

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 46(2), 182-188(2018)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2018.46.2.182

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

무인항공시스템의 상향링크를 위한 재밍신호 제거기법

이용욱*

Jamming Signal Rejection Algorithm for Uplink of Unmanned Aerial System

Yong-Wook Lee*

Agency for Defence Development*

ABSTRACT

In order to increase the robustness of the uplink for UAS(Unmanned Aerial System), we propose a jamming signal rejection algorithm. In the UAS datalink system, DSSS (direct sequence spread spectrum) is used to reduce the radio noise or jamming signal. In general, jamming signals below the spreading gain are recoverable but the signals beyond the spreading gain can not be recovered. In this paper, these jamming signals beyond spreading gain are detected using the threshold detector in the spectrum area then, generate the estimated signals from the sine wave generator. Finally, we obtain the desired signal to remove jamming signals from the received signals. The proposed scheme can eliminate jamming signals while minimizing the hardware complexity and the original signal loss.

초 록

본 논문에서는 무인비행체를 실시간으로 제어 및 통제하는 무인항공시스템(Unmanned Aerial System, UAS)에서 상향링크의 강건성을 강화하기 위하여 재밍신호를 제거하는 기법을 제안한다. 일반적인 통신시스템에서는 노이즈 및 재밍신호의 영향을 최소화하기 위하여 대역확산기법을 적용하고 있으며 이러한 대역확산기법을 적용한 시스템에서는 확산이득으로 인한 재밍신호에 강인한 특성을 보인다. 그러나 확산이득을 넘어서는 재밍 및 잡음 신호에 대해서는 성능이 급격히 나빠지는 특성이 있다. 본 논문에서는 이러한 확산이득을 넘어서는 재밍신호를 FFT(Fast Fourier Transform)변환을 통하여 주파수 영역에서 검출하고 시간영역에서 사인과 생성기로 추정된 재밍신호를 생성하여 원신호에서 재밍신호를 제거하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 하드웨어 복잡도가 낮으면서 원신호의 왜곡을 최소화하면서 재밍신호를 제거할 수 있다.

Key Words : UAS(무인항공시스템), DSSS(직접대역확산방식), Uplink(상향링크), Anti-Jamming(항재밍)

† Received : September 24, 2017 Revised : November 24, 2017 Accepted : January 11, 2018

* Corresponding author, E-mail : yongwook@add.re.kr

I. 서론

최근 드론이라 불리는 무인비행체를 활용하여 민간부분이나 군용부분에서 다양한 용도로 활용되는 사례가 늘고 있다. 민간부분에 있어서는 사람이 접근할 수 없는 화재 현장이나 건설현장의 모니터링 용도로 사용되고 있으며 일부 선행 기술을 통하여 물류배송 등에도 활용되고 있다 [1,2]. 군용부분에서는 미국을 중심으로 특정 지역의 감시, 정찰임무 등에 주로 사용되고 있으며 막대한 비용지원을 통한 기술개발이 이루어지고 있다. 이러한 무인 항공 시스템(Unmanned Aerial System, UAS)에서 지상으로부터의 실시간 제어를 통하여 비행체의 운용안정성을 획득해야 하는 항공시스템의 경우 재밍 및 잡음에 의한 성능 열화는 곧 비행체의 생명과 직접적으로 연관되어 있다. 그러므로 무인비행체용 통신링크 개발에 있어서 비행체 제어를 위한 상향링크는 성능과 함께 안정성이 가장 중요시 되어야 한다.

