



캡스트럼을 이용한 레이더에서 회전하는 블레이드 검출

송승언*¹, 이종훈*², 고석준**

Detection for Rotating Blades in Radar by Using Cepstrum

Seungeon Song*¹, Jonghun Lee*², and Seokjun Ko**

이 논문은 2013년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 CW(Continuous Wave) 레이더 시스템에서 캡스트럼을 적용하여 드론의 회전하는 블레이드를 검출하는 방법을 제안한다. 드론은 기존 항공기에 비해 크기가 작아 수신 신호의 전력을 측정하는 방법으로는 검출하기 어려우므로, 드론의 블레이드 회전에 의해 발생한 마이크로 도플러 특성을 활용하는 방법이 사용된다. 마이크로 도플러 특성을 활용하는 대표적인 검출 방법으로는 STFT(Short Time Fourier Transform) 방식이 있다. STFT 방식은 반복적으로 신호를 누적하는 과정이 필요하므로 긴 연산 시간이 요구되는 단점이 있다. 본 논문에서는 STFT의 단점을 극복하기 위해 캡스트럼 방법을 적용하여 회전하는 블레이드를 탐지한다. 우선, 회전하는 블레이드의 레이더 단면적을 모델링하고, 이를 통해 마이크로 도플러 특성을 포함하는 레이더 수신 신호에 캡스트럼을 적용하였다. 최종적으로, 성능 평가를 위해 수행된 시뮬레이션 결과로부터, 캡스트럼 방식은 드론의 존재 여부를 임계치를 적용하여 쉽게 알 수 있으며, 블레이드의 회전 속도에 대한 정보를 얻을 수 있다.

Abstract

This paper proposes a cepstrum method in a CW(continuous wave) radar system to detect rotating blades of a drone. Since the size of the drone is much smaller than that of the conventional aircraft, it is difficult to detect by using the conventional detection method. Therefore, a detection method utilizing the Doppler characteristic generated by the rotating blades of the drone has been proposed. There is the STFT(Short Time Fourier Transform) method as a representative detection method using the Doppler characteristic. The STFT method has a disadvantage that a long calculation time is required because of a process of accumulating signals repeatedly. In this paper, to overcome disadvantages of STFT method, the cepstrum method is applied to detect the rotating blades. First, we model the radar cross-section of the rotating blades and then apply the cepstrum method on the received signal of the radar including the Doppler characteristic. Finally, from the simulation results for the performance evaluation, we can see that, in the cepstrum method, it is easily verified the rotating blades of a drone by comparing the threshold and we can find the information of the rotating speed.

Keywords

continuous wave radar, drone, micro doppler, short time fourier transform, cepstrum

* 대구경북과학기술원 미래자동차융합연구소
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2130-978X>
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9991-7083>
** 제주대학교 전자공학과(교신저자)
- ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8938-0577>

· Received: Nov. 26, 2018, Revised: Dec. 27, 2018, Accepted: Dec. 30, 2018
· First Author: Seungeon Song, Jonghun Lee
· Corresponding Author: Seokjun Ko
Dept. of Electronic Engineering, Jeju National Univ., 102 Jejudachak-ro, Jeju-si, Jeju Special Self-Governing Province, 63243, Republic of Korea
Tel.: +82-64-754-3667, Email: sjko@jejunu.ac.kr

1. 서 론

군사용으로 활용되던 드론은 최근에 민간분야에서 여러 용도로 사용되고 있다. 세계 민수용 무인기 시장은 2016년도에 5억 달러 규모, 2022년에는 30억 달러 규모까지 커질 것으로 예상된다. 이에 따라 여러 사회 문제가 발생하면서, 안티 드론 기술에 대한 중요도는 높아지고 있다. 안티 드론 기술은 크게 수동형과 능동형으로 나눌 수 있다. 수동형에는 드론/조종사 등록, 지오 펜싱(Geo Fencing) 기술, 드론 발견시 인원 소개 및 조종사 색출 등의 방법이 사용되고, 능동형에는 드론 포획, 드론 조종 전파 방해, 화기 등을 사용한 파괴가 있다. 능동형 기술을 활용하기 위해서는 탐지 기술과 함께 대응 기술이 필요하다[1]-[3].

