

CW 도플러 레이더를 이용한 모니터링 시스템 구현

신현준¹ · 한병훈¹ · 최두현² · 오창현^{1*}

Implementation of a Monitoring System Using a CW Doppler Radar

Hyun-Jun Shin¹ · Byung-Hun Han¹ · Doo-Hyun Choi² · Chang-Heon Oh^{1*}

¹Department of Electrical, Electronics & Communication Engineering, Korea University of Technology and Education, Cheonan, 31253, Korea

²Simin-daero 248 Beon-gil Dongan-gu Anyang-si, Gyeonggi-do, 431-815, Korea, iU Plus, Inc

요 약

본 논문에서는 기상 제약이 많은 CCTV 보안을 위해 CW 도플러 레이더를 사용하는 감시 시스템에서 두 개 이상의 물체 접근 또는 이탈 정보를 감지하기 위한 모니터링 프로그램을 개발하였으며, 물체의 접근 또는 이탈 정보를 효율적으로 감지하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘은 CW 도플러 레이더에서 수신한 신호를 FFT 처리하여 실수부와 허수부로 분리 후 각 동일 주파수마다 진폭을 합산하여 이들의 위치를 통해 접근 또는 이탈을 판단하는 방식이다. 이를 시뮬레이션 및 실험을 통해 검증하였으며, 두 개 물체의 접근 또는 이탈을 감지한 결과 정상적으로 감지하는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

The CCTV is limited by weather conditions. To overcome this limitation, we develop a monitoring program that can sense the approach or recede of two or more objects within a surveillance system that uses a continuous-wave (CW) Doppler radar, and we proposed an algorithm to efficiently detect the approach or recede information of the object. The proposed algorithm separates the signal received by the CW Doppler radar into the real and imaginary parts using Fast Fourier Transform (FFT), and sums the amplitudes for each frequency to determine whether the objects are approaching or receding, using their locations. The algorithm is verified by simulations and experiments, which confirms that it successfully detects the approach or recede of two objects.

키워드 : 접근 판단 알고리즘, CW 도플러 레이더, FFT, 모니터링 프로그램

Key word : Approach determining algorithm, CW Doppler radar, FFT, Monitoring program

Received 02 August 2015, Revised 03 September 2015, Accepted 18 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.2015.19.12.2911>

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

CCTV는 각종 범죄 예방을 위한 공공부문에서의 사용과 도난 방지를 위한 민간부문에서의 사용으로 쓰이고 있으며, 공공기관이 범죄예방, 시설안전, 교통단속, 교통정보 수집 등을 위하여 공개된 장소에 설치한 CCTV 대수는 2013년에 56만 대에서 2014년 65만 대로 그 수는 지속적으로 늘어나고 있다[1]. 하지만 일반 CCTV는 비, 눈, 특히 안개가 심할 경우 육안으로 감시하기에 어려움이 발생하며, 어두운 밤에는 보이지 않는 단점이 있어, 4계절 날씨와 상관없이 감시가 가능한 CW(Continuous Wave) 도플러 레이더를 이용한 감시 시스템이 각광 받고 있다[2].

CW 도플러 레이더 감시 시스템이 두 개 이상의 물체를 탐지하기 위해서는 FFT(Fast Fourier Transform) 처리하여 주파수 영역에서 분석해야하나, 주파수 영역에서는 물체들의 주파수 정보만을 얻을 수 있기 때문에 물체들의 접근 또는 이탈 정보를 판단할 수 없는 단점이 존재한다.

본 논문에서는 두 개 이상의 물체를 탐지하기 위해 FFT 처리할 경우 주파수 영역에서 물체의 접근 또는 이탈 정보를 효율적으로 판단하기 위한 알고리즘을 제안하며, 이를 이용한 CW 도플러 레이더 모니터링 시스템을 구현하였다.

본 논문의 구성으로 II장에서는 관련연구에 대해 설명한다. III장에서는 물체 접근 이탈 정보 판단 알고리즘에 대해 설명한다. IV장에서는 실험을 통해 성능평가를 한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련연구

2.1. CW 도플러 레이더

도플러 레이더는 도플러 효과를 이용하여 특정한 거리에 있는 물체의 빠르기 데이터를 만들어내는 특수 레이더로 물체의 움직임에 따라 어떻게 변화되었는지를 분석함으로써 물체의 상대속도를 획득할 수 있다[3-5].

