 실시간 디스플레이를 시도한다. 세 번째 설계 목표는 감지 신호를 스마트 폰에 저장시키는 기능인데 이것은 후처리 (post-processing)를 위함이다. 후처리 기능 중에서 중요한 것은 도플러 레이더 센서의 시간에 따른 도플러 출력을 FFT (Fast Fourier Transform) 신호 처리하여 주파수 도메인의 값으로 변환시키는 것이다. 이렇게 함으로써 움직이는 물체의 이동 속도를 측정할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 설계 목표에 부합하는 인체 감지를 위한 저전력 마이크로파 도플러 레이더 시스템을 설계하고 구현한다.

이러한 목표를 달성하기 위해서 X-band 도플러 레이더와 이를 제어하는 제어보드를 설계한다. 제어보드는 Arduino 보드와 호환성을 가지는 ATmega2560 MCU를 이용하여 회로를 설계한다. 도플러 레이더에 펄스 전압을 인가함으로써 발생하는 출력전압의 불안정성을 보정하기 위해서 Sample & Hold 회로를 추가하고 이것 때문에 발생하는 잡음을 제거하기 위해 다시 저역통과 필터를 추가한다. 도플러 레이더의 출력 신호는 매우 미약하기 때문에 다시 OP Amp 회로를 추가하여 신호를 증폭시킨다.

## II. Principle of CW Doppler Radar

CW 도플러 레이더 (Doppler Radar)는 도플러 효과를 이용하여 물체의 움직임 속도를 측정하는데 사용된다. PW 레이더와 달리 안테나에서 연속 신호를 방사한다. 임의의 물체가 레이더가 있는 곳으로 이동하고, 이 때 물체의 이동속도를 양의 값으로 가정한다면 레이더의 수신 주파수는 송신 주파수에 비하여 높은 주파수로 변하게 된다. 이것을 도플러 효과라고 한다. 이 때 물체의 움직임 방향이 레이더와 평행하지 않고  $\theta$  만큼의 각도를 이룬다면  $\cos\theta$ 만큼 주파수 값이 변한다. 즉,  $\cos\theta$ 는 1보다 클 수 없으므로 그만큼 주파수는 낮아지게 된다. 레이더가 정지해있고 물체가 움직이는 속도를  $v$ 라고 하면 수신 주파수  $f_r$ 은 식 (1)과 같이 송신 주파수  $f_t$ 의 함수로 표현된다. 여기서  $c$ 는 빛의 속도이다.

$$f_r = f_t \left( \frac{c+v}{c-v} \right) \cos\theta \quad (1)$$

이 때 물체가 레이더를 향하여 방사방향으로 움직인다면(radial movement,  $\theta = 0$ ) 주파수 편차  $f_d$ 는 다음 식 (2)로 표현된다.

$$f_d = f_r - f_t = f_t \left( \frac{2v}{c-v} \right) \quad (2)$$

$c \gg v$ 이므로  $(c-v) \approx c$ 이다. 따라서 물체의 시선 속도 (Radial Velocity)  $v$ 는 식 (3)으로 표현된다.

$$v \approx \frac{\lambda_t}{2} f_d \quad (3)$$

식 (3)에서  $\lambda_t = c/f_t$ 이다. 즉 도플러 주파수  $f_d$ 를 측정하면 물체의 움직임 속도를 알 수 있다. 움직임 속도의 해상도는  $\lambda_t/2$ 로 일정하다.  $f_t$ 가 10.525 GHz (X-band)일 때  $\lambda_t$ 는 2.85 cm가 된다. 또한  $f_d$  (Hz)와  $v$  (km/h)의 관계는 식 (4)로 간단히 표현된다.

