

항재밍 알고리즘 테스트베드 구축 및 성능 검증

안 재 하*

Testbed Construction of Anti-Jamming Algorithm and Performance Verification

Jaeha Ahn*

요 약

본 논문에서는 기존 FFT 노치필터에 기반한 항재밍 알고리즘에 대한 테스트베드를 구성하고 이를 통해 항재밍 알고리즘의 실제 효과를 확인한다. 기존 논문에서는 시뮬레이션을 통해 항재밍 알고리즘의 성능을 검증했으나 톤재밍 환경에서만 확인하였다. 본 논문은 자체 개발한 모델 송수신기를 통해 실제 항재밍 알고리즘을 통해 톤재밍, 부분대역재밍, 스위프재밍과 같은 다양한 재밍 환경 하에서도 통신이 가능한 것을 확인했다.

Key Words : Antijamming, Notch-Filter, Satellite Communication, Testbed, Signal Processing

ABSTRACT

This paper shows the testbed construction of anti-jamming algorithm and verifies the performance of the anti-jamming algorithm. Previous work showed the performance of anti-jamming algorithm through the simulation and the simulation was performed only for tone jamming. On the contrary, this paper shows that the anti-jamming algorithm enables to communicate in various jamming environments such as tone jamming, partial band jamming, and sweep jamming through its own developed equipment.

I. 서 론

위성통신은 전세계 어디서든 통신할 수 있는 광역성이 주요한 특징 중 하나로 가진다. 이로 인해 지상 통신이 어려운 항공기, 선박, 섬과 같은 기지국을 설치하기 어려운 곳에서 활용되고 있다. 하지만 광역성과 동시에 통신을 방해하는 재밍신호에 취약하다는 약점을 가진다. 따라서 위성데이터링크를 개발함에 있어서 재밍신호에도 통신할 수 있는 항재밍 알고리즘이 필요하다. 항재밍 알고리즘은 FHSS 기법을 통해 주파수를 도약하며 재밍의 영향을 감소시키게 하는 방법^[1]과 재밍신호가 있는 상황에 DSSS방식을 사용했을 때 성능을 분석^[2], 그리고 부분대역 재밍에서 FHSS 기반의 통신을 할 때 극부호와 같은 채널코딩 기법을 개발^[3]과 같은 다양한 연구들이 진행되었다. 제어채널(제어링크)에서는 실제 대역폭이 크지 않아 대역확산방식을 통해 대전자전 능력을 보유할 수 있지만 전송채널(영상링크)과 같이 광대역 링크에서는 대역확산방식을 사용하기 어려운 실정이다. 따라서 광대역의 신호에서는 대역확산 방식이 아닌 항재밍 능력을 보유한 대안이 필요하다.

기존 연구에서 항재밍 특성을 갖는 알고리즘을 개발하였고 항재밍 알고리즘에 대한 성능을 시뮬레이션 상으로 확인하였다.^[4] 본 논문에서는 기존 논문에서 제안한 알고리즘을 바탕으로 테스트베드를 구축하고 톤재밍에 대한 항재밍 알고리즘 성능뿐 아니라 부분대역재밍, 스위프재밍 하에서 항재밍 알고리즘 성능을 확인한다.

II. 본 론

기존 논문에서는 FFT 사이즈가 증가할수록 BER 성능 개선, 재밍신호 개수가 증가함에 따라 BER 성능 저하를 확인했다. 또한 널링포인트를 확장시킴으로써 재밍신호가 FFT 부채널의 소수부일 때에 주파수 영역에서 주변 주파수에 퍼지는 현상이 발생하여 복조가 안되는 현상을 극복하는 방안을 제시했다.

본 논문에서는 테스트베드를 구축함으로써 널링기반의 항재밍 알고리즘이 실제 장비에서 동작하는지 확인하였고 항재밍 알고리즘의 성능을 확인하였으며 또한 재밍, 웨이브폼 종류에 따라 성능이 어떻게 변화되는지 확인하였다.

* First Author : (ORCID:0000-0002-0088-3136) Agency for Defense Development, anjaha@add.re.kr, 정희원
논문번호 : 201907-140-D-LU, Received July 25, 2019; Revised August 13, 2019; Accepted August 13, 2019

항재밍 알고리즘은 그림 1과 같이 FFT, 이동평균, 임계값 설정, 노치필터링, IFFT의 과정을 거친다.

FFT를 거치면 N개의 심볼에 대한 스펙트럼 전력 밀도를 실시간에 근접하게 관찰할 수 있다. 하지만 시간마다 전력밀도가 급격하게 변하기 때문에 전력밀도 레벨이 높게 나타난 지점은 재밍 신호로 간주되어 탐지되는 허위경보의 확률이 높아지고 원신호의 심각한 왜곡을 야기시켜 복조할 수 없게 된다.

이를 방지하기 위해 이동평균을 통하여 스펙트럼 전력 밀도 곡선을 스무딩시키는 작업을 한다. 이동평균을 처리하는 방법은 단순이동평균, 가중이동평균, 기하이동평균 등이 있지만 본 논문에서는 기하이동평균을 사용하였다.