드론 탐지 기술은 능동형 방식, 수동형 방식 그리고 둘을 혼합하여 사용하는 복합방식이 있다. 수동형 방식은 라디오 통신, 소리, 외형 등 물체에서 발생하는 신호를 센서가 탐지하는 방식이다. 비용이 저렴하고, 낮은 오탐지율의 장점을 갖고 있지만, 탐지거리가 짧은 단점이 있다[3]-[5]. 능동형 방식은 레이더와 같이 센서에서 신호를 보내고, 그 신호를 다시 수신하여 물체를 탐지하는 방법이다. 긴 탐지거리와 높은 정확성, 충분한 대응시간을 확보할 수 있는 장점이 있지만, 사각지대 발생 가능성과 초소형 물체 오탐지 가능성과 같은 단점이 있다.

본 논문에서는 능동형 방식인 CW(Continuous Wave) 레이더 시스템에서 캡스트럼을 적용하여 드론을 탐지하는 방법을 제안한다. 드론은 기존 항공기에 비해 크기가 작아 레이더의 수신 신호 전력만을 활용하는 방법으로는 탐지하기 어려우므로, 드론의 블레이드 회전에 의해 발생한 마이크로 도플러 특성을 활용하는 방법을 사용하고자 한다. 마이크로 도플러 특성을 활용하는 대표적인 검출 방법으로는 STFT(Short Time Fourier Transform) 방식이 있다. STFT 방식은 반복적으로 신호를 누적하는 과정이 필요하므로 긴 연산 시간이 요구되는 단점이 있다. 본 논문에서는 STFT의 단점을 극복하기 위해 캡스트럼(Cepstrum) 방법을 적용하여 회전하는 블레이드를 탐지한다[2][6].

본 논문의 2장에서는 회전하는 블레이드의 레이더 단면적과, 그에 따른 CW 레이더 수신 신호를 모델링하였다. 또한 3장에서는 회전하는 블레이드의 마이크로 도플러를 측정하는 방식에 대해 기술한다. 4장에서는 드론의 존재 유무를 확인하기 위하여 블레이드 회전에 따른 마이크로 도플러 신호와 캡스트럼 변화를 모의실험을 통하여 확인하였다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고자 한다.

II. 모델링

일반적으로 드론은 동체를 이루는 프레임과 로터, 블레이드로 구성되어 있다. 드론은 기체의 다수 블레이드를 회전시켜 발생하는 추력을 이용하여 호버링 및 이동을 한다. 드론의 이동시 롤, 피치, 요 운동을 할 때에도 전체 추력의 합은 변화가 없고, 블레이드의 회전속도를 증가 혹은 감소시키면서 각 블레이드의 추력을 조절 한다[7].

2.1 블레이드

본 논문에서 CW 레이더로 측정하는 드론은 그림 1과 같이 제자리에서 회전하고 있는 블레이드로 가정하였다.

블레이드는 직사각형 구조이며, 블레이드의 수는 2개이며 블레이드 사이의 간격은 동일하다고 가정한다. 레이더의 전파가 후방 산란하는 부분은 블레이드이며, 블레이드의 레이더 단면적은 직사각형으로 모델링하였다.

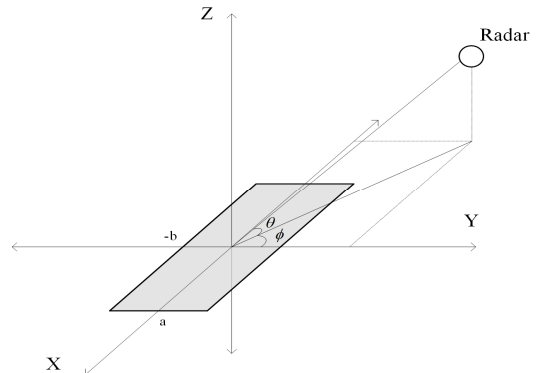


그림 1. 블레이드의 형태
Fig. 1. Shape of blade

그림 1과 같은 직사각형에 대한 레이더 단면적 (RCS, Radar Cross Section)은 다음과 같이 계산된다 [8].