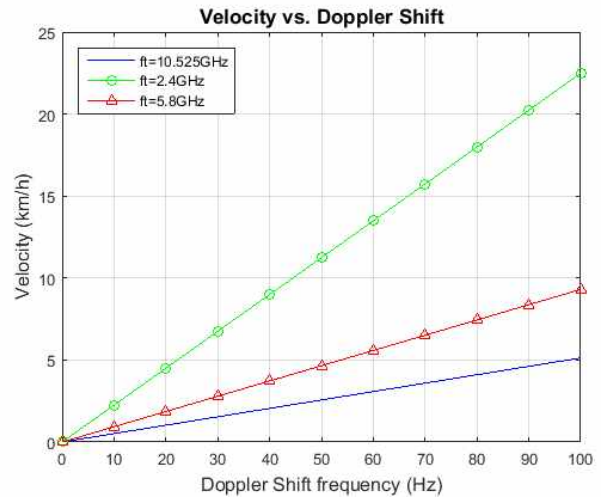


Fig. 1. Velocity vs. Doppler Shift

$$f_d = 19.49 v \quad (4)$$

도플러 레이더의 송신 주파수별로 물체의 속도와 도플러 천이 주파수 (Doppler Shift)와의 관계를 Fig. 1에 나타낸다. 물체의 움직임 속도에 대하여 레이더의 송신 주파수가 높을수록 도플러 천이 주파수가 높게 나타난다.

### III. Design and Implementation of Motion Detector

인체 감지기 시스템은 움직이는 물체를 감지하는 CW 도플러 레이더 센서, 신호 처리를 담당하는 MCU 모듈, 데이터를 무선 전송하는 통신모듈, 그리고 사용자 인터페이스 (User Interface)로서 스마트 폰으로 구성된다. 송신 주파수가 고정되어 있는 단순한 형태의 저가형 CW 레이더는 도플러 효과에 의해 물체의 속도는 측정 가능하지만 감지 거리는 알 수 없다. 따라서 국방 및 기상용 레이더는 신호를 주파수 변조(Frequency Modulation)하는 FMCW 레이더를 사용하기도 한다. 그러나 본 설계에서는 거리를 측정하지 않고 회로를 단순화하기 위하여 무변조 CW 레이더를 사용한다. Fig. 2에 인체감지기의 전체 구성도를 나타낸다.

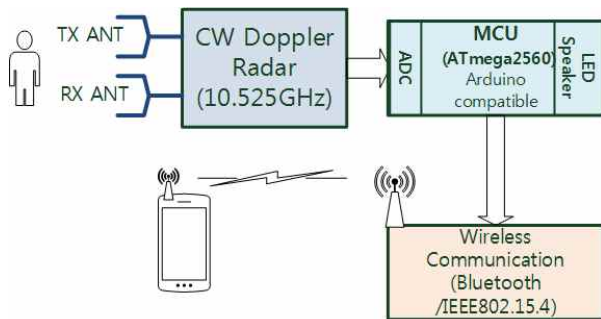


Fig. 2. Overview of Motion Detector Using Doppler Radar

#### 1. CW Doppler Radar

CW 도플러 레이더는 10.525 GHz (X-band) 대역에서 저가로 많이 사용되는 모델 HB100을 사용한다. 이것은 주파수 발진기로 FMCW 레이더에서 많이 사용되는 VCO (Voltage Controlled Oscillator) [8]를 사용하지 않고 가볍고 제작하기 쉬운 절연체 공진 발진기인 DRO (Dielectric Resonator Oscillator) [9]를 사용한다. HB100 레이더 센서의 입력전압은 연속 모드와 펄스 모드의 두 가지 모드를 지원한다. 연속 모드에서는 5V 전압을 연속적으로 인가하는 경우인데 이 때 규격서 (Datasheet) 상의 소비전력은 전형적인 (Typical) 경우에 30 mA이다.

따라서 이 소비전력을 낮추기 위해서 입력 전압을 펄스 전압으로 인가하고 대신에 출력 신호가 불완전하게 나오므로 Sample & Hold 회로를 추가한다. 또한 펄스 입력에 의한 노이즈가 발생하는데 이를 제거하기 위해 저역 통과필터 (Low Pass Filter)를 OP Amp 전단에 위치하게 한다. 펄스 입력 모드 경우에는 4% 듀티비 (Duty cycle)의 2 KHz 구형파 전압을 사용한다. MCU의 PWM (Pulse Width Modulation) 생성기능을 이용하여 구형파를 발생하며 5 V의 연속과 전압을 펄스

폭이 20  $\mu$ sec인 구형파 전압으로 변환하여 인가하게 되는데 이 때 레이더 센서의 소비전력은 13.1mA로 급격히 줄게 된다. 도플러 주파수 측정에도 이상 없이 잘 동작한다. HB100 CW 도플러 레이더의 상세 규격은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of CW Doppler Radar (HB100)

Parameters	Values and Units
Supply Voltage	5 V
Current Consumption (CW mode)	30 mA typical
Current Consumption (Pulse, 2KHz, 4% duty cycle)	13.1 mA
Radiation Power	15 dBm (EIRP)
Received Signal Strength (RSS)	200 $\mu V_{p-p}$
Pulse repetition Frequency (PRF)	2 KHz
Pulse Width	20 $\mu$ sec
Operating Frequency	10.525 GHz (X-band)

HB100 CW 도플러 레이더의 발진기 신호는 증폭되어 송신 안테나에서 방사되는 반면 일부는 수신 신호와 믹서(Mixer)에서 혼합되어 그 주파수 차가 IF로 출력된다. HB100 도플러 레이더의 내부 회로 블록도는 Fig. 3과 같다.