일반적인 통신시스템에서 재밍 및 잡음으로 인한 성능열화를 극복하는 방안으로 대역확산기법을 적용하고 있다[3]. 대역확산시스템의 대표적인 특징 중 하나는 확산이득보다 낮은 레벨의 재밍신호가 유입되는 경우 확산이득으로 인하여 신호의 복원이 가능하며 잡음에도 강인한 특성을 보이는 점이다. 반면, 확산이득보다 높은 레벨의 재밍신호가 유입되는 경우 성능의 열화가 극심하며 대역확산을 이용함으로써 동일한 전송률을 전송하기 위하여 요구되는 대역폭이 상대적으로 넓다는 단점이 있다. 무인항공시스템에서 상향링크의 확산이득을 넘어서는 재밍신호로 인한 문제는 반드시 극복되어야 하며 본 논문에서는 실시간 비행제어를 필요로 하는 일반적인 무인항공체계의 데이터링크 시스템에서 상향링크에 초점을 맞춘 재밍신호 제거기법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 기법은 대역확산시스템을 사용하는 무인항공기용 상향링크에서 다중 협대역 재밍신호를 FFT(Fast Fourier Transform)

변환기법을 사용하여 감지하고 검출된 재밍신호를 협대역 신호 생성기를 통하여 재밍신호와 동일한 신호를 생성하여 시간영역에서 제거하는 기법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 기존 협대역 재밍신호 제거기법과는 다르게 원신호의 왜곡이 없어 항공기 제어신호의 손실을 방지할 수 있으며 하드웨어 복잡도를 최소화하여 항공장비의 무게 증가를 최소화하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 기법의 재밍신호 검출 방법 및 재밍신호 제거 기법에 대한 블록도 및 수식을 분석하고 시뮬레이션을 통하여 성능을 입증하였다. III장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 본론

2.1 시스템 모델

2.1.1 대역확산시스템의 송수신 구조

대역확산을 이용하는 일반적인 송수신 모델부의 구조는 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 표현할 수 있다. 무인비행체 구동을 위한 구동부에서 발행된 제어명령은 상향링크 모델으로 송신된다. 상향링크 모델으로 수신된 송신 신호는 기저대역 신호 생성기를 거쳐 비트형태로 변환되며 스크램블러와 터보코드 인코더를 거치면서 무선 채널간의 잡음 및 페이딩의 영향을 최소화하기 위하여 인코딩된다.

대역확산기법을 사용하는 데이터링크 송수신 시스템은 채널대역폭이 제한적이며 이로인하여 전송률이 제한되기 때문에 연속적인 신호보다는 버스트한 신호 전송방식을 사용한다. 신호의 동기획득 및 버스트한 에러를 보정하기 위하여 인코딩된 신호는 인터리버를 통하여 인코딩되며 신호의 유무를 감지하기 위한 프리엠블과 전력제어를 위한 가드심볼이 추가된다. 이렇게 합쳐진 신호들은 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변조방식을 거쳐 변조되며 위상 오차를 극복하기 위