그림 1은 듀얼 출력방식의 CW 도플러 RF 모듈로 물체의 속도뿐만 아니라 물체가 움직이는 방향도 측정 가능하다. 수신된 I/Q 신호를 통해 I 또는 Q 신호의 앞선 순서에 따라 물체의 접근 또는 이탈 정보를 파악할 수

있다.

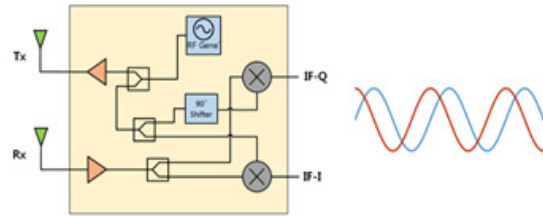


Fig. 1 Dual-output CW doppler RF and output waveform

그림 2는 본 논문에서 사용하는 듀얼 출력 방식의 CW 도플러 레이더로 물체의 접근 또는 이탈 정보를 검출한 결과로써 파란 색은 I 신호이며, 주황색은 Q 신호이다. 전방의 물체가 접근 중일 때는 Q 신호가 I 신호보다 앞서며, 이탈 중일 때는 I 신호가 Q 신호보다 앞선다.

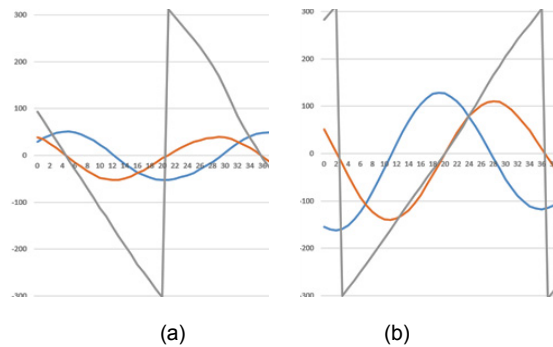


Fig. 2 When an object is approaching or receding. (a) When an object is approaching (b) When an object is receding.2.2 FT

푸리에 변환은 시간 영역에서의 신호를 주파수 영역으로 변환해서 각각의 합성신호를 분석하는 방법으로 신호의 주파수나 특성을 알 수 있다.

그림 3의 (a)와 (b)는 cos파와 sin파를 각각 푸리에 변환한 그림이다. (c)는 푸리에 변환 후 (a)와 (b)의 진폭 값을 각각 더한 값을 표현한 그림이다. (c)에 따르면 $+\omega_0$ 은 두 배의 진폭 값을 갖지만 $-\omega_0$ 는 상쇄돼 0의 진폭 값을 갖는다. 즉, CW 도플러 레이더로 물체의 접근 또는 이탈 정보를 검출한 결과를 기반 한다면 두 파형을 합산했을 때 진폭의 결과가 $f_0 > 0$ 이라면 이탈, $f_0 < 0$ 이라면 접근이라는 사실을 얻을 수 있다.

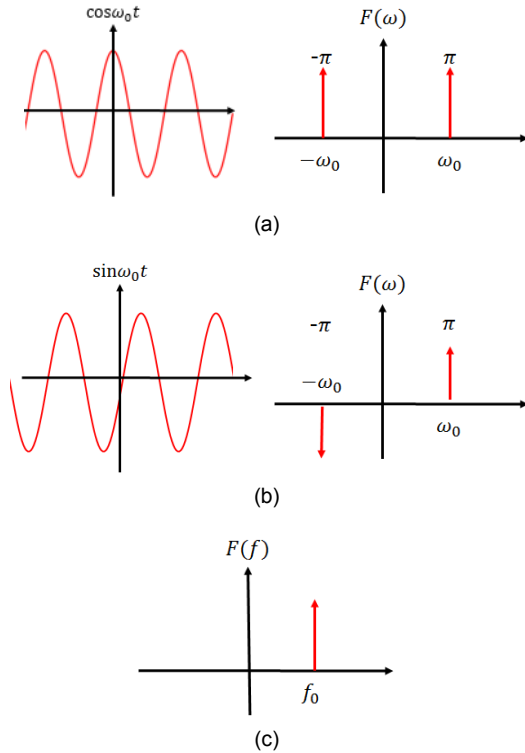


Fig. 3 The relationship between the time and frequency domains. (a) Fourier transform pair of the cosine wave. (b) Fourier transform pair of the sine wave. (c) When each amplitude is added in the frequency domain

2.2. FFT

고속 푸리에 변환은 이산 푸리에 변환과 그 역변환을 빠르게 수행하는 효율적인 알고리즘이다. FFT는 디지털 신호 처리에서 편미분 방정식의 근을 구하는 알고리즘에 이르기까지 많은 분야에서 사용한다. x_0, \dots, x_{n-1} 이 복소수라고 가정할 때, DFT는 다음과 같이 정의한다.

$$f_i = \sum_{k=0}^{n-1} x_k e^{-\frac{2\pi i}{n} ik}, i = 0, \dots, n-1 \quad (1)$$

이 식을 정의에 따라 계산하면 $O(n^2)$ 의 연산이 필요하지만, FFT 처리하면 $O(n \log n)$ 번의 연산 횟수를 보장한다[6].