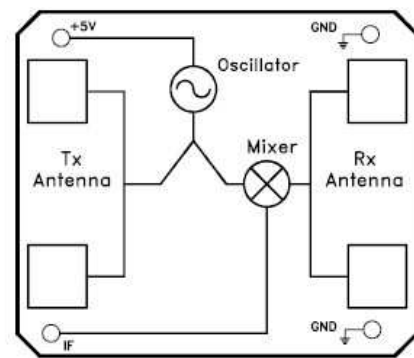


Fig. 3. Block Diagram of CW Doppler Radar

HB100 도플러 레이더 센서의 입력 전압은 펄스 모드로 동작시키기 위해서 Fig. 4에서처럼 2 KHz 주기의 구형 펄스를 사용한다. 펄스 반복 주파수 (Pulse Repetition Frequency, PRF)가 2 KHz이므로 그의 역인 펄스 반복 주기 (Pulse Repetition Interval, PRI)는 시간 축으로 500  $\mu$ sec 이다. 4% 듀티 (duty)비의 펄스 모드로 동작하므로 입력 펄스 폭은 500  $\mu$ sec \* (4/100) = 20  $\mu$ sec가 된다.

## 2. Micro Controller Unit

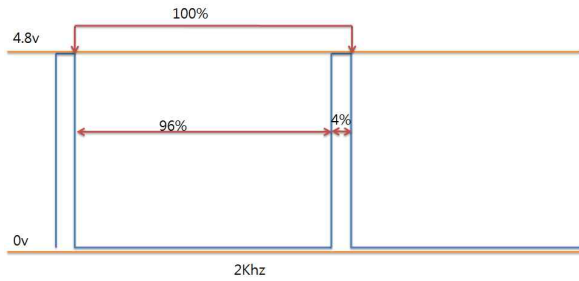


Fig. 4 Pulse Repetition Interval and 4% Duty Cycle

도플러 레이더 센서의 출력 신호 IF는 레이더의 송신 신호와 수신 신호의 주파수 차이에 대한 신호이다. 이 IF 출력신호는 전압이 수십~수백  $\mu\text{V}$ 로 미약하고 노이즈가 심하여 외부 회로의 저역 통과필터를 사용하여 고주파 노이즈를 없애고 OP Amp로 크기를 증폭한다. Fig. 5는 도플러 레이더 센서 모듈과 이를 구동시키는 전력계통의 회로도이다. 이 센서로부터 출력되는 IF 신호를 증폭시키는 회로도를 함께 나타낸다. ATmega2560에서 생성된 2 KHz, 4% 듀티의 펄스 신호는 PB5\_GEN에 입력된 후 TR Q6 (PMBT2907A)에서 전류 증폭된다. 실제 PB5\_GEN 신호는 ATmega2560 PB5 (24번 핀)에서 발생하는 구형파이지만 Arduino 핀으로 매핑하면 Arduino의 디지털 핀 11번이 된다. 이것은 TR Q6에 의해 반전되므로 실제 펄스는 네거티브 펄스를 입력해준다.