$$\sigma = \frac{4\pi a^2 b^2}{\lambda^2} \left(\cos\theta \frac{\sin x_k}{x_k} \frac{\sin y_k}{y_k} \right)^2 \quad (1)$$

여기서 a 는 블레이드 길이의 반, b 는 블레이드 폭의 반, $x_k = ka \sin\theta \sin\phi$, $y_k = kb \sin\theta \sin\phi$, $k = 2\pi/\lambda$, θ 는 블레이드와 레이더 사이의 고도각, ϕ 는 블레이드와 레이더 사이의 방위각이다. 블레이드 한 개에 대한 레이더 단면적은 그림 2와 같다. 레이더 단면적은 회전 각도에 따라 0~360도 사이에서 약 -56dB에서 -46dB값이 사인파 형태로 나타난다. 즉, 회전하는 블레이드의 속도에 따라 식 (1)에서 고도각 θ 와 방위각 ϕ 가 변하면서 레이더 단면적이 변하게 된다. 따라서 블레이드의 회전 속도에 따라 그림 2에 나타난 레이더 단면적의 크기가 변하게 된다. 우선, 본 논문에서는 식 (1)에서 고도각과 방위각의 변화를 통해 블레이드의 회전을 실수형태의 크기 변화로 표현하였다.

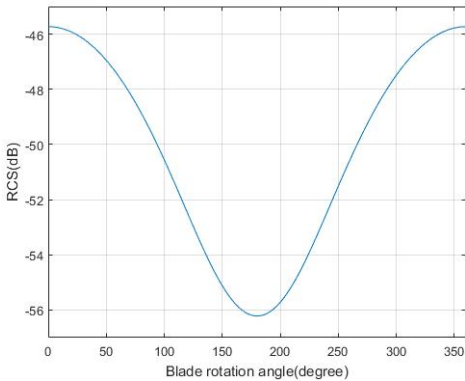


그림 2. 블레이드 회전 각에 따른 RCS
Fig. 2. Blade RCS in rotation angle

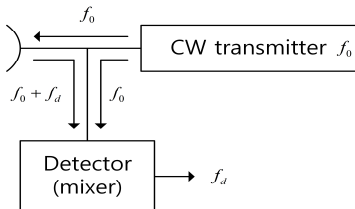


그림 3. CW 레이더 순서도
Fig. 3. CW radar diagram

2.2 CW 레이더

CW 레이더는 물체의 움직임에 따라 발생하는 도플러 주파수를 탐지 할 수 있는 레이더이다. 물체의 움직임에 따른 도플러 주파수는 아래의 식과 같다[8].

$$f_d = -f_0 \frac{2v}{c} \quad (2)$$

여기서 f_0 는 레이더의 중심 주파수, v 는 물체의 시선 이동 속도, c 는 전파의 속도이다. CW 레이더의 동작은 그림 3과 같고, 레이더의 수신 전력은 아래 식과 같은 레이더 수식을 따른다.

$$P_r = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad (3)$$

여기서 P_t 는 송신 전력, G 는 안테나 이득, λ 는 레이더 파장, σ 는 타겟의 레이더 단면적, R 은 레이더와 타겟 사이의 거리이다. CW 레이더에서 도플러 주파수를 얻기 위해서는 송수신 신호를 이용한다. 송수신 신호는 식 (4), (5)와 같고, 그림 3과 같이 믹서(Mixer)를 사용하여 간단한 방식으로 도플러 주파수를 얻을 수 있다.

$$s_t(t) = A_t \cos(2\pi f_0 t) \quad (4)$$

$$s_r(t) = A_r \cos(2\pi(f_0 + f_d)t) + n(t) \quad (5)$$

여기서 $n(t)$ 는 수신 가우시안 잡음신호이다.