III. 물체 접근 이탈 정보 판단 알고리즘

본 장에서는 CW 도플러 레이더에서 수신된 I/Q 신호를 이용해 두 개 이상의 물체의 접근 또는 이탈 정보를 판단하는 알고리즘을 제안한다.

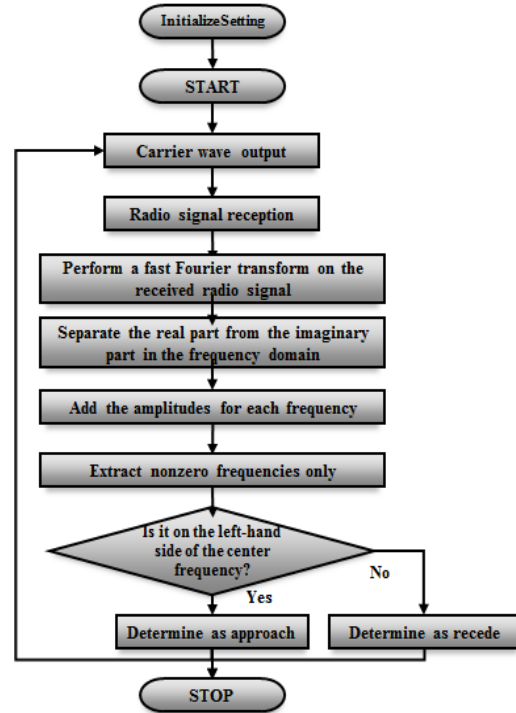
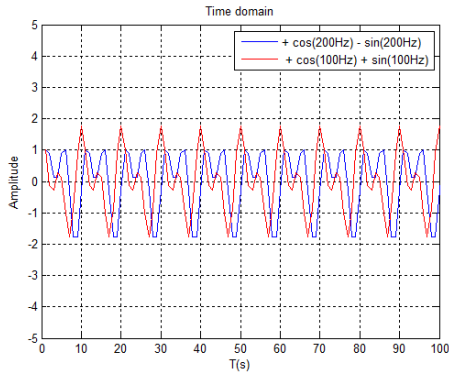


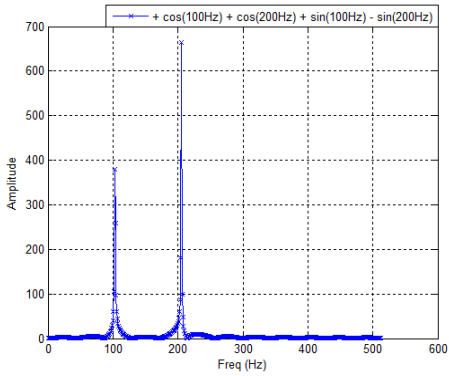
Fig. 4 Flowchart of object approach/recede information determining algorithm

그림 4는 제안하는 알고리즘의 흐름도이다. 수신된 I/Q 신호를 FFT 처리 후 주파수 영역에서 실수부와 허수부로 분리 후 각 동일한 주파수 마다 진폭을 합산한다. 그 후 합산한 진폭 값 중 0이 아닌 값이 센터 주파수의 좌측에 있다면 접근으로 판단하며, 우측에 있다면 이탈로 판단한다.

제안한 알고리즘을 검증하기 위해 두 물체가 각각 이탈과 접근을 하는 것을 매트랩으로 시뮬레이션 하였다. 접근하는 물체는 $+\cos(200\text{Hz}) - \sin(200\text{Hz})$ 의 A파형이며, 이탈하는 물체는 $+\cos(100\text{Hz}) + \sin(100\text{Hz})$ 의 B파형이다. A파형과 B파형을 함께 FFT 처리 후 실수부와 허수부에서 두 파형을 살펴본다.