이동평균 후에는 스펙트럼 전력밀도의 평균값을 구하고 평균값의 A배가 되는 값을 임계값으로 설정한다. 본 논문에서는 A를 5로 설정해 진행하였다. 임계값을 설정하면 스펙트럼 전력밀도에서 임계값보다 큰 지점을 재밍신호로 탐지하고 탐지된 지점 주위의 지점도 포함하여 노치필터를 거친다. 이는 이전 연구에서 재밍 신호가 FFT 주파수의 소수배인 경우 생기는 리플로 인해 복조가 안되는 현상을 방지하기 위함이다.

테스트베드는 그림 1과 같이 송수신기(모뎀) 2개와 송수신기 전원공급장치, 신호생성기(재밍, 노이즈 소

스), 송수신기 제어모의기(pc), 케이블 류로 구성된다. 송수신기 모뎀은 자체개발장비로 CPU는 ARM Cortex OMAP3530, FPGA는 Virtex7 XC7690T를 사용하였다.

항재밍 알고리즘을 제어하는 제어모의기 GUI는 파라미터를 제어하는 부분과 상태정보를 확인할 수 있는 부분으로 나뉜다. 항재밍 제어 및 상태정보 파라미터는 표 1과 같다.

실제 시험은 재밍분류, 부호율, 대역폭, JSR에 따라 BER 기준 10^{-6} 이하로 떨어지는 SNR의 값을 0.1dB 단위로 변화시켜가면서 찾았다. 변조방식은 QPSK, 부분대역재밍의 대역폭은 200kHz로 일정하다. 실험결과에서는 표시되지 않았지만 항재밍 알고리즘이 없는 경우, 재밍신호가 인가되었을 때 복조가 불가능하여 동기화가 되지 않아 성능을 측정할 수 없었다.

기존 연구되었던 FHSS 시스템에서 연결 극부호를 활용해 복호하는 기법에서 제안한 시뮬레이션 결과와 본 논문의 결과를 비교하기에는 변수와 변복조 방식이 상이하여 수치적으로는 힘들다. 하지만 전반적인 경향을 비교하자면 기존 연구에서 변복조 방식은 BPSK로 본 논문에서의 QPSK 변조방식보다 재밍과 같은 간섭신호에 강한 특성을 가진다. 그러나 E_b/N_j 가 15~20dB에서 BER 10^{-5} 이하로 나타나게 되는 반면, 본 논문에서 노치필터를 통한 항재밍 알고리즘의 경향은 JSR이 20dB인 경우, 즉 E_b/N_j 가 음

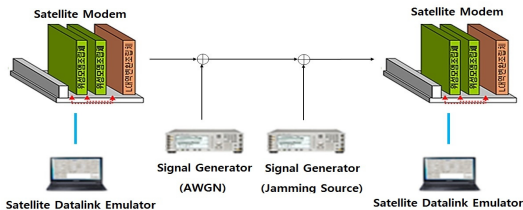


그림 1. 항재밍 알고리즘 테스트베드 구성
Fig. 1. Configuration of anti-jamming algorithm testbed



그림 2. 항재밍 알고리즘 블록도
Fig. 2. Block diagram for anti-jamming algorithm

표 1. 항재밍 알고리즘 제어모의기 GUI 파라미터
Table 1. GUI parameters of anti-jamming algorithm controller

Parameter		
Control	Mode	Decision of anti-jamming algorithm process (Default: No process, Anti-jamming: Process, Autonomous: Process only for detecting jamming)
	MOD_SPEC	Autonomous mode threshold
	JAM_SPEC	Jamming detection threshold
Expand	Number of additional nulling points about jamming detected interval	
Status	Setting Mode	Current setting mode (default, anti-jamming, autonomous)
	Operating Mode	Current operating mode (default, anti-jamming)
	JSR	Jamming power to signal ratio(dB)
	Jamming Detection	Number of jamming detected points

의 값을 가지더라도 BER이 10^{-6} 이하로 나타났다. 따라서 기존의 확산방식, 채널코딩을 통한 항재밍 방식 대비 노치필터 기반 항재밍 알고리즘이 최소 15dB 이상의 높은 재밍 신호에도 강인한 경향을 보인다.

표 2는 변조방식 및 부호율이 QPSK 3/4 일 때, 통신 대역폭과 JSR에 따른 성능을 나타냈다. 먼저 톤재밍일 때에 부분대역재밍일 때보다 BER 성능을 만족시키는 SNR 대체로 낮으나 대역폭이 16MHz의 광대역일 경우, 근소하게 부분대역재밍에서 SNR 측면에서 좋은 성능을 보여주었다. 또한 JSR이 0, 10 dB 환경에서는 BER 조건을 만족하는 SNR이 큰 차이를 보이지 않았으나 20 dB로 증가할 때, 톤재밍에서는 약 1dB 증가하였고 부분대역재밍에서는 대역폭이 좁을 때에는 3dB, 대역폭이 넓은 경우 0.5dB이하의 증가를 보였다.

