

Link-16 시스템에서 재밍판단 확률이 다이버시티 결합 수신기의 성능에 미치는 영향

김유라*, 유상조*, 김수일**, 김기선*

*광주과학기술원, **국방과학연구소

*{yural518, asapyoo, kskim}@gist.ac.kr, **sikim777@add.re.kr

Effects of Jamming Detection Probability on Diversity Combining Receiver in Link-16 system

Yura Kim*, Sangjo Yoo*, Suil Kim**, Kiseon Kim*

*Gwangju Institute of Science and Technology, **Agency for Defense Development

요약

Link-16은 미국, NATO 가입국 및 국내에서 널리 운용되고 있는 공대공, 공대지, 공중-대-해상 통신용 전술데이터링크이며 운용모드에 따라 단일펄스모드(Single-pulse Mode, SPM)와 이중펄스모드(Double-pulse Mode, DPM)로 나뉜다. Link-16 시스템이 DPM으로 운용될 때, 실제 환경에서는 수신기 측에서 다이버시티 결합을 위한 모든 사전정보를 얻기 힘들기 때문에 본 논문에서는 단순화된 Link-16시스템인 FFH/BFSK 시스템에서 재밍판단 확률이 다이버시티 결합 수신기에 미치는 영향을 분석하고 selection combining (SC), hybrid combining (HC) 기법을 위한 재밍판단기의 설계지표를 제시한다. 본 논문의 결과는 추후, Link-16 수신기 설계에 활용될 수 있다.

I. 서론

Link-16은 미국 및 NATO 가입국들의 공대공, 공대지, 공중-대-해상 통신용 주 전술데이터링크이며 국내에서도 Link-22와 함께 운용되고 있다. Link-16 시스템은 단일펄스모드와 이중펄스모드(Double-pulse Mode, DPM)를 지원한다 [1-2]. DPM은 동일한 펄스를 서로 다른 두 개의 홉으로 전송하는 모드로, 이 경우 Link-16 웨이브폼은 도약 홉이 두 개($L=2$)인 빠른 주파수 도약 기법(fast frequency hopping, FFH)으로 볼 수 있다. 수신기 측에서는 반복 전송된 동일 신호들을 적절히 결합하여 다이버시티 이득을 얻음으로써 항재밍 성능을 향상시킬 수 있다.

Link-16의 다이버시티 결합 수신기(diversity combining receiver, DCR)에 관한 연구로는 equal gain combining (EGC) [2], selection combining (SC), SC와 EGC를 혼합한 hybrid combining (HC) [3], maximum likelihood combining (MLC) [1] 등이 있다. [1-3]에서 제안된 DCR 관련 연구들은 홉의 재밍여부, 재밍전력, 잡음전력과 같은 사전정보들을 완벽하게 알고 있음을(perfect side information, PSI) 가정하여 성능분석을 진행하였으나, 실제 전파환경에서의 PSI획득은 매우 어렵다. 그 예로, [4]에서는 부분대역재밍(partial band noise jamming, PBNJ)환경에서 각 홉의 재밍 여부에 대한 사전정보를 얻을 수 있는 FFH 수신기를 제안 하였으나, PSI를 얻는 것은 불가능하였으며, 특히 SJR(signal-to-jamming ratio)이 15dB이상인 구간에서 10% 이하의 재밍 검과성능을 보였다. 낮은 신뢰도의 사전 정보는 DCR의 성능을 열화시키므로, 현실적인 Link-16 DCR 개발을 위해서는, 불확실한 사전정보를 고려한 성능 분석이 필수적이다.

한편, [5]에서는 FFH-FSK 시스템에서 사전정보가 필요 없는 product combining (PC)기법이 제안된바 있다. 해당 기법은 사전 정보가 필요한 기법들에 비해 비교적 수신기의 설계가 단순하나, 준 최적 성능으로 인해 낮은 SJR영역에서 성능 열화를 겪는다. 만약 사전정보가 필요한 DCR을 설계할 경우, 사전정보를 얻기 위해 재밍 검출기와 같은 추가적인 하드웨

어가 필요하므로, PC기법에 비해 복잡도가 증가하게 된다. 합리적인 DCR 설계 관점에서, 증가된 복잡도만큼의 성능 이득을 얻을 수 있어야 하므로, 재밍 검출기를 고려한 DCR은 PC기법에 비해 성능이 좋아야 한다.