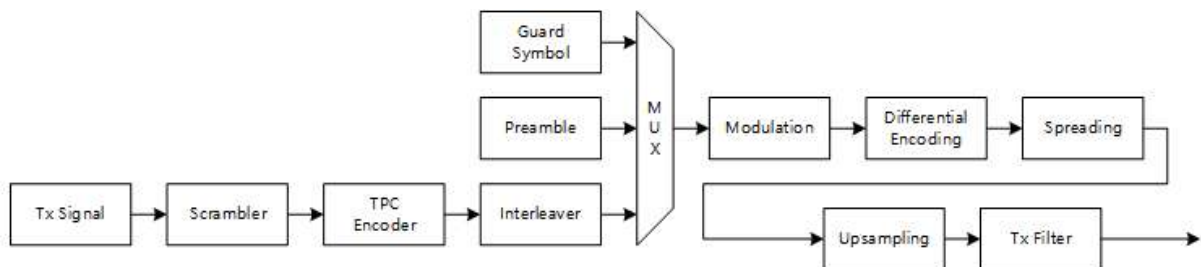


Fig. 1. Block diagram of Transmitter for direct sequence spread spectrum system

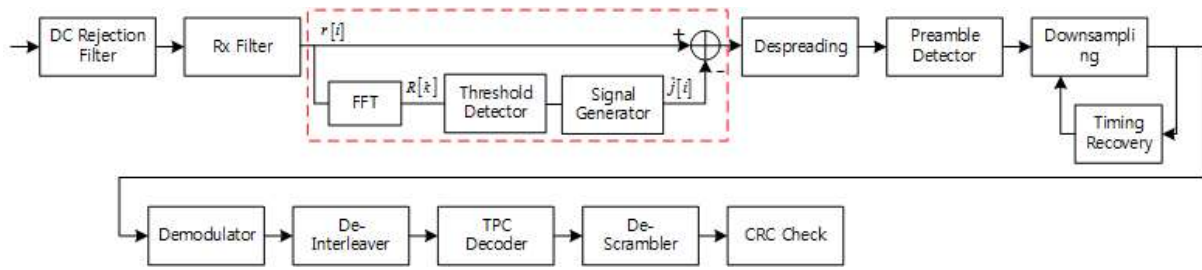


Fig. 2. Block diagram of Receiver and proposed jamming signal rejection structure

하여 차분 변조된다. 변조된 신호는 재밍 및 잡음 신호에 강인하도록 대역확산되며 이때의 확산계수는 주어진 대역폭에 맞게 설정된다. 대역확산된 신호는 오버샘플링되어 송신필터를 거친다. 송신필터를 거친 디지털신호는 디지털아날로그변환기를 통하여 아날로그 신호로 변환되며 IF 신호 및 RF 신호로 상향 변환되어 안테나를 통하여 무선링크로 송출된다.

무선링크 채널을 겪은 수신신호는 수신안테나를 거쳐 RF 신호에서 IF 및 기저대역으로 하향 변환되며 이때 수신되는 신호 크기에 따라 자동이득조절기(AGC)를 통하여 수신되는 신호의 크기를 조절하게 된다. 자동이득조절기를 거친 수신신호는 DC 제거필터를 통하여 DC 성분이 제거되며 송신필터와 동일한 수신필터를 거쳐 잡음 및 재밍신호를 최소화한다. 이후 역대역확산을 통하여 신호를 검출하는 것과 동시에 확산이득을 통한 신호처리이득을 얻게 된다. 이후 프리앰블 검출기를 통한 신호의 시작점을 검출하고 타이밍 동기를 획득하여 정확한 샘플링 포인트를 조절한다. 이렇게 획득된 신호는 BPSK 복조기를 원신호로 복원하는 과정을 거치며 역인터리버 및 터보디코더를 거치면서 채널코딩으로 인한 이득을 획득한다. 마지막으로 복조신호의 신뢰성 유무를 판단하여 최종적으로 복원된 신호를 비행체 제어부로 전달하게 된다.

앞에서 기술한 내용은 대역확산기법을 사용하는 일반적인 송수신시스템을 모범에 초점을 맞춰서 기술하였으며 이후의 내용은 본 논문에서 제안하고자하는 무인항공기용 상향링크 시스템에서 협대역 재밍신호가 유입되었을 때 이를 검출하고 제거하는 기법에 대하여 기술하였다.

2.1.2 재밍신호 검출 기법

본 논문에서 제안하는 협대역 재밍신호 검출 기법은 무선링크를 통하여 비행체 탑재안테나로 수신되는 신호를 FFT 변환기법을 통하여 주파수 영역에서 검출하는 기법이다. 통상적인 재밍신호의 경우 재머의 출력레벨에도 제한이 있으며

데이터 송수신을 위한 중심주파수 및 대역폭을 정확히 알지 못한다고 가정하였을 때 광대역 재밍 보다는 협대역 재밍에 의한 성능열화가 크다는 것이 일반적인 연구결과로 알려져있다[4]. 본 장에서는 이러한 협대역 재밍신호가 데이터 송수신 신호대역 내에 존재할 때 이를 검출하는 방법을 제안한다.

