

## 단일 IF 방식 CW 레이더 센서의 방향 검출 알고리즘

한병훈 · 신현준 · 오창현\*

### Algorithm for Detecting Direction of Single IF Scheme CW Radar Sensor

Byung-Hun Han · Hyun-Jun Shin · Chang-Heon Oh\*

Department of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education, Cheonan 31253, Korea

#### 요 약

CW 레이더 센서는 IF 출력 방식에 따라 단일 IF 방식과 이중 IF 방식이 있다. 움직이는 물체의 방향을 검출하기 위해서는 이중 IF 방식을 사용한다. 하지만 이중 IF 방식은 단일 IF 방식에 비해 회로가 복잡하며 부품 추가로 인해 가격이 높아진다. 본 논문에서는 단일 IF 방식 CW 레이더 센서에서 움직이는 물체의 방향을 검출할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 물체가 움직일 때 발생하는 IF 출력단의 신호를 FFT를 수행하고 진폭의 변화에 따라 접근/정지/이탈을 판단한다. 알고리즘의 검증을 위해 함수발생기를 사용하여 가상의 신호를 발생시키고 신호의 진폭 변화에 따라서 방향을 정확하게 판단하는 것을 확인하였다.

#### ABSTRACT

CW Radar Sensors can be categorized into Single and Dual by its IF output type. Dual IF type is used for detecting the direction of moving objects. However, Dual IF type has more complicated circuitry than Single IF type and higher cost due to more parts required. In this paper, we propose an algorithm for Single IF type CW radar sensors to detect the direction of moving objects. It performs FFT on signals created at IF output when an object moves and determines approach, stop and recede according to amplitude variations. In order to verify the algorithm, a function generator is used to create a virtual signal and confirmed that it accurately detects the directions according to amplitude variations.

**키워드** : 방향 검출, 레이더 센서, 물체 감지, 단일 IF 출력

**Key word** : Detecting direction, Radar sensor, Object detection, Single IF output

Received 10 August 2015, Revised 10 September 2015, Accepted 24 September 2015

\* Corresponding Author Chang-Heon Oh(E-mail:choh@koreatech.ac.kr, Tel:+82-41-560-1187)

Department of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education, Cheonan 31253, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.12.2905>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

센서는 어떠한 환경에서 일어날 수 있는 변화를 측정하고 판독하여 변화량이나 상태정보를 신호로 출력하는 검출기이다. 측정 대상으로는 온도, 습도, 압력과 같은 물리적인 변화뿐만 아니라 이온, 가스 등의 화학적 변화도 포함하며, 이러한 센서들은 정보처리 및 통신기술의 발전과 함께 기록, 저장, 전송 과정을 수행할 수 있는 스마트센서로 발전하고 있다[1,2].

레이더는 전파를 송출하여 상대 표적에 반사되어 돌아오는 신호를 파악함으로써 표적의 거리, 움직이는 방향, 속도를 알아내는 용도로 개발되었으며 현재는 항공, 선박뿐만 아니라 산업현장, 자동차, 의료분야 등에서도 널리 사용되고 있다[3,4].

자동차나 보안, 감시 영역에서 사용되는 인체감지용 센서는 초음파 센서나 적외선 센서가 많이 사용된다. 초음파의 경우 공기를 매질로 하여 전달되는 음파의 특성을 갖고 있어 바람이 불거나 장애물이 있을 경우 정확한 측정을 할 수 없다. 적외선은 주변 온도나 측정 대상의 온도 변화에 민감하여 온도 변화가 심한 장소나 실외에서 사용할 경우 오검출을 일으킬 수 있다. 반면 전파를 사용하는 레이더는 초음파나 적외선에 비해 환경 변화에 둔감하다는 장점이 있다[5,6].

레이더는 수행할 수 있는 기능, 사용 환경에 따라서 여러 가지 방식이 있다. 많은 기능과 고정밀, 장거리 탐지를 목적으로 개발된 레이더는 고가이다. 하지만 초음파, 적외선 센서를 대체하기 위해 개발된 레이더는 비교적 저가이지만 기능이 제한적이다. CW 도플러 레이더는 기본적으로 속도를 알 수 있지만 움직이는 방향을 알기 위해서는 추가적인 회로가 필요하여 가격이 상승한다.

본 논문에서는 하드웨어적으로 물체의 움직이는 방향을 검출하는 기존의 레이더 센서의 가격을 낮출 수 있는 방향 검출 알고리즘을 제안한다.