III. 블레이드 검출 알고리즘

본 논문에서는 드론을 탐지하기 위해 마이크로 도플러를 측정할 수 있는 CW 레이더를 사용하고자 한다. 그림 3에 나타난 것처럼, CW 레이더에서 믹서를 통과한 후 출력 신호는 다음과 같다.

$$s_m(t) = A_m \cos(2\pi f_d t) + n'(t) \quad (6)$$

여기서 $n'(t)$ 는 믹서 후에 남은 잡음 성분이다. 이 신호에서 도플러 주파수 f_d 를 얻기 위해서는 일반적으로 푸리에 변환(Fourier Transform) 알고리즘을 사용한다.

3.1 STFT 방식

마이크로 도플러는 물체의 병진 운동이 아닌 회전 혹은 진동으로 인한 미세 운동에 의해 발생하는 도플러를 말한다[2][8]. 일반적으로 물체의 움직임이 등속도로 움직인다면, 시간에 관계없이 하나의 도플러 성분만이 나온다. 하지만 회전 혹은 진동에 의한 마이크로 도플러는 시간에 따라 주기적으로 변하게 된다. 이와 같이 시간에 따른 마이크로 도플러 변화를 보기 위해서 아래 식과 같은 STFT방식을 사용할 수 있다.

$$X(m,k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x[n]w[n-m]e^{-j2\pi n/N} \quad (7)$$

여기서 $x[n]$ 는 이산 신호, $w[\cdot]$ 는 이산 윈도우 함수, N 은 윈도우 크기, k 는 이산 주파수 이다. STFT는 윈도우 함수를 사용하여 전체 시간이 아닌 윈도우 함수 크기에 해당하는 일부의 시간에서 푸리에 변화를 수행한다. 그 후 윈도우 함수를 전 윈도우 함수와 겹치도록 이동 시킨 후 푸리에 변환을 반복 수행하는 알고리즘이다. 따라서 STFT 알고리즘을 사용하면, 믹서 출력 신호에서 시간에 따른 도플러 변화를 볼 수 있다.

3.2 캡스트럼 방식

일반적으로 마이크로 도플러는 시간에 따라 주파수가 주기적으로 변하는 특성이 있다. 이러한 주기적 변화를 분석하기 위해서, 본 논문에서는 음성 분석이나 지진의 에코를 분석하기 위해 사용되는 캡스트럼을 활용하고자한다[9][10].

그림 4에 나타낸 것처럼 캡스트럼은 신호의 스펙트럼을 다시 데시벨 스펙트럼으로 나타낸 것으로, 기본적으로 FFT(Fast Fourier Transform)를 활용하여

신호를 분석하는 알고리즘이다. FFT가 신호의 주파수 성분을 분석하는 알고리즘이면, 캡스트럼은 스펙트럼의 주기성을 나타내는 알고리즘이라고 할 수 있다[9].

마이크로 도플러의 주기적 변화를 나타내는 방법인 캡스트럼은 다음과 같이 정의된다[11].

$$C = |IFFT(\log(|FFT(x[n])|))| \quad (8)$$

여기서 IFFT는 역 푸리에 변환(Inverse Fast Fourier Transform) 알고리즘을 나타낸다. 위 식 (8)을 바탕으로 캡스트럼은 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. STFT 방식과의 차이는 FFT된 데이터를 로그를 취해 다시 IFFT하여 시간 영역에서 데이터를 분석한다는 것이다. 본 논문에서 사용한 실수부 캡스트럼은 최종 결과를 절대값이 아닌 실수부만을 사용하여 출력한다. 또한 기존 문헌에서처럼, 그림 4에서 처음 부분에 사용되는 FFT를 STFT로 대체하여 시간에 따른 연속적인 캡스트럼 변화를 볼 수 있으나 소요 시간 및 데이터가 증가하는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 일부 시간인 하나의 FFT 윈도우 구간에 대한 샘플만을 사용하였다.

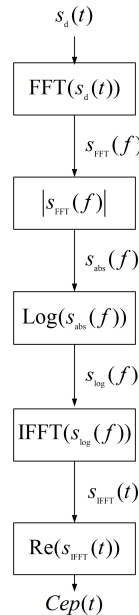


그림 4. 실수부 캡스트럼 방식
Fig. 4. Real cepstrum method

IV. 모의실험 결과

모의실험을 위한 CW 레이더의 변수는 표 1과 같다. 로터와 레이더는 그림 5와 같은 형태로 로터의 위치가 원점이며, 로터에 고정된 블레이드의 폭은 10cm, 길이 60cm, 블레이드와 로터 사이의 길이는 5cm인 블레이드가 2개가 회전하고, 레이더의 위치는 $x_r = 500m$, $y_r = 0m$, $z_r = 500m$ 로 모델링되었고, 블레이드의 회전속도는 기본적으로 100r/s로 가정하였다.