Figure 2의 점선부분에 해당하는 부분이 제안하는 재밍신호 검출 및 제거기법의 블록도를 나타낸 것이다. 제안하는 기법은 기존 구조도의 수신필터(Rx Filter) 이후에 삽입되게 되며 시간영역에서 수신된 신호를 FFT 변환기법을 통하여 주파수 영역으로 변환하게 된다. 아래는 Rx 수신필터 이후의 수신된 시간영역 신호를 $r[i]$ 라고 하였을 때, 송신 신호 $s[i]$ 와 협대역 재밍신호 $j[i]$ 그리고 백색가우시안잡음 $n[i]$ 와의 관계를 나타내었다.

$$r[i] = s[i] + j[i] + n[i] \tag{1}$$

여기서 $s[i]$ 는 $\pm\sqrt{2E_c}$ 의 값을 가지며 협대역 재밍신호는 $\sqrt{2E_j}\cos(2\pi f_i T_c + \theta)$ 의 값을 갖는다. 여기서 E_c 와 E_j 는 칩 당 에너지와 재밍신호의 에너지를 나타내며 f 와 θ 는 기저대역으로 변환된 협대역 재밍신호의 주파수 및 위상 성분을 각각 나타낸다. 그리고 $j[i]$ 는 다중 협대역 재밍신호의 합을 나타내며 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$j[i] = j_1[i] + j_2[i] + \dots + j_L[i] \tag{2}$$

여기에서 협대역 재밍신호 전력량의 총합은 항상 일정하다고 가정한다. 시간영역에서 수신된 신호는 N -point FFT 변환을 통하여 주파수 영역신호 $R[k]$ 로 변환할 수 있으며 이를 수식으로 표현하면 아래와 같다.

1) 본 논문에 사용된 확산계수는 256을 적용하였다. 즉, $E_b = 256 \times E_c$

$$R[k] = S[k] + J[k] + N[k]$$

$$= \sum_{i=0}^{N-1} r[i] e^{-j\frac{2\pi}{N}ki}, k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (3)$$

여기서 $S[k], J[k], N[k]$ 는 각각 $s[i], j[i], n[i]$ 의 N -point FFT 결과를 나타낸다.

주파수 영역으로 변환된 신호는 임계값 검출기를 거치면서 재밍신호의 유무를 판단하게 된다. 임계값 검출기의 임계값을 설정하기 위해서는 수신된 평균 신호 P_{avg} 을 계산하게 되고 계산된 평균값보다 일정크기 α 이상의 신호가 유입되면 그 신호를 협대역 재밍신호로 판단하게 된다. 아래는 수신된 평균 신호 및 임계값 설정을 위한 수식을 나타내었다.

$$P_{avg} = \frac{1}{M} \left(\sum_{k=0}^{M-1} |R[k]| \right) \quad (4)$$

$$T = P_{avg} + \alpha \quad (5)$$

여기에서 $(M-1)$ 은 대역확산신호 중 가장 높은 주파수 성분에 해당하는 FFT 변환 인덱스 값을 나타내며, 이렇게 구해진 평균값을 이용하여 임계값 T 를 구하게된다.

2.1.3 재밍신호 제거 기법

본 절에서는 수신되는 신호의 특정 주파수 성분의 크기가 앞에서 설정한 임계값 T 를 넘어서는 경우 협대역 재밍신호가 있다고 판단하게되며 이를 제거하는 알고리즘을 소개한다. 기존에 제안된 협대역 재밍신호 간섭제거 기법들은 시간영역에서 적응형 필터를 사용하여 제거하거나 주파수 영역에서 노치필터 및 클리핑 필터를 사용하여 제거하는 기법이 일반적이었다[5-10]. 하드웨어 개발기술이 상대적으로 발달하지 않았던 때에 제안된 시간영역에서 적응형 필터를 사용하는 기법은 딜레이 탭을 통하여 탭 계수를 업데이트하는 방식으로 구현하기 때문에 하드웨어적으로 구현이 쉽다는 장점이 있으나 적응형 필터의 탭 계수들이 안정화되는데까지 걸리는 시간이 있어서 실시간으로 가변하는 재밍신호를 제거하기 어려운 단점이 있다[5-7]. 최근에는 하드웨어 제작기술의 발달로 FFT 기법을 통한 노치 필터 및 클리핑 필터를 사용하여 재밍신호를 제거하는 기법이 제안되었다. 이러한 기법의 경우 다이내믹한 신호를 추정가능하다는 장점이 있는 반면, 재밍신호를 제거하는 과정에서 원신호의 왜곡이 발생할 수 있으며 하드웨어적으로 복잡한 단점이 있다[8-10]²⁾. 본 논문에서는 이러한 단점들을 극복