(a)



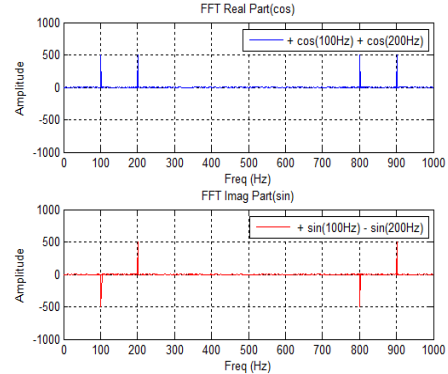
(b)

Fig. 5 Waveform comparison between before and after FFT. (a) Pre-FFT (time domain). (b) Post-FFT (frequency domain)

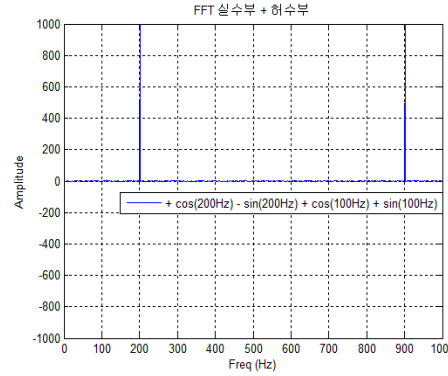
그림 5는 FFT를 사용하기 전과 후의 두 파형을 비교한 것으로, (a)는 FFT를 처리하기 전인 시간 영역이며, (b)는 FFT를 처리한 후인 주파수 영역이다. 두 파형은 100Hz와 200Hz이기 때문에 주파수 영역에서 두 주파수가 나오는 것을 확인할 수 있다.

그림 6의 (a)는 두 파형을 FFT 처리 후의 실수부와 허수부로 나눈 그림이며, (b)는 각 동일한 주파수마다 진폭 값을 합산한 결과이다. (b)의 결과로 100Hz의 진폭은 0으로 상쇄되며, 200Hz의 진폭은 두 배로 증폭되며, 800Hz의 진폭은 0으로 상쇄되며, 900Hz의 진폭은 두 배로 증폭된다.

그림 7은 두 물체의 접근 또는 이탈 정보를 판단한 것으로 A 파형은 센터 주파수의 좌측에 위치하므로 접근이며, B 파형은 센터 주파수의 우측에 위치하므로 이탈로 판단한다.



(a)



(b)

Fig. 6 The real and imaginary parts of FFT. (a) Separation of the frequency domain into the real and imaginary parts. (b) Value of the addition of the amplitudes corresponding to each of the real and imaginary parts

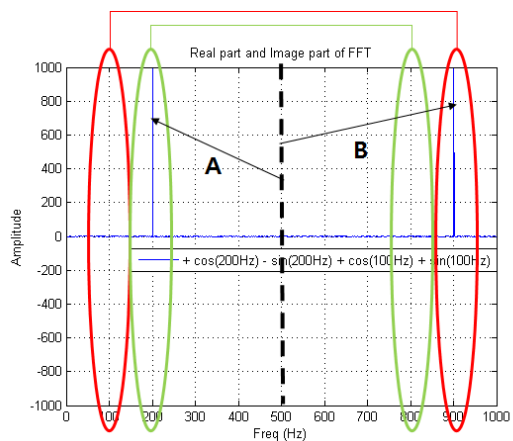


Fig. 7 Determination of approach or recede

이러한 이유는 다음과 같다. 첫째, CW 도플러 레이더의 특성 상 \cos 파와 \sin 파인 I/Q 신호가 정확히 90° 의 위상차를 갖기 때문에 진폭의 합산 결과 중 한 주파수는 상쇄된다. 둘째, CW 도플러 레이더로 물체의 접근 또는 이탈 정보를 I/Q 신호의 상대적인 위치에 따라 판단할 수 있다.

IV. 성능평가

본 장에서는 본 논문에서 구현한 모니터링 프로그램이 제안한 알고리즘에 의해 전방 물체들이 접근 또는 이탈하는지를 정상적으로 판단하는지 평가하였다.