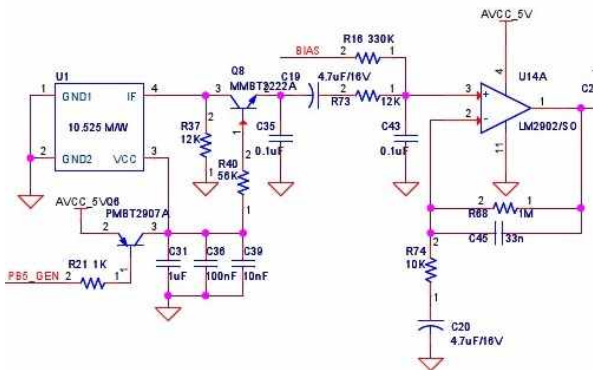


Fig. 5. Schematic Diagram of the Front End of Motion Detector

```
int PWM_GEN=11;
int ICR_Val = 4000;           // frequency 2Khz
void setup() {
    TCCR1A = 1<<COM1A1|1<<COM1A0|1<<COM1B1|1<<COM1B0;
    TCCR1B = 1<<WGM13 | 0<<CS12 | 0<<CS11 | 1<<CS10;
    ICR1 = ICR_Val;
    OCR1A = ICR_Val*0.04;     // duty 4%
    pinMode(PWM_GEN, OUTPUT);
}
void loop() {
    analogRead(A0);
}
```

Fig. 6. Pulse Generation Using MCU Registers

Fig. 6는 MCU 레지스터를 이용하여 PWM 펄스를 생성하는 Arduino sketch 코드인데 레지스터를 이용하므로 내용적으로는 AVR Studio와 C 언어를 이용하는 전통적 방법과 크게 차이가 없다. 16 bit Timer/Counter 1번을 사용하고 TCCR1B와 TCCR1A 레지스터에 있는 WGM13, WGM12, WGM11, WGM10 비트 값을 1,0,0,0을 사용함으로써 위상-주파수 정정 (Phase and Frequency Correction) PWM 모드를 사용한다. Prescale은 CS12, CS11, CS10에 의해 결정되는데 코드에서 001으로 지정하기 때문에 Prescale은 1이 된다. 또한 위상-주파수 정정 PWM 모드의 주기는 식 (5)로 나타내진다.

$$T = \frac{2 \times ICR1 \times Prescale}{f_{clk}} \quad (5)$$

ICR1 레지스터에 계수기의 최댓값 4,000을 주고  $f_{clk}$ 는 MCU의 클럭(Clock) 주파수로서 16 MHz이므로 주기는  $2 \times 4,000 \times 1 / 16,000,000$ 이 되어 500  $\mu\text{sec}$ 가 된다. 즉, 2 KHz의 파형이다. 듀티비는 OCR1A 레지스터 값으로 결정한다.  $OCR1A = ICR1 \times 0.04$  값을 주어서 회로에서 반전된 4% 듀티 신호를 발생하게 한다. 이렇게 해서 MCU PB5 핀에서 생성된

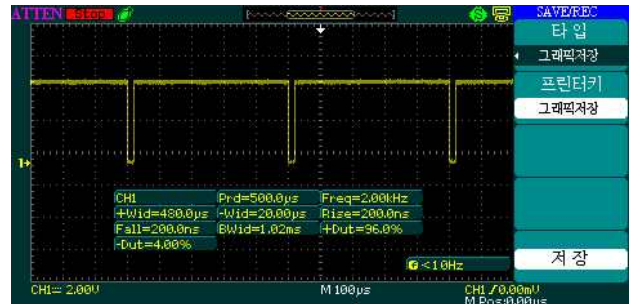


Fig. 7. Oscilloscope Display of 2 KHz Pulse

네거티브 펄스는 오실로스코프로 측정하면 Fig. 7과 같이 보이며 TR Q6 회로의 Base (PB5\_GEN)에 5V 96%로 입력된다. 이 때 TR Q6의 Collector (VCC)는 5V 값이 4%만 나오게 된다.

Arduino 코딩 방식을 사용하면 Fig. 6의 방법보다 펄스를 쉽게 생성할 수 있다. Fig. 8에 나타나 있듯이 480  $\mu\text{sec}$  동안에는 HIGH 값이 출력되고 20  $\mu\text{sec}$  동안에는 LOW 값이 출력된다. 그러나 이 방법은 큰 단점을 갖고 있는데 MCU에서 인터럽트가 발생하면 계산 지연으로 인하여 파형의 주기가 변하게 된다.

```
#define PWM 11
void setup() {
    pinMode(PWM,OUTPUT);
}
void loop() {
}
```

```
digitalWrite(PWM,HIGH);
delayMicroseconds(480);
digitalWrite(PWM,LOW);
delayMicroseconds(20);
}
```