하여 재밍신호를 제거할 때, 원신호의 왜곡이 발생하지 않으며 하드웨어적인 복잡도의 증가를 최소화하는 방법을 제안한다. 수신된 신호로부터 임계값 검출기를 거쳐 추정된 협대역 재밍신호는 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\hat{J}[k] = \begin{cases} R[k], & |R[k]| > T \\ 0, & |R[k]| \leq T \end{cases} k = 0, 1, \dots, M-1 \quad (6)$$

여기에서 $\hat{J}[k]$ 는 추정된 주파수 성분을 나타내며 k 는 N -point FFT 변환한 주파수 bin을 나타낸다. 추정된 협대역 재밍신호의 bin을 이용하여 시간영역에서의 재밍신호를 생성해낼 수 있다.

$$\hat{j}[i] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{J}[k] e^{j\frac{2\pi}{N}ki}, i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (7)$$

여기에서 $R[k]$ 의 주파수 성분 중 k' 번째 주파수만 재밍신호가 존재한다고 한다면 $\hat{J}[k']$ 을 제외한 나머지 주파수 성분은 모두 0 이므로 다음과 같이 간략화될 수 있다.

$$\hat{j}_{k'}[i] = \frac{R[k']}{N} e^{j\frac{2\pi}{N}ki}, i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (8)$$

여기서 임계값 검출기로부터 검출된 재밍신호의 개수가 L 개라고 가정한다면 시간영역에서 생성되는 재밍신호는 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{j}[i] = \hat{j}_{k_1}[i] + \hat{j}_{k_2}[i] + \dots + \hat{j}_{k_L}[i] \quad (9)$$

이를 수신된 원신호에서 제거하면 아래와 같이 재밍신호가 제거된 신호만을 획득할 수 있다.

$$\hat{r}[i] = s[i] + (j[i] - \hat{j}[i]) + n[i] \quad (10)$$

따라서 본 논문에서 제안하는 재밍신호 제거기법을 이용하면 주파수 영역에서 추정된 재밍신호를 시간영역에서 생성하여 수신된 신호에서 재밍신호만을 제거하므로 IFFT (inverse-FFT) 과정을 생략할 수 있어 N -point IFFT 연산을 위한 $M \log_2 N$ 의 복소수 곱셈을 생략할 수 있으므로 하드웨어 복잡도를 기존대비 절반 수준으로 낮출 수 있다. 또한, 수신된 신호에서 추정된 재밍신호만을 제거해줌으로써 원신호의 왜곡을 크게 줄일 수 있다.

2) FFT 연산을 위한 복잡도는 $M \log_2 N$ 번의 복소수 연산을 필요로 함

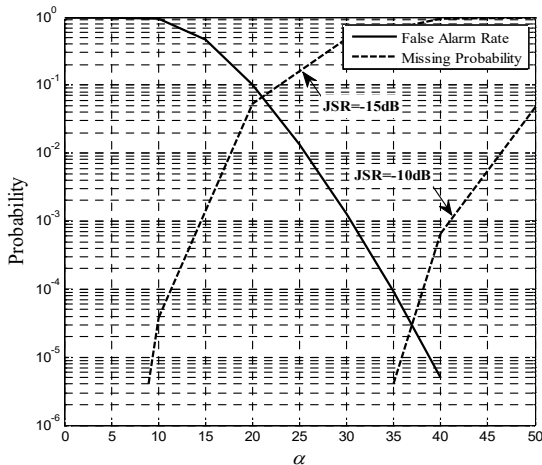


Fig. 3. False alarm and Missing Probability for setting of α

2.2 모의실험 결과

본 장에서는 전산실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 검증한다.