표 1. 레이더 변수
Table 1. Radar parameters

Parameter	Value
Center frequency	24GHz
Sampling rate	50KHz
Transmitted power	10dBm
Transmitted antenna Gain	50dB
Received antenna Gain	50dB
Noise figure	5dB

4.1 STFT 방식

STFT 방식을 구현하기 위해서, 본 논문에서 사용한 FFT 윈도우의 크기는 2048개이고, 1개의 샘플을 이동하면서 20000회의 FFT를 수행한다. 따라서 STFT 방식을 수행하기 위해서 0.5초에 해당하는 25000개의 샘플을 사용하였다. 이를 처리하는데 약 2초가 소요된다. STFT 알고리즘은 FFT를 반복적으로 수행하는 알고리즘이기 때문에 다량의 데이터와 많은 시간을 필요로 한다.

그림 6은 블레이드 수가 2개이고, 4r/s로 회전하고 있는 블레이드의 마이크로 도플러 신호이다. 블레이드가 등속도로 회전하고 있지만 레이더에서 상대 속도는 사인파 형태로 변화하는 것으로 보인다. 이 때문에 그림 6에서 도플러 신호가 2개의 사인파 형태로 나타남을 볼 수 있고, 이 사인파는 각각 1개의 블레이드에서 측정되는 도플러 변화이다.

그림 7은 100r/s로 회전하고 있는 블레이드의 파

이크로 도플러 신호이다. 마이크로 도플러 신호는 주기적 신호가 아닌 선의 형태로 나타난다. 이는 샘플링 주파수가 회전 속도에 비하여 상대적으로 작기 때문에 시간축 해상도가 충분하지 않기 때문에 발생하는 문제이다.

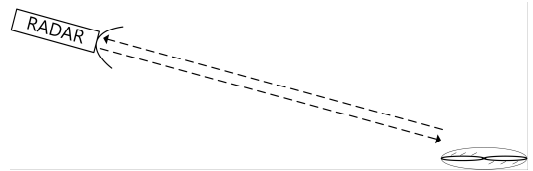


그림 5. 로터와 레이더
Fig. 5. Rotor and radar

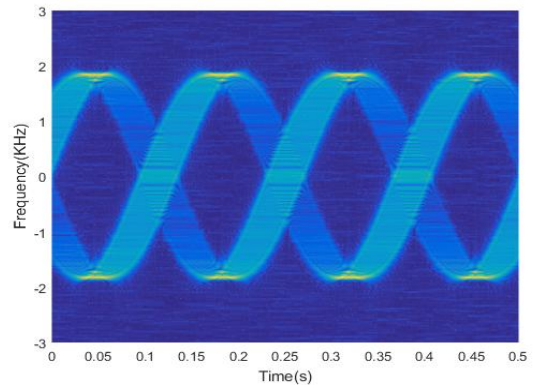


그림 6. 4r/s로 회전하는 블레이드의 마이크로 도플러 신호
Fig. 6. Micro doppler signature of rotating blades at 4r/s

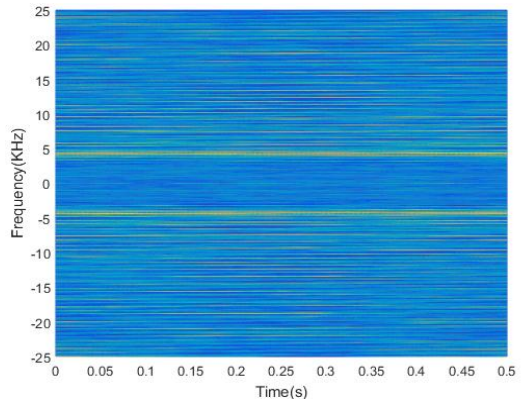


그림 7. 100r/s로 회전하는 블레이드의 마이크로 도플러 신호
Fig. 7. Micro doppler signature of rotating blades at 100r/s