Fig. 8. Pulse Generation Using Arduino Method

레이더 센서의 출력 신호 IF는 완전한 연속신호가 아니므로 TR Q8을 사용한 Sample & Hold 회로를 거쳐서 연속신호로 바꾼다. 이 신호는 고주파의 노이즈를 포함하므로 R73(12 k $\Omega$ )과 C43(0.1  $\mu$ F)에 의해 구성되는 저역 통과필터에 의해 고주파 성분의 노이즈를 제거시킨다. 저역 통과필터의 컷오프(Cutoff) 주파수는 식 (6)에 의해서 계산되며 본 회로에서는 132 Hz이다. 즉, 식 (4)와 연관 지어 생각하면 움직이는 물체의 속도가 6.7 km/h 이상이면 감지할 수가 없다. 저역 통과필터를 거친 신호는 미약하므로 OP Amp U14A (LM2902)를 이용하여 미약 신호를 증폭시킨다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (6)$$

Arduino 보드는 회로도도 공개되어 있어서 이와 호환성을 가지는 프로세싱 보드를 쉽게 제작할 수 있으며 본 논문에서는 보드의 MCU로서 ATmega2560을 사용하였다. OP Amp로 증폭된 IF 신호 전압은 MCU의 ADC에 의해 디지털 신호로 변환된다. 물체가 움직일 때 전압 값은 약 3.8V까지 변화하는데 이를 식 (7)과 같이 디지털 신호 값 ( $ADC_{Value}$ )으로 변환한다.

$$ADC_{Value} = Voltage \times \frac{1023}{5} \quad (7)$$

ADC 최솟값은 0 V일 때 0이고, 최댓값은 3.8 V 일 때  $3.8 * 1023/5 = 777$ 이며 중앙값은  $1.9 * 1024/5 = 388$ 이다. 근거리에서 물체가 움직일 때는 출력 값이 중앙값으로부터 큰 폭으로 변화하고 원거리에서 물체가 움직이는 경우에는 그 변화 폭이 작다. 변환된 디지털 신호는 Bluetooth 통신을 이용하여 스마트폰으로 전송된다. 스마트폰에서는 디지털 신호를 수신하여 실시간으로 디스플레이한다. 이 데이터는 후처리FFT를 위해서 SQLite DB에 저장된다.

ATmega2560 MCU 개발 환경은 크게 AVR Studio를 이용하여 C 언어로 개발하는 방법과 Arduino 부트로더(Bootloader)를 MCU에 임베디드하고 Arduino IDE를 이용하여 Sketch 언어로 프로그래밍하는 방법이 있다. 본 개발에서는 단 시간에 코딩할 수 있는 Arduino sketch 방법을 이용한다. Arduino API는 크게 Core 부분과 Library 부분으로 나뉘어진다. Core는 자동으로 호출되며 Library는 헤더파일에 include 키워드로 지정했을 때 호출된다. Arduino sketch 방법은 기본적으로 C++로 작성된 Library를 이용하는 것이다. 이 C++ Library는 Open source code로 작성되어 있어서 쉽게 사용할

수 있다.

설계된 보드는 Open source hardware 개념을 도입하여 Arduino Pin Mapping을 따랐기 때문에 기존의 Arduino 보드에서 동작하는 소프트웨어는 Pin Mapping만 맞게 적용하면 소프트웨어적으로 호환이 가능하다. 도플러 레이더 센서, MCU, Bluetooth 통신 모듈을 하나의 보드에 설계하여 크기를 줄였다. ATmega2560 MCU는 물리적 핀이 100개이고 Arduino 핀은 개념적으로 설계되어 있어서 서로 핀 매칭을 하는 Pin Mapping Table이 필요하다. 개발자는 이 핀 매핑 테이블을 참고하여 코딩을 하며 물리적 하드웨어에 독립적으로 코딩이 가능하게 된다.

기존의 AVR Studio를 이용한 개발에서는 소스 코드를 컴파일하여 생성된 실행코드를 AVR ISP 프로그래머와 같은 도구를 이용하여 임베디드화 했다. 그러나 Arduino IDE 환경에서는 Arduino 부트로더를 설치한 후에는 ISP 프로그래머 없이 USB 케이블만을 이용하여 실행파일을 임베디드 할 수 있다. 그러나 처음에 부트로더를 설치할 때에는 AVR ISP 프로그래머가 필요하다. Arduino IDE는 현재 1.6.5가 공개되어 있으며 웹사이트 [10]에서 무료로 다운로드 받아서 설치할 수 있다.