2.2.1 파라미터 설정

무인항공기용 상향링크 시스템을 위한 파라미터의 경우 실제 운용간 보안사항으로 본 논문에서는 제외하였으며 제안하고자하는 기법에 해당하는 파라미터만 기술하였다. 변조방식은 BPSK로 고정하였으며, FFT 크기는 256으로 설정하였고 Tx 및 Rx 필터는 root raised cosine (RRC) 필터를 사용하였다. 다중 협대역 재밍신호의 개수는 1개와 2개로 고정하여 실험을 수행하였다.

2.2.1.1 임계값(T) 설정

본 논문에서는 수신신호에서 재밍신호의 유무를 판단하는 임계값을 최적화하기 위하여 전산시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 3은 백색가우시안잡음을 8dB로 설정하였을 때 α 값에 따른 오탐지율과 분실률을 측정한 것이다. 일반적으로 재밍신호가 존재하지 않을 때, 오탐지율에 의한 원신호 제거로 인한 성능 열화와 재밍신호가 존재할 때, 재밍신호의 분실판단으로 인한 성능 열화 정도는 후자가 성능에 결정적인 영향을 미치게 된다. 이를 고려하여 본 시뮬레이션 결과에서는 α 값을 15로 설정하였으며 2.2.2의 시스템 성능 결과는 이를 바탕으로 결과를 도출하였다.

2.2.2 시스템 성능

2.2.1절에서 설정한 파라미터를 이용하여 전산시뮬레이션을 수행하였으며 제안하는 기법의 성능을 검증하였다. Fig. 4는 수신된 신호가 수신 필터를 거친 후의 스펙트럼을 보여준다. 2개의

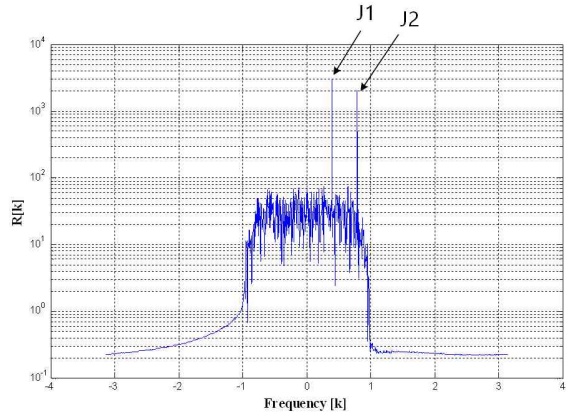


Fig. 4. Received signal with multi-jamming signal after RRC filtering

협대역 재밍신호가 유입되었으며 두 개의 재밍신호 대비 신호의 전력비율은 10dB로 설정하였고 백색가우시안잡음은 6dB와 8dB로 설정하였다. 협대역 재밍신호 대비 확산된 신호로 신호를 수신하게되면서 원신호대비 재밍신호의 비는 약 15dB 이상 차이 나는 것을 확인할 수 있다.

Figure 5는 제안하는 성능을 기존에 제안된 성능과 비교하여 나타낸 것이다[9,10]. Threshold Clipping 기법의 경우 재밍신호가 임의의 임계값 이상으로 수신되면 재밍신호의 크기를 임의의 값으로 감쇄하여 신호처리를 하는 기법이며, Threshold Zeroize 기법은 재밍신호가 임의의 임계값 이상으로 수신되면 그 주파수 성분의 크기를 0으로 감쇄하여 신호처리를 하는 기법이다. 신호대잡음비가 6dB이고 단일 협대역 재밍신호가 유입되었을 때, 재밍신호대신호의 비에 따른 BER(Bit Error Rate) 성능을 나타내었다. 재밍신호 제거기법이 적용되