표 3은 부호율을 달리한 항재밍 알고리즘 성능을 나타내며 이 때에 대역폭은 2MHz로 동일하다. 부호율 5/6에서는 JSR이 20dB에서 동기화가 되지않아 15dB에서 실험을 수행했다. 부호율이 3/4인 경우가 5/6일 때보다 성능이 좋았다. 경향은 표2와 비슷하나 부호율이 5/6일 때 부분대역재밍을 가할 경우에만 JSR이 0dB와 10dB에서 약 3dB의 성능차이를 보였다.

표 4는 기타의 실험으로 여러 개의 톤재밍이 있을 때, 스위프재밍이 있을 때에 대한 표로 QPSK 5/6을 유지하며 실험을 수행했다. 톤재밍 실험은 각각 JSR

표 2. 대역폭에 따른 항재밍 알고리즘 성능
Table 2. Performance in dependent of bandwidth

Band width [MHz]	MCS	Jamming Type	JSR[dB]	SNR[dB]
2	QPSK 3/4	Tone	0	5.5
			10	5.5
			20	6
0			5.5	
10			5.6	
20			6.5	
8		Tone	0	5.3
			10	5.2
			20	6.4
PBJ			0	9.9
			10	9.6
			20	12.6
	0	6.6		
	10	6.5		
	20	7.5		
16	PBJ	0	4.9	
		10	4.8	
		20	5.2	

표 3. 변조방식 및 부호율에 따른 항재밍 알고리즘 성능
Table 3. Performance in dependent of modulation and code rate

Band width [MHz]	MCS	Jamming Type	JSR[dB]	SNR[dB]
2	QPSK 3/4	Tone	0	5.5
			10	5.5
			20	6
			0	6.1
			10	6.1
			20	7.1
	QPSK 5/6	PBJ	0	9.9
			10	9.6
			20	12.6
			0	10.9
			10	13.6
			15	15.2

표 4. 다양한 재밍에 따른 항재밍 알고리즘 성능
Table 4. Performance in various jamming environments

Band width [MHz]	MCS	Jamming Type	JSR[dB]	SNR[dB]		
2	QPSK 5/6	2-Tone	10	7.2		
		3-Tone	10	8.4		
		4-Tone	10	10.7		
		Sweep	0	6		
		Sweep	10	6.6		
		Sweep	20	7.8		
		30	QPSK 5/6	2-Tone	10	8
				3-Tone	10	9.2
				4-Tone	10	11.8
				Sweep	0	6.8
				Sweep	10	7
				Sweep	20	8.3

10dB인 톤재밍신호의 개수를 증가시키며 실험하였으며 스위프재밍 실험에서는 대역폭이 2MHz일 때에는 스위프속도를 1.6MHz/s, 대역폭이 30MHz 일 때에는 100 MHz/s로 설정하였다. 톤재밍 신호가 증가할수록 BER조건을 만족하는 SNR은 1~2dB씩 증가하는 것을 확인하였다. 스위프재밍은 JSR이 증가함에 따라 근소하게 SNR이 증가하는 추세를 보였다.

또한 표에서 나타나지 않았지만 톤/부분대역재밍의 위치가 변화되어도 성능상 변화가 없다는 것을 확인하였다.

III. 결 론

본 논문에서는 널링기반의 항재밍 알고리즘의 성능

을 확인하는 테스트베드를 구성하였고 이를 통해 기존 논문에서 모의실험으로 검증한 톤재밍에서뿐만 아니라 부분대역재밍, 스웱재밍에서도 성능을 검증했다.

실험을 통해 확인할 수 있는 것은 항재밍 알고리즘은 톤재밍, 부분대역재밍, 스웱재밍에서 모두 유의미한 성능을 나타냈다. 항재밍 알고리즘이 없는 경우 모든 종류의 재밍에 복조 및 동기화가 되지 않았으나 항재밍 알고리즘을 적용한 경우 특정 SNR 이상이 되면 동기화 및 복조가 가능하고 시스템 요구사항인 BER 10^{-6} 을 만족했다.

표에서 나타나지 않았지만 이산적인 스웱재밍 하에서는 JSR이 낮은 경우에서도 SNR 상관없이 동기화/복조가 되지 않았다. 따라서 향후 연구에서는 더 다양한 재밍환경에서도 통신이 가능한 알고리즘이 개선될 필요가 있다.

References

- [1] H. Lee, S. Kim, and J. Chung, "Improvement of anti-jamming performance of FHSS," in *Proc. Symp. KICS 2017*, pp. 645-645, Korea, Nov. 2017.
- [2] J.-D. Ko and H.-G. Ryu, "Anti-jamming performance analysis in the satellite link system of DS-SS," in *Proc. Symp. KICS 1997*, pp. 280-284, Korea, Jan. 1997.
- [3] H. Ahn, J.-S. No, G. Kim, H.-Y. Song, and J. Ahn, "Design and decoding scheme of the concatenated polar codes under partial-band jamming channel," *J. KICS*, vol. 44, pp. 212-220, Feb. 2019.
- [4] S. Park and J. Cha, "Anti-jamming algorithm based on FFT notch filter to enhance the survivability of a satellite communication," *J. IEIE*, vol. 55, no. 5, pp. 3-10, May 2018.