### 3. Smartphone Interface

AD 변환된 IF 신호는 Bluetooth 인터페이스를 통해서 스마트폰으로 무선 전송된다. 스마트폰 응용 프로그램인 안드로이드 앱 (Android App)을 이용하여 수신된 데이터는 실시간 디스플레이를 제공하며 후처리(post-processing) 또는 기타 목적에 따라 데이터를 저장할 수 있다. 안드로이드 앱은 Java 언어로 작성되고 컴파일되어 Android Package를 뜻하는 APK 확장자로 만들어진다. App 컴포넌트는 Activities, Services, Content Providers, Broadcast Receivers로 구성된다. Activities는 사용자 인터페이스를 제공하지만 Services는 장시간 동작을 위해 Background로 동작하며 사용자 인터페이스는 제공하지 않는다. Content Providers는 SQLite 데이터베이스를 비롯한 App 데이터에 관한 것을 관장한다. Broadcast Receivers 컴포넌트는 시스템 전체에 방송하는 기능을 담당한다. 실시간 디스플레이를 위해서 TeeChart Java graphic library [11]를 사용하였다.

## IV. Experiments

본 논문에서는 ATmega2560 MCU를 기본 프로세서로 하는 Arduino 호환 보드를 설계하고 CW 도플러 레이더 센서 모듈과 그에 따른 전류 증폭회로, Sample & Hold 회로, 저역 통과필터, 그리고 OP Amp등의 회로를 추가하였다. 또한 무선통신 모듈로서 Bluetooth와 IEEE 802.15.4 프로토콜 인터페이스 모듈을 추가함으로써 기본적인 하드웨어를 구현하였다. 여기에



가속도 센서, 스피커, LED 등을 추가하여 인체 감지에 도움이 되는 회로를 추가하였다. 본 논문에서 개발된 배터리로 동작하는 인체감지기를 Fig. 9에 보인다.

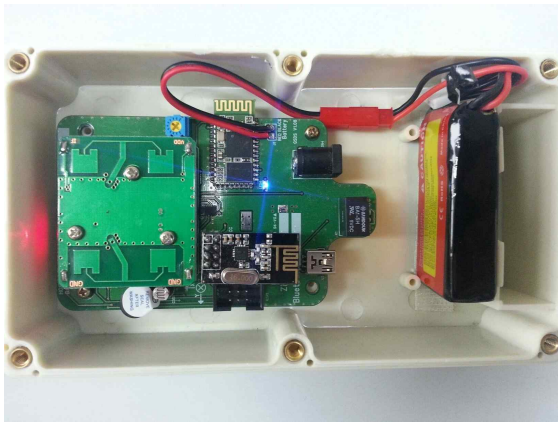


Fig. 9. Overview of Microwave Motion Detector

MCU의 PF0 핀의 입력은 IF 신호가 OP Amp로 증폭된 신호로서 ADC로 들어가는 신호이다. Fig. 10은 물체를 감지하지 못한 경우의 PF0 핀에서의 파형인데 출력전압이 1.9 V를 유지한다. Fig. 11은 물체를 50 cm 이하의 근접 거리에서 감지한 경우의 PF0에서의 파형이고 0 V와 3.8 V 사이에서 파형이 움직인다. Fig. 12는 물체를 5 m 정도의 거리에서 감지한 경우의 PF0 파형인데 기준 전압 1.9 V를 기준으로 위아래로 전압이 약간 변동됨을 나타낸다.