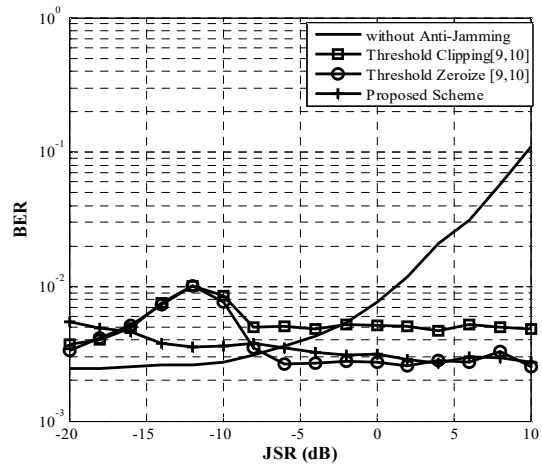


Fig. 5. BER performance of proposed scheme versus JSR (SNR : 6dB, $L = 1$ (Single Tone))

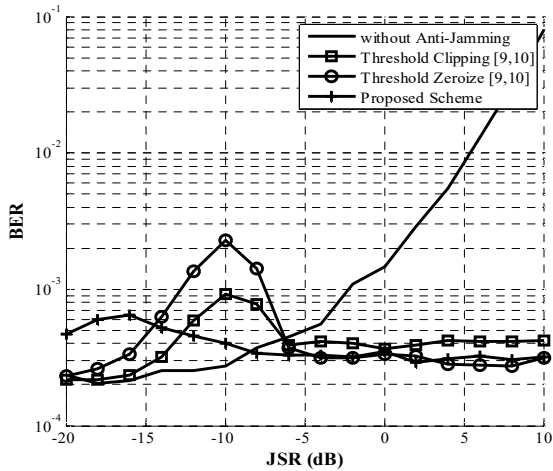


Fig. 6. BER performance of proposed scheme (SNR : 8dB, $L = 2$ (Double Tone))

지 않은 시스템에서는 낮은 JSR에서 상대적으로 좋은 성능을 보이나 높은 JSR에서는 원신호를 복구할 수 없을 정도의 신호왜곡이 발생한다. 반면에 제안하는 알고리즘의 경우, 낮은 JSR 영역에서는 재밍신호의 오판단으로 인하여 원신호를 제거하는 현상으로 재밍신호 제거기법이 없는 시스템에 비하여 상대적으로 성능열화의 정도가 있으나 그 수준이 미미하다. 그러나 높은 JSR 영역에서는 기존에 제안된 다른 기법과 유사하거나 더 좋은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

Figure 6은 신호대잡음비가 8dB이며 2개의 협대역 재밍신호가 유입되었을 때의 재밍신호대신호의 비에 따른 BER 성능을 나타낸 것이다. 기존에 제안된 기법은 특정 JSR에서 재밍신호가 존재함에도 재밍신호를 분실판단하여 성능이 급격히 나빠지는 경우가 존재한다. 반면에 제안하는 기법은 분실판단률이 낮아 상대적으로 안정적인 성능을 기대할 수 있다. 또한, 낮은 JSR 영역에서의 기존기법대비 상대적으로 높은 BER의 경우 FFT Size를 키워 오판단률을 낮춤으로써 더 나은 성능을 기대할 수 있다.

Figure 7은 신호대잡음비가 6dB이고 단일 협대역 재밍신호가 유입되었을 때의 FFT size에 따른 BER 성능을 나타낸 것이다. FFT size가 커질수록 안정된 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 FFT Size가 커질수록 재밍신호의 주파수성분의 추정이 정확해질 뿐만 아니라 주파수 bin 간격이 좁아지면서 재밍신호의 크기로 나타나는 위상성분의 추정도 정확해지기 때문이다. 하지만 본 시뮬레이션 환경에서는 1024 이상의 FFT 크기에서 일정수준 이상의 성능 이득을 기대할 수 없었