## II. 레이더 센서

### 2.1. 레이더의 분류

레이더는 반송파를 송출하여 표적에 반사되어 돌아오는 신호를 파악함으로써 표적의 거리, 속도, 진행방

향 등을 감지할 수 있다. 기술적으로 pulse 도플러 방식과 CW(Continuous Wave) 도플러 방식으로 나뉜다. Pulse 도플러 방식은 짧은 시간 동안 강한 반송파를 출력하고 표적에 반사되어 돌아오는 신호 사이의 시간을 측정하여 표적의 거리, 속도, 진행방향을 확인한다. 하지만 순간 높은 전력을 출력할 수 있는 회로가 필요하며 레이더와 표적간의 거리가 짧을 경우 분해능이 좋지 않아 단거리 환경에서는 적합하지 않다. CW 도플러 출력방식은 전파를 지속적으로 출력하여 그 반사파를 측정하는 방식으로 표적의 속도, 진행방향은 알 수 있지만, 거리는 검출하지 못한다[7,8]. 이러한 단점에 의해 주파수를 변조하여 거리까지 감지할 수 있는 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 방식도 있다. 하지만 변조를 위한 회로가 추가되어 크기가 커지고 복잡해지며 가격이 상승한다.

### 2.2. 도플러 효과 및 CW 레이더 센서

CW 방식 레이더는 반송파를 송출하여 움직이는 물체의 속도와 움직이는 방향을 검출할 수 있다. 그림 1은 레이더 센서를 활용하는 대표적인 구성도이다. 레이더 센서는 송출된 반송파가 움직이는 물체에 반사가 되어 도플러 효과가 일어난 반사파를 수신한다. 이때 반송파 성분  $f_c$ 를 제거하고 순수 도플러 주파수  $f_d$ 만 검출하여 움직이는 물체의 속도와 접근/정지/이탈을 검출한다.

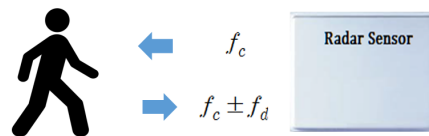


Fig. 1 Diagram of using CW radar sensor

도플러 주파수는 움직이는 물체의 상대속도에 따라 변하는데 센서에서 출력되는 도플러 주파수를 통해 식 (1)을 이용하여 물체의 움직이는 상대속도를 구할 수 있다.  $v_t$ 는 물체의 움직이는 속도,  $f_d$ 는 도플러 주파수,  $C$ 는 광속도,  $f_c$ 는 반송파이며 레이더와 물체 사이를 왕복하므로 두 배가 된다.

$$v_t = \frac{f_d \times C}{2 \times f_c} \quad (1)$$

### 2.3. CW 레이더 RF 모듈

CW 레이더 센서는 IF(Intermediate Frequency)출력 개수에 따라서 단일방식과 이중방식으로 나뉜다. 그림 2(a)는 단일방식이며 송신신호와 도플러 주파수가 포함된 수신신호를 혼합하고 출력한다. 회로는 단순하지만 물체가 접근/이탈 정보를 검출하지 못하며 도플러주파수에 따른 물체의 속도만 알 수 있다. 그림 2(b)는 이중 IF 방식이며 수신신호와 혼합될 송신신호를 본래 신호와 90도 위상천이 된 신호로 나눈다. 그 후 수신된 신호와 혼합하여 I와 Q로 출력한다.

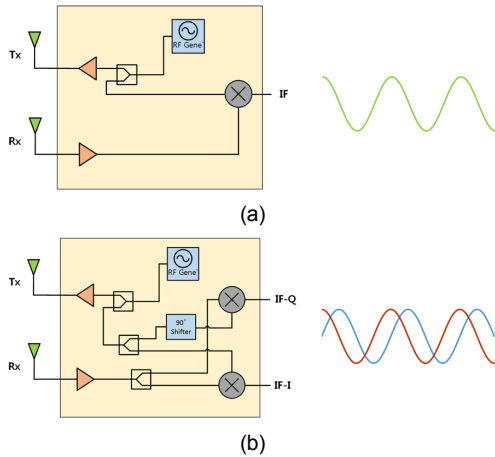


Fig. 2 RF module of CW radar sensor (a) Single IF type (b) Dual IF type

물체가 정지한 상태에서는 신호가 출력되지 않으며 물체의 움직임에 따라 IF는 정현파로 출력된다. 물체가 접근 할 때 I신호 보다 Q신호의 위상이 90도 앞서며 이탈 할 때는 90도 뒤에 있다. 즉 움직이는 물체는 도플러 효과에 의해 반송파 주파수의 변화를 일으키며 RF모듈에서 도플러 주파수를 IF출력단을 통해 출력한다. 도플러 주파수는 양의 주파수와 음의 주파수에 따라 이중 IF 방식 센서의 I신호를 기준으로 Q신호의 위상을 변화시킨다.