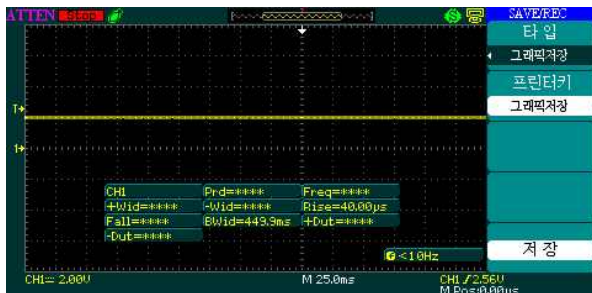


Fig. 10. Oscilloscope Display in case of No Motion

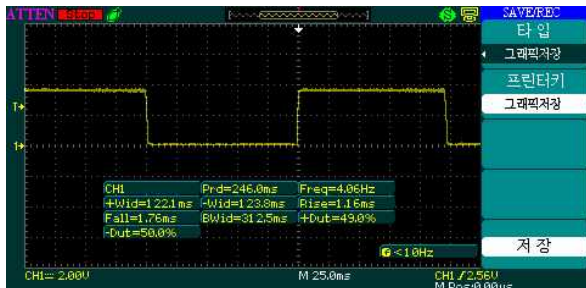


Fig. 11. Oscilloscope Display in case of Detection at 50cm Distance

PF0 신호를 AD 변환 후에 Bluetooth 인터페이스를 통하여 스마트폰으로 송신한다. 스마트폰에서 개발된 안드로이드 앱을 이용하여 수신한 후에 사람의 움직임에 따른 디지털 신호의 변화를 실시간으로 디스플레이한다. 최대 감지거리는 장소에 따라 다르게 측정되었다. 그 이유는 마이크로파의 반사로 인한 다중경로(Multipath) 현상 때문일 것으로 추측된다. 최대 감지거리는 복도에서 17m, 강의실에서는 10m, 야외에서는 8m로 측정되었다.

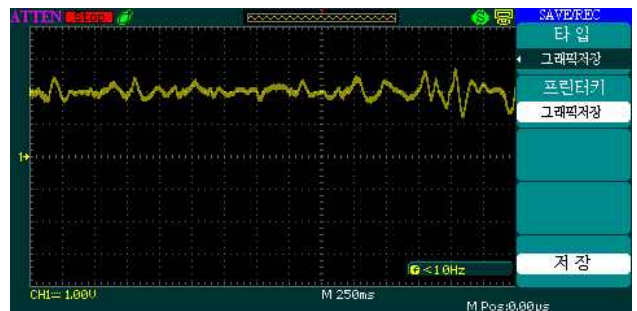


Fig. 12. Oscilloscope Display in case of Detection at 5m Distance

Fig. 13은 스마트폰에서 사람의 움직임에 대한 도플러 레이더의 출력 값을 실시간으로 보여주는 화면이다. 2 m 거리에서 움직이는 사람을 측정할 것이며 X 축은 시간 축이고 Y 축은 MCU의 PF0 전압을 AD 변환한 디지털 값이다. 총 2,000개의 데이터를 표시한 것으로서 측정 시간은 총 7.4 sec 였다. 따라서 데이터 간격은 3.7 msec이고 데이터 샘플링은 270 Hz이다. 이것을 가지고서는 사람의 움직임은 확인할 수 있으나 동물의 움직임과의 차이는 알 수는 없다.

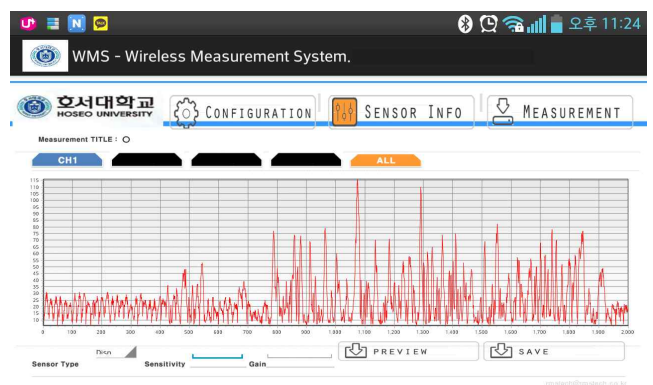


Fig. 13. Smartphone Display of IIF Signal of Human Motion at 2m Distance

식 (4)에서 알 수 있듯이 도플러 주파수가 19.49 Hz일 때 물체는 1 km/h의 속도로 움직임을 알 수 있다. 따라서 사람 움직임의 도플러 주파수를 알기 위해서 IF 출력 신호를 후처리(Post-processing) 작업으로 FFT (Fast Fourier Transform)를 수행하여 전력밀도함수 (Power Spectral Density)를 구하였다. Fig. 14는 2 m 거리에서 사람이 움직이는 것을 FFT

변환한 것이며 FFT는 Sigview 소프트웨어 [13]를 이용하여 윈도우즈 호스트 PC에서 계산하였다. IF 신호가 주로 20 Hz 이내에 분포한 것으로 보아 사람 움직임의 속도가 1 km/h 이하의 저속으로 움직였음을 알 수 있다.