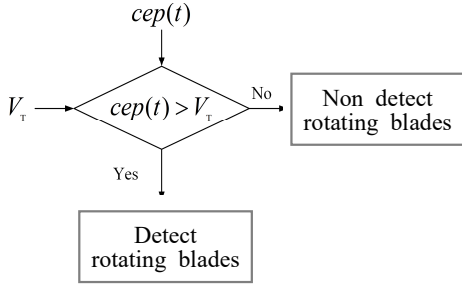


그림 8. 회전하는 블레이드의 검출방법
Fig. 8. Detection method of rotating blades

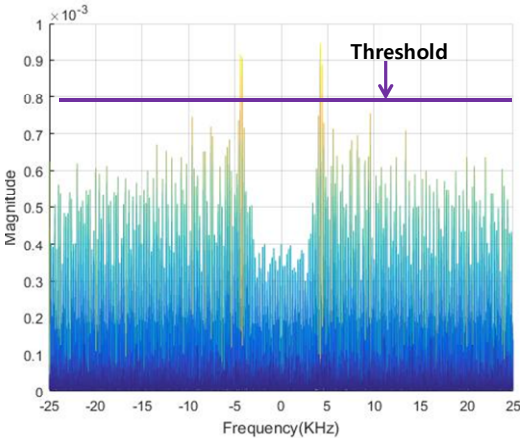


그림 9. 주파수 영역에서 100r/s로 회전하는 블레이드의 마이크로 도플러
Fig. 9. Micro doppler signature of rotating blades at 100r/s in frequency domain

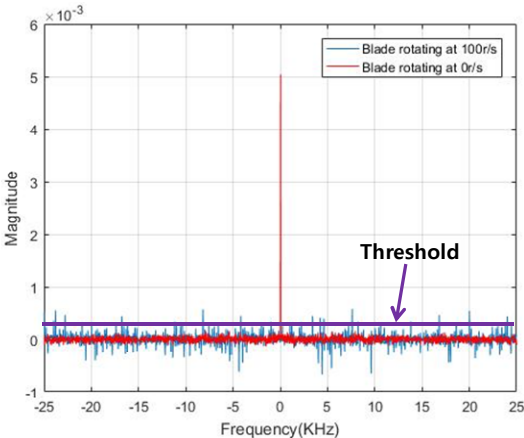


그림 10. 1회의 FFT를 사용하였을 때 회전하는 블레이드의 도플러
Fig. 10. Doppler of rotating blades for one time FFT in frequency domain

그림 8은 임계치를 사용하여 회전하는 블레이드를 확인하는 과정이다. 이 과정을 통해 회전 속도 및 드론을 탐지할 수 있다.

그림 9는 그림 7의 결과를 주파수 영역에서 나타낸 것이다. 약 5kHz와 -5kHz에서 고점이 발생하며 이러한 고점에 임계치를 적용하면 회전하는 블레이드의 속도와 드론의 존재 여부를 판별할 수 있다.

그림 10은 사용되는 데이터양을 줄이기 위해서 STFT에서 반복 수행되는 FFT를 1회의 FFT만을 수행했을 때의 결과이다. 블레이드가 회전 하지 않을 때는 0Hz에 고점이 나타나고, 블레이드가 회전 할 때는 다수의 지점에서 고점들이 랜덤하게 발생한다. 단순한 1회 수행된 FFT 알고리즘은 STFT에 비하여 시간이 덜 필요하지만, 회전할 때의 마이크로 도플러 고점들이 다양한 주파수에서 나타나게 된다. 즉, 전체적으로 에너지가 분포하기 때문에 임계치를 적용하여 회전하는 블레이드의 속도 및 드론의 존재 여부를 판단하기에 어려움이 있다.