## III. 방향 검출 알고리즘

### 3.1. 기존 방향 검출 방법

이중 IF 방식 RF모듈에서 출력되는 신호는 방향검출

알고리즘을 사용하여 물체가 접근/정지/이탈을 판별한다. 기존 방향 검출 알고리즘은 그림 3과 같다[9].

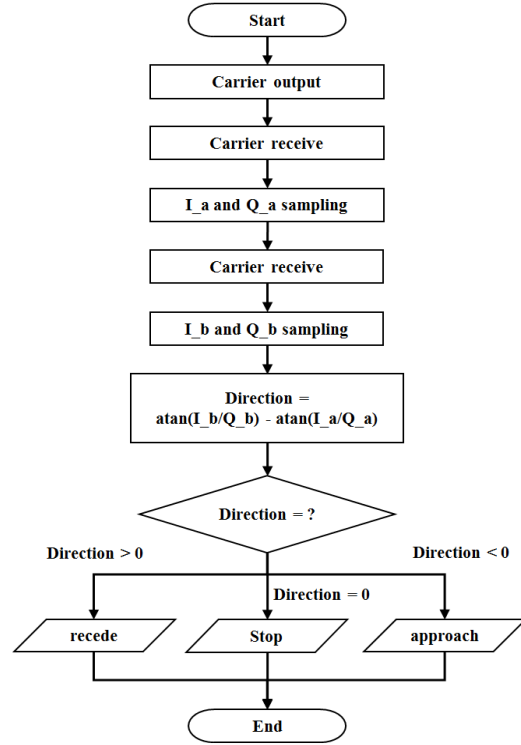
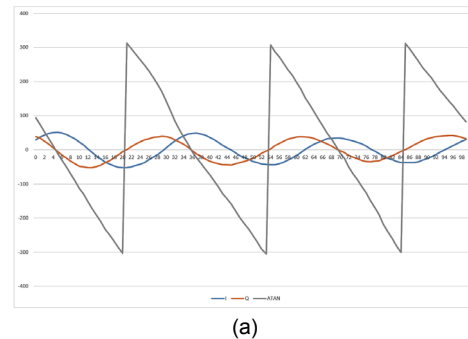


Fig. 3 Direction detection algorithm for dual IF output RF module

I와 Q위상의 현재의 값과 과거의 값을 샘플링 후 arctangent를 이용하여 위상의 변화를 구하면 접근일 때는 그림 4(a)와 같이 음으로 감소하며 이탈일 때는 그림 4(b)와 같이 양으로 증가한다.



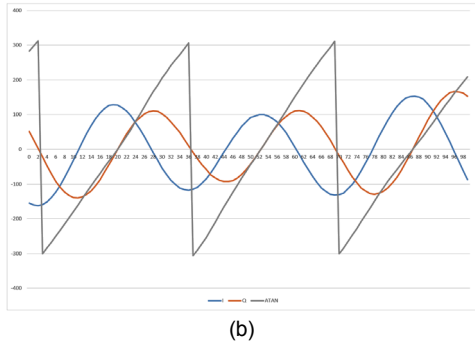


Fig. 4 I and Q output signal (a) Approach (b) Recede

### 3.2. 단일 IF 방식의 방향 검출 알고리즘

기존 방향을 검출하는 알고리즘은 이중 IF 방식 레이더 센서에서 판단하는 방법이다. 이 모듈은 Q신호를 생성하기 위한 회로가 추가되어 레이더 센서 전체의 가격이 상승하는 요인이 된다. 또한 I와 Q 신호간에 진폭 차이가 발생하여 방향 검출 알고리즘에 오류를 일으킬 가능성이 존재한다.