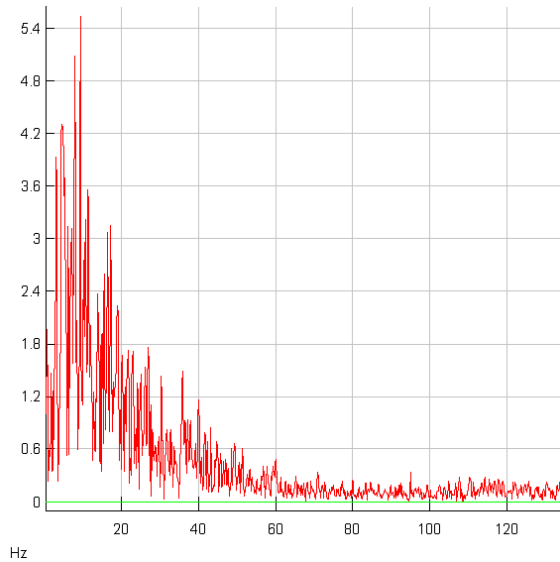


Fig. 14. FFT of IF Signal of Human Motion at 2m Distance

## V. Conclusions

본 논문에서는 ATmega2560 MCU를 기본 프로세서로 하는 Arduino 호환 보드에 CW 도플러 레이더 센서와 그에 따른 전류 증폭회로, Sample & Hold 회로, 저역 통과필터, 그리고 OP Amp 등의 회로와 무선통신 모듈로서 Bluetooth 인터페이스 모듈을 추가함으로써 인체감지기 하드웨어를 설계 및 구현하고자 소비전력을 구현하기 위해서 2 KHz, 4% 듀티비의 펄스 전압을 인체감지기의 입력으로 사용하였다. 이렇게 함으로써 소비전류가 30mA인 것을 13.1mA로 줄일 수 있었다. 그러나 회로에서 필요 없는 Sample & Hold 회로가 첨가되었다. 스마트폰으로 인체감지기의 출력 신호를 수신하기 위해서 안드로이드 앱을 개발하고 사람의 움직임에 따른 디지털 신호의 변화를 실시간 그래프로 나타내었다. 추후 연구를 통하여 후처리 작업이 아닌 실시간 FFT를 구현하여 실시간 움직임의 속도측정이 가능하도록 하는 것이 필요하다.

## REFERENCES

- [1] Digital Security Controls, <http://www.dsc.com>
- [2] Bumblebee Radar, <http://samraksh.com>
- [3] M. Otero, "Application of a continuous wave radar for human gait recognition," Defense and Security. International Society for Optics and Photonics, 2005.
- [4] V. Skvortsov, K.M. Lee, and S.E. Yang, "Inexpensive radar-based surveillance: Experimental study," In Emerging Technologies for a Smarter World (CEWIT), 2012 9th International Conference & Expo on, pp. 1-6. IEEE, 2012.
- [5] QM RDKIT Radar, <http://www.quonsetmicrowave.com>
- [6] Parallax PIR Sensor datasheet, <https://www.parallax.com/sites/default/files/downloads/555-28027-PIR-Sensor-Prodcut-Doc-v2.2.pdf>
- [7] Microwave motion sensor module HB100 datasheet, [http://www.limpkin.fr/public/HB100/HB100\\_Microwave\\_Sensor\\_Module\\_Datasheet.pdf](http://www.limpkin.fr/public/HB100/HB100_Microwave_Sensor_Module_Datasheet.pdf)
- [8] W.S. Kim, Y.M. Jung and G.K. Kim, "Integrated Transceiver Module Development at Ka-Band," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 11, No. 5, pp. 267-272, Nov. 2006.
- [9] L. Kejia, R. Wu, X. Zhenghui and L. Weiming, "Design of X band low phase noise dielectric resonator oscillator," Microwave Technology & Computational Electromagnetics (ICMTCE), 2013 IEEE International Conference on, pp.188-192, Aug. 2013.
- [10] Arduino, <http://www.arduino.cc>
- [11] TeeChart Java for Android, <http://www.steema.com/teechart/mobile>
- [12] J.H. Lee and K.H. Kim, "A Study of Biosignal Analysis System for Sensibility Evaluation," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 15, No. 12, pp. 19-26, Dec. 2010.
- [13] Sigview software, <http://www.sigview.com>

### Authors



Surg-Won Sohn is a professor in the Division of Computer and Information Engineering at the Hoseo University. His current research interests include Wireless Sensor Networks, Mobile Computing, Radio Resource Management, and Constraint Optimization.

Professor Sohn received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees all from Inha University, Korea.