4.2 캡스트럼 방식

그림 11은 블레이드가 0r/s, 4r/s, 100r/s로 회전할 때 캡스트럼 결과이다. 캡스트럼 방식에 사용된 FFT 샘플수는 2048개이며, 이를 처리하기 위해서 약 1ms시간이 요구된다. 블레이드가 정지하고 있을 때 캡스트럼 결과는 잡음의 형태만이 보이고, 블레이드가 회전하고 있을 때 x축에 해당하는 큐프런시(Quefrequency)의 고점은 5ms에 생성된다. 또한 10ms, 15ms, 20ms의 고점은 5ms 고점의 하모닉 성분이다. 결과적으로, y축에 해당하는 감니튜드(Gamnitute)의 고점의 차이를 활용하면, 그림 8에 나타난 임계치를 사용하여 블레이드의 회전 속도 및 드론의 존재 여부를 확인할 수 있다.

결과에서 알 수 있듯이, 5ms에 고점이 생성된 것은 2개의 블레이드가 100r/s 회전하기 때문에 $5ms = 1/(2 \times 100)$ 와 같이 계산된다. 또한 본 논문에서는 2048개의 데이터로 계산했기 때문에 STFT에 비해 많은 데이터를 필요로 하지 않는 장점이 있다.

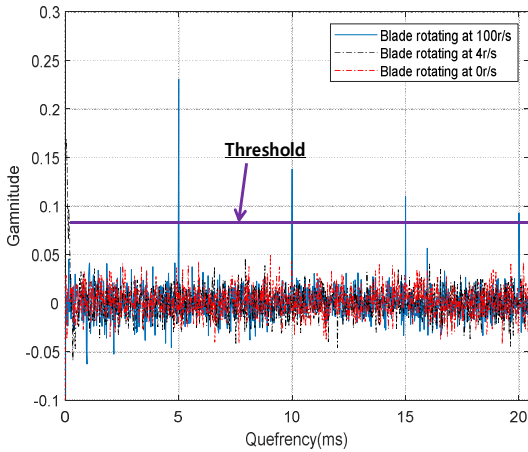


그림 11. FFT 샘플수가 2048인 경우 회전하는 블레이드의 캡스트럼

Fig. 11. Cepstrum of rotating blades for 2048 FFT size

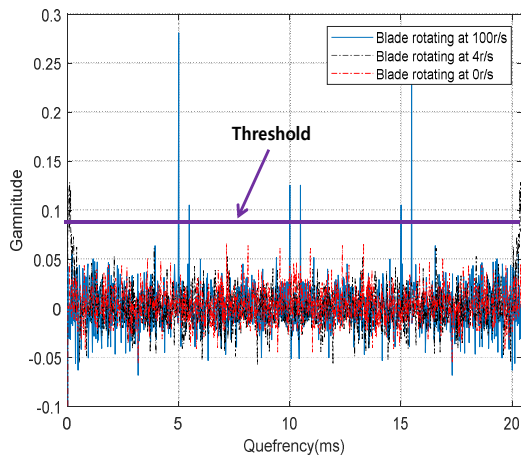


그림 12. FFT 샘플수가 1024인 경우 회전하는 블레이드의 캡스트럼

Fig. 12. Cepstrum of rotating blades for 1024 FFT size

그림 12는 FFT 샘플수가 1024일 때, 블레이드의 회전 속도가 0r/s, 4r/s, 100r/s에 대한 캡스트럼 결과이다. 그림 11과의 차이는 x축인 큐프런시의 중심에 해당하는 10.1ms에서 대칭을 이룬다는 것이다. 즉, negative band의 하모닉 성분이 positive band로 나타난 것이다. 주기성이 상대적으로 반으로 줄어든 결과가 나타난다. 따라서 만일 FFT 샘플수가 2048개보다 크면, 2048개에 비해 주기가 커지는 결과가 나타날 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 CW 레이더 시스템에서 캡스트럼을 적용하여 드론을 탐지하는 방법을 제안하였다. 우선, 회전하는 블레이드에 대한 모델링을 통해 마이크로 도플러가 포함된 수신 신호를 생성하였다. 둘째, 마이크로 도플러를 검출하는 방법으로 STFT 방식과 캡스트럼 방식을 사용하였다. 셋째, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 두 방식의 결과를 비교 분석하였다. 결과적으로, STFT 방식은 반복적으로 신호를 누적하는 과정이 필요하므로 긴 연산 시간이 요구되는 단점이 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 캡스트럼(Cepstrum) 방법은 상대적으로 짧은 연산 시간 이내에 수행되는 장점이 있다. 측정된 캡스트럼을 임계치와 비교하여 정확한 마이크로 도플러 주파수를 획득할 수 있었으며, 이를 통해 드론의 존재 여부를 판별할 수 있었다.