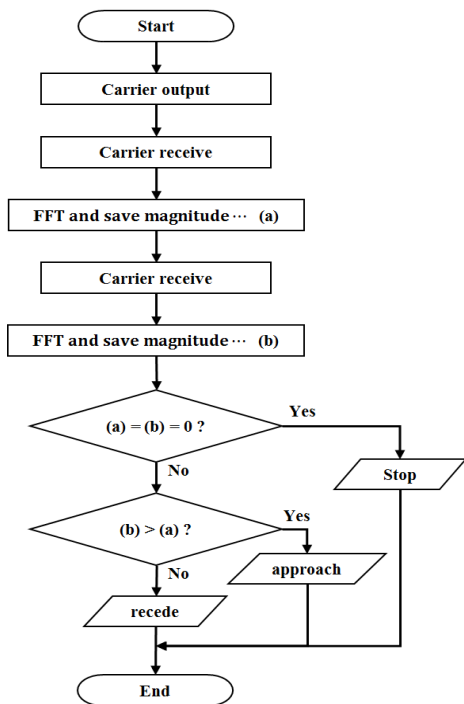


Fig. 5 Algorithm for Detecting Directions for single IF output RF module

CW 레이더 센서는 도플러 효과에 의해 변화하는 주파수만 검출할 수 있어 움직이는 물체에 대해서만 정현파를 출력하고 아무런 움직임이 없으면 출력되는 정현파가 없다. 이러한 특성은 물체가 센서에서 점점 멀어지면 정현파의 진폭은 작아지고 그 반대로 점점 가까워지면 정현파의 진폭은 커진다. 출력파를 FFT(Fast Fourier Transform)를 수행하여 주파수 영역에서 해석하면 물체의 움직임에 따라서 magnitude의 최고점이 항상 변하게 된다[10].

본 논문에서는 이러한 특성을 이용하여 단일 IF 방식 센서의 방향 검출 알고리즘을 제안한다. 그림 5는 제안하는 알고리즘으로서 IF출력단의 신호를 두 번의 FFT를 수행하여 진폭의 변화를 구한다. 이에 따라 물체의 접근/정지/이탈을 판단한다.

## IV. 실험 및 성능평가

### 4.1. 실험 환경

본 논문에서 제안하는 알고리즘에 성능을 검증하기 위해 그림 6과 같은 실험 환경을 구축한다. 물체의 움직임에 따라 변하는 출력파의 진폭 변화를 함수발생기를 이용하여 시뮬레이션하고 오실로스코프를 통해 신호를 확인한다. 함수발생기의 신호는 MCU(Micro Controller Unit)를 통해 샘플링 후 시리얼통신을 이용하여 알고리즘을 적용한 PC프로그램으로 전송한다. PC프로그램은 물체의 움직이는 방향에 따라서 화면에 표시한다.

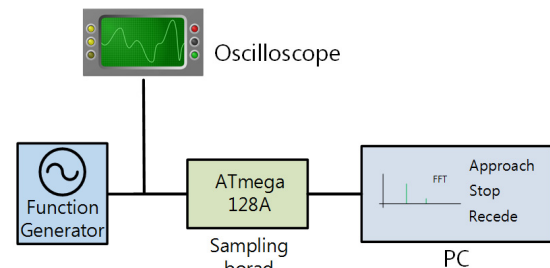


Fig. 6 Diagram of test bed

그림 7은 실제 실험 환경을 구성한 것이고 표 1은 실험 구성 환경에 관한 파라미터이다.

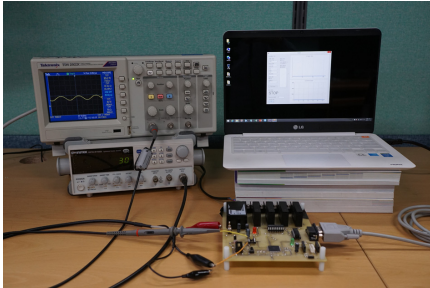


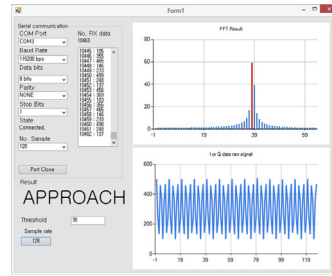
Fig. 7 Test bed

Table. 1 Parameters table

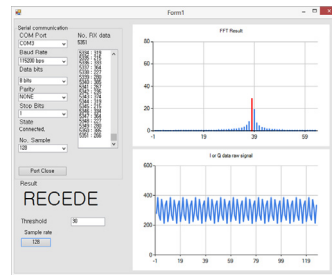
Parameters	Specification
Output Frequency	40Hz
Output range	0~5V
MCU	ATmega128A
Quantization level	1024
Communication	RS-232
Programming language	C#
Sampling frequency	100Hz
Sampling size	128

4.2. 성능 평가

함수 발생기에서 신호를 출력하지 않는 상황은 물체의 움직임이 없는 상황이며 그림 8(a)와 같이 알고리즘은 정지로 판단한다. 함수발생기에서 출력되는 신호의 진폭을 서서히 증가시켜 물체가 가까워지는 상황을 가정하였을 경우 그림 8(b)와 같이 접근으로 판단하고, 진폭을 서서히 감소시켜 물체가 멀어지는 상황을 가정하였을 경우 그림 8(c)와 같이 이탈로 판단한다. 본 실험을 통해 물체가 움직이는 상황에 따라 알고리즘이 정상적으로 판단하는 것을 확인 하였다.