본 논문에서는 AWGN 및 PBNJ환경에서, Link-16 수신기가 사전정보가 필요한 DCR을 사용하는 경우, 재밍판단 확률에 따른 항재밍 성능을 분석하고자 한다. 이를 위해, PSI를 가지는 SC, HC, MLC기법, 사전정보가 필요 없는 EGC 및 PC기법들 간의 성능을 비교분석하고, 재밍 판단 확률에 따른 SC, HC기법의 성능열화를 분석하여 최종적으로 실제 환경에서 SC, HC기법을 위한 재밍판단기의 설계지표를 제시하고자 한다. 본 논문에서는 Link-16의 순환천이변/복조, 인터리버, (31,15) 리드-솔로몬 부/복호기에 의한 성능이득은 단순한 코딩 이득으로 나타나므로, 본 논문에서는 단순화된 FFH/BFSK 칩 복조기의 성능만을 고려한다.

II. 본론

A. 시스템 모델

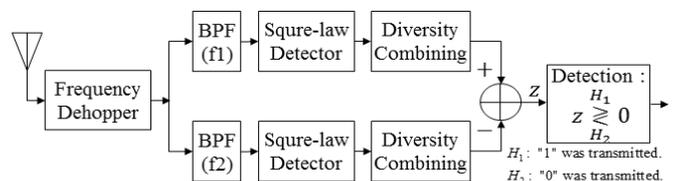


그림 1. Link-16에서 비동기식 FFH/BFSK 칩 복조기

Link-16 시스템이 DPM으로 운용될 때 시스템 모델은 [1]의 그림 1과 같고, 본 논문에서 고려하는 비동기식 FFH/BFSK 칩 복조기의 구조는 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. N_0 의 잡음전력을 가지는 AWGN채널과 N_J 의 재밍전력을 가지는 PBNJ를 거쳐 수신된 신호는 먼저 주파수 역 도약되고 band pass filter (BPF)를 거친다. 이 후, 비동기식 검파기인 Square-law 검파기를 거쳐 다이버시티 결합을 수행한 후 decision을 수

행한다. 다이버시티 결합 기법은 SC, HC, MLC, EGC, PC를 고려한다.

결합 기법	MLC	SC	HC	EGC	PC
필요 사전 정보	잡음전력 (N_0) 재밍전력 (N_j) 재밍여부 (j_l)	재밍여부 (j_l)			없음

표 1. 다양한 다이버시티 결합 기법에 따른 필요 사전 정보

B. 다이버시티 결합 기법 및 필요 사전 정보 분석

표 1은 다이버시티 결합 기법에 따른 필요 사전 정보를 정리한 결과이다. MLC기법은 신호를 결합하기 위해 가장 많은 양의 사전 정보를 필요로 하며, 이에 비해 SC, HC기법은 각 홉에 대한 재밍 여부만을 이용해 신호를 결합한다. 여기서 l 번째 홉의 재밍 여부는 다음과 같이 정의 할 수 있다:

$$j_l = \begin{cases} 1, & \text{if } l\text{th hop is jammed} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

이때, j_l 은 l 번째 홉의 PSI이다. SC, HC기법에 필요한 사전정보검출을 위해 임의의 오류를 가지는 가상의 재밍 판단기를 고려하였으며, PBNJ환경에서의 재밍 판단 오류 확률은 다음과 같이 정의 한다:

$$P_{JE} = P(\hat{j}_l = 0 | j_l = 1) = P(\hat{j}_l = 1 | j_l = 0), \forall l \quad (3)$$

\hat{j}_l 는 재밍판단기를 통해 추정된 사전정보이며, $P_{JE} = 0$ 인 \hat{j}_l 는 PSI이다.