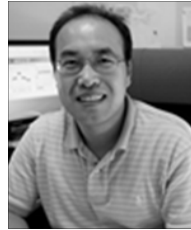
References

- [1] B. R. Choi, "Legal responsibility of unmanned aircraft (drones) accident", KOTIS 2017 Conference, pp. 71-79, May 2017.
- [2] J. H. Park, I. H. Choi, and N. H. Myung, "Analysis of Micro-Doppler Signatures from Rotating Propellers Using Modified HHT Method", The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 23, No. 9, pp. 1100-1106, Sep. 2012.
- [3] H. H. Choi, "Anti-drone technology has become important for security beyond facility security", Defence Technology, Vol. 451, pp. 38-45, Sep. 2016.
- [4] Y. H. Kim, Y. S. Song, and H. S. Sim, "Drones counterattack", Defence Technology, Vol. 470, pp. 142-151, Apr. 2018.
- [5] H. S. Kim and Y. H. Han "Implementation of Fail-Safe During Drone's Flight", Journal of KIIT, Vol. 15, No. 2, pp. 33-40, Feb. 2017.
- [6] J. J. M. de Wit, R. I. A. Harmanny, and P. Molchanov, "Radar Micro-Doppler Feature Extraction

Using the Singular Value Decomposition", 2014 International Radar Conference, pp. 1-6, Oct. 2014.

- [7] H. J. Hee, J. S. Kim, and I. W. Kim, "The Procedures of Multicopter System Development(3) : Navigation, Guidance & Control", The Journal of Aerospace Industry, Vol 82, pp, 107-126, Apr. 2016.
- [8] V. C. Chen, "The Micro-Doppler Effect in Radar", ARTECH HOUSE, pp. 7-114, Dec. 2010.
- [9] Y. H. Hong and J. T. Kim, "Application of the Cepstrum Signal Processing Technique for the Noise Reflection Path Analysis in Community Noise", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 5, pp. 447-453, May 2009.
- [10] W. Anxu, "On quantitative identification of explosion earthquake based on cepstrum computation of HHT and statistical simulation of sub-cluster", Proceedings of the 31st Chinese Control Conference, pp. 5311-5316, Jul. 2012.
- [11] Z. De-Quan and G. Yan-Qing, "Study of Radar Target Identification Based on Cepstrum and Complex Cepstrum", 2007 International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, pp. 993-996, Aug. 2007.

이 종 훈 (Jonghoon Lee)



1996년 2월 : 성균관대학교
전자공학과(공학사)
1998년 2월 : 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터공학과(공학석사)
2002년 2월 : 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터공학과(공학박사)
2002년 3월 ~ 2004년 12월 :

삼성전자책임연구원

2005년 2월 ~ 현재 : DGIST 책임연구원 및 겸무교수
관심분야 : 레이더 신호처리, 레이더 인식 및 검출, 센서
퓨전

고 석 준 (Seokjun Ko)



1996년 2월 : 성균관대학교
전자공학과(공학사)
1998년 2월 : 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터공학과(공학석사)
2001년 2월 : 성균관대학교 전기
전자및컴퓨터공학과(공학박사)
2002년 3월 ~ 2004년 6월 :

삼성전자책임연구원

2005년 3월 ~ 현재 : 제주대학교 교수

관심분야 : 디지털 신호처리, 레이더 시스템, 이동통신
시스템

저자소개

송 승 언 (Seungeon Song)



2014년 2월 : 제주대학교
전자공학과(공학사)
2017년 2월 : 제주대학교
전자공학과(공학석사)
2018년 1월 ~ 현재 : DGIST
석사후연수연구원
관심분야 : 전력분배/결합기,
초고주파 발진기, CDMA 단말기 Hardware