(b)

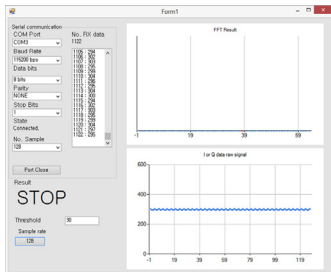


(c)

Fig. 8 Verification results of the algorithm (a) Stop (b) Approach (c) Recede

V. 결론

본 논문에서는 단일 IF 방식 레이더 센서의 방향 검출이 가능한 알고리즘을 제안하였다. CW 레이더 센서는 하드웨어적으로 움직이는 물체의 방향을 검출할 수 있는 이중 IF 출력 방식과 물체의 방향을 검출할 수 없는 단일 IF 출력 방식이 있다. 기존에는 물체의 속도와 움직이는 방향을 검출하기 위해서는 이중 IF 출력 방식의 센서를 사용하였다. 하지만 이중 IF 출력 방식은 하드웨어 회로가 추가되어 가격 상승의 요인일 뿐만 아니라 I신호와 Q신호의 진폭 차이가 발생할 경우 물체감지의 오차가 발생한다. 이러한 단점을 해결하고자 FFT를 수행하여 신호처리를 함으로써 기존 이중 IF 방식과 같이 물체의 움직이는 방향까지 검출 할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 알고리즘이 접근/정지/이탈 상황에서 정상 동작하는 것을 확인하였고 실제 제품 개발에 적용할 경우 기존 하드웨어적으로 검출하던 방식과 같은 결과를 얻으면서 저렴한 제품을 만들 수 있을 것으로 기대된다.



(a)

## REFERENCES

- [1] Y. M. Bea, "Technology Trends and Prospects of smart sensors," *The Magazine of Kiice*, vol. 13, no. 1, pp. 46-51, June. 2012.
- [2] Gary W. Hunter, Joseph R. Stetter, Peter J. Hesketh and Chung-Chiun Liu, "Smart Sensor Systems," *The Electrochemical Society Interface*, vol. 19, no. 4, pp. 29-34, Winter. 2012.
- [3] Merrill I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, McGraw-Hill, 2001.
- [4] Y. C. Kim, "A study on the Real-Time Velocity Measurement System for Doppler Radar," Ph. D. dissertation, Wonkwang University, Iksan, Jeonbuk, 2004.
- [5] G. D. Kim, "Safety Improvement of an Automatic Door System Using Ultrasonic Sensors," M. S. thesis, University of Seoul, Seoul, 2012.
- [6] J. W. Jin, "Temperature Compensation Method and Driving Circuit Implementation of Infrared Temperature Sensor," M. S. thesis, Kyung Hee University, Seoul, 2014.
- [7] radartutorial.eu [Internet]. Available: <http://www.radartutorial.eu/index.en.html>.
- [8] The Differences Between Pulse Radars and FMCW Ones [Internet]. Available: <http://www.slideshare.net/Nguynng11/fmcw-vs-pulse-radar>.
- [9] B. H. Han, and C. H. Oh, "Development of CW Doppler Sensor Signal Processing Board for Motion Detection," *Proceedings of Conference on Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 1, pp. 866-869, 2015.
- [10] B. H. Han, H. J. Shin and C. H. Oh, "The Algorithm for Detecting Directions of CW Doppler Radar Single Output Mode," *Proceeding of The Korea Navigation Institute Conference*, vol. 19, no. 1, pp. 116-117, 2015.



한병훈(Byung-Hun Han)

2014년 3월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 석사과정  
2014년 2월 공주대학교 전기전자제어공학부 제어계측공학전공 공학사  
※관심분야 : 레이더 센서, 신호처리, 임베디드 시스템



신현준(Hyun-Jun Shin)

2013년 3월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 박사과정  
2013년 2월 한국기술교육대학교 전기전자통신공학과 공학석사  
2011년 2월 남서울대학교 전자공학과 공학사  
※관심분야 : MIMO, Channel coding, M2M, BigData



오창현(Chang-Heon Oh)

1999년 2월 ~ 현재 한국기술교육대학교 전기전자통신공학부 교수  
2006년 8월 ~ 2007년 7월 방문교수(University of Wisconsin-Madison)  
1993년 10월 ~ 1999년 2월 삼성전자(주) 기술연구소 선임연구원  
1996년 2월 한국항공대학교 항공전자공학과 공학박사  
1990년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 공학석사  
1988년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과 공학사  
※관심분야 : 이동통신, 무선통신, Wireless Sensor N/W, CR