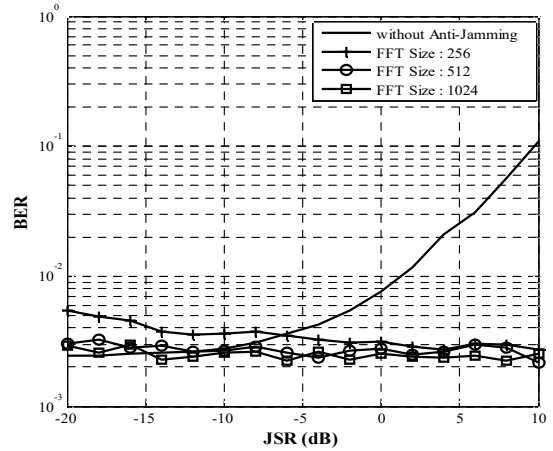


Fig. 7. BER performance versus FFT Size (SNR : 6dB, $L = 1$ (Single Tone))

으며 이는 재밍신호의 영향보다는 백색가우시안잡음의 영향으로 인한 것임을 알 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 직접대역확산방식을 사용하는 무인항공시스템에서 상향링크의 강건성을 강화하기 위하여 수신된 신호에서 다중 톤 재밍신호를 제거하는 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 기존에 제안된 기법들 중 FFT를 사용하여 주파수 영역에서 재밍신호를 제거하는 기법대비 IFFT 과정을 생략하고 시간영역에서 재밍추정신호를 생성함으로써 하드웨어 복잡도를 절반수준으로 낮추었으며 특정 JSR에서 재밍신호의 분실판단으로 인한 급격한 성능열화를 보이지 않고 넓은 JSR 범위에서 안정적인 성능을 보여준다. 제안하는 기법을 기존에 구현된 무인항공 데이터링크 시스템에 적용하였을 때 수신부에 FPGA나 칩 형태로 추가하여 구현할 수 있는 부분으로 기존 하드웨어의 설계변경이 크지 않으며, 하드웨어 복잡도가 높지 않기 때문에 무인항공기 탑재장비 무게 증가에 대한 부담을 최소화할 수 있다.

그러나 본 논문에서는 알고리즘 및 전산시뮬레이션만 수행하였기 때문에 실제 무인항공기에 적용하기 위해서는 고려해야 할 사항들이 있다. 프로펠러에 의한 특정 주파수에서의 간섭 영향 및 항공기의 탑재 안테나 위치에 따른 전파 영향성 분석 등 추후 실제 항공기에 적용하여 본 논문에서 제안하는 알고리즘 검증 및 성능 개선에 대해서 다룰 필요가 있다.

References

- 1) A. Restas, "Drone Applications for Supporting Disaster Management," *World Journal of Engineering and Technology*, Oct. 2015.
- 2) A. Barr, G. Bensinger, "Google Is Testing Delivery Drone System," *Wall Street Journal*, Aug. 2014.
- 3) R. Poisel, "Modern Communications Jamming Principles and Techniques," 2nd edition, 2011.
- 4) JG Proakis, "Spread Spectrum Techniques and Applications Preceedings," *IEEE 4th International Symposium on 25-25*, Sept. 1996.
- 5) M. J. Bouvier and Jr., "The Rejection of large CW interference in spread spectrum systems," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 26, Feb. 1978, pp. 254~256.
- 6) H. V. Poor and L. A. Rusch "Narrowband interference suppression in spread spectrum cdma," *IEEE Pers. Commun.* Third Quarter 1994.
- 7) L. Li and L. B. Milstein, "Rejection of Narrow-band Interference in PN Spread-Spectrum Systems Using Transversal Filters," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. COM-30, May 1982, pp. 925~928.
- 8) R. C. Dipietro, "An fft based technique for suppressing narrow-band interference in pn spread-spectrum communication systems," *IEEE International Conference on Acoustics Speech and Signal Processing*, 1989, pp. 1360~1363.
- 9) J. A. Young and J. S. Lehnert, "Analysis of DFT-based frequency excision algorithms for direct-sequence spread-spectrum communications," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 46, Aug. 1998, pp. 1076~1087.
- 10) J. A. Young and J. S. Lehnert, "Performance metrics for windows used in real-time dft-based multiple-tone frequency excision," *IEEE Trans. Signal Process.* Vol. 47, No. 3, Mar. 1999.