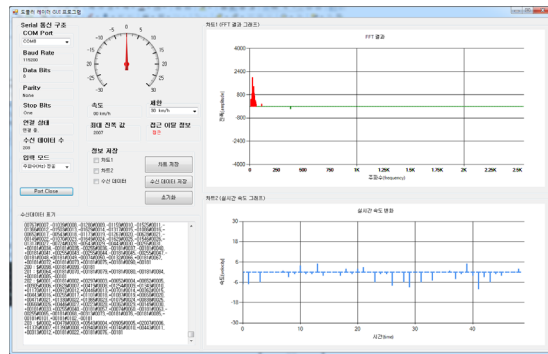


Fig. 8 CW doppler radar monitoring program

그림 8은 본 논문에서 개발한 CW 도플러를 이용한 모니터링 프로그램이다. CW 도플러 레이더에서 수신한 신호를 제안한 알고리즘을 통해 전방 물체의 접근 또는 이탈 정보를 판단한다. 전방 물체들의 FFT 결과 정보 및 주파수가 가장 높은 물체의 이동 속도를 실시간으로 표기한다. FFT 결과 그래프는 사용자의 편의를 위해 센터 주파수까지만 표기하되, 센터 주파수의 좌측에 있는 주파수 정보는 0 이상으로 표기하며, 우측에 있는 주파수 정보는 0 이하로 함께 표기한다. 이 때 좌측인 접근 정보는 빨간색으로, 우측인 이탈 정보는 녹색으로 표기한다.

그림 9는 두 물체가 각각 접근과 이탈 중인 경우로 모니터링 프로그램 상에서 접근 중인 물체는 빨간색 및 0 이상으로 표기되며, 이탈 중인 물체는 녹색 및 0 이하로 표기된다.



Fig. 9 When each of the two objects is approaching and receding, respectively

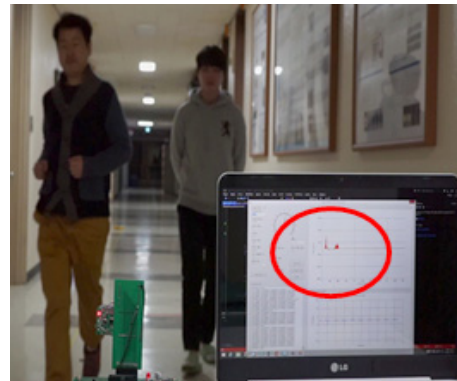


Fig. 10 When both objects are approaching.

그림 10은 두 물체가 모두 접근하는 경우로 모니터링 프로그램 상에서는 주파수 정보는 다르되, 모두 접근이므로 빨간색 및 0 이상으로 표기된다.

V. 결론

본 논문에서는 두 개 이상의 물체의 접근 또는 이탈 정보를 감지하기 위한 CW 도플러 레이더 모니터링 프로그램을 구현하였으며, 물체의 접근 또는 이탈 정보를 효율적으로 감지하기 위한 알고리즘을 제안하였다. 성능평가를 위해 시뮬레이션 및 실험을 하였으며, 실험 결과 두 개 이상의 물체에 대해 접근 또는 이탈 정보를 감지하는 것을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

[1] MINISTRY OF THE INTERIOR, "Public institutions CCTV installation Current Status", www.moi.go.kr/frt/sub/a05/statistics/screen.do, (2015).

[2] J. Y. Taek, "Present and Future of the Sensor of Security", *The Journal of Korea Institute of Electronics Engineers*, Vol. 36, No. 10, pp. 49-59, Oct., 2009.

[3] C. H. Ryu, Y. S. Jang, I. H. Choi, "The Relation of Time Resolution and Radial Velocity Accuracy of a CW Doppler Radar," *THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE*, Vol. 23, No. 7, pp.815-821, Jul. 2012.

[4] D. S. Banks, "Continuous Wave Radar," *Electronic Progress*, Vol. 18, No. 11, pp. 34-41, Aug., 1975.

[5] T. J. Kim, Y. C. Rhee, S. H. Kim, "Implementation of a Microwave Doppler Sensor," *The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol. 4, No. 2, pp.75-81, Jun, 2009.

[6] WT. Cochran, JW. Cooley, DL. Favin, HD. Helms, RA. Kaenel, WW. Lang, GC. Maling, DE. Nelson, CM. Rader, PD. Welch, "What is the Fast Fourier Transform?," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 55, No. 10, Oct., 1967.



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



한병훈(Byung-Hun Han)

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



최두헌(Hyun-Doo Choi)

2012년 1월 ~ 현재 ㈜아이유플러스 대표이사
 2013년 9월 ~ 현재 서강대학교 연구교수
 2010년 9월 ~ 현재 성결대학교 정보통신 공학부 외래교수
 2009년 2월 중앙대학교 전기전자공학부 박사
 1967년 2월 서강대학교 전자공학과 석사
 1985년 2월 서강대학교 전자공학과 학사
 ※관심분야 : 근거리 radar 센서, 5세대 이동통신, RTS(Radar Test System), mm-wave module



오창헌(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