C. 칩 에러 확률 성능 분석

각각의 다이버시티 결합기법이 적용되었을 때 재밍 당한 홉의 개수에 따른 칩 에러 확률은 p_{cl} 로 나타낼 수 있으며 여기서 l 은 총 L 개의 홉 중 재밍 당한 홉의 개수이다. 이때, 평균 칩 에러 확률은 다음과 같다 [2] :

$$p_c = \sum_{l=0}^L \binom{L}{l} \rho^l (1-\rho)^{L-l} p_{cl} \quad (3)$$

III. 시뮬레이션 결과

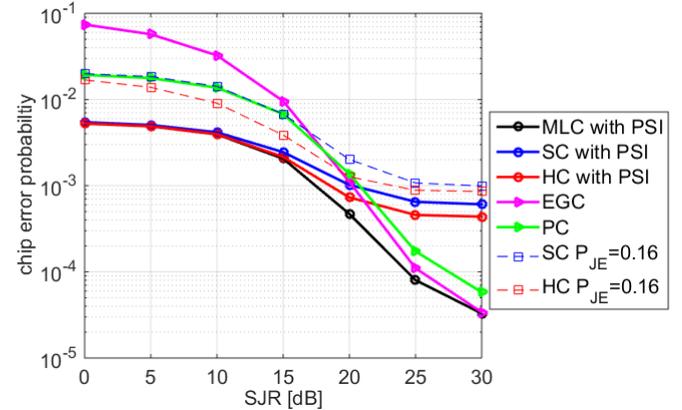
그림 2는 AWGN채널 (신호대잡음비: 13.35dB) 및 PBNJ 환경 (재밍 비율: $\rho=0.1$)에서 다양한 다이버시티 결합기법을 적용했을 때의 p_c 를 비교한 결과이다. 그림 2의 (a)에서 PSI를 고려한 SC, HC, MLC, EGC, PC기법들의 성능을 비교하였다. 낮은 SJR일 때는 재밍여부정보만을 필요로 하는 SC, HC기법을 적용했을 때 MLC의 성능에 근사하였고, 사전정보가 필요 없는 PC, EGC 기법 순으로 성능이 열화되었다. 하지만 SJR = 20dB 이후로 PC, EGC기법이 SC, HC기법 보다 성능이 좋아지면서 MLC기법의 성능에 근사하였다.

그림 2의 (b)는 SJR = 15dB인 환경에서 재밍 여부만을 가지고 결합하는 SC와 HC 기법의 P_{JE} 에 따른 성능을 비교하였다. SJR = 15dB일 때, SC기법은 $P_{JE} = 0.16$, HC기법은 $P_{JE} = 0.5$ 일 때 PC기법의 성능에 근사하였다. 합리적인 DCR 설계 관점에서, 사전정보를 이용하는 SC 및 HC 수신기의 성능이 사전정보를 이용하지 않는 PC기법 보다 성능이 좋아야 한다. 따라서, $\rho=0.1$ 인 PBNJ 환경에서, SC, HC기법을 위한 재밍판단기의 설계 시, 정확도가 최소 84%정도를 가지도록 설계해야 함을 알 수 있다.

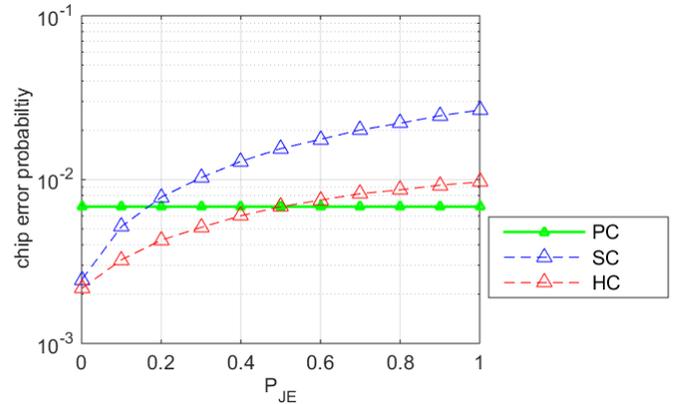
V. 결론

본 논문에서는 Link-16 시스템이 DPM으로 운용될 때를 고려하여, AWGN 채널 및 PBNJ 환경에서 비동기식 FFH/BFSK 수신기에 다양한

다이버시티 결합기법을 적용하여 항재밍 성능을 비교하였다. 또한, 재밍 여부 정보만을 이용하는 SC와 HC기법을 이용할 때 재밍판단 확률에 따른 성능 열화 정도를 분석하였다. 분석 결과, 재밍판단성능이 열화될수록 칩 에러 성능이 열화되었으며 수신기의 복잡도 및 성능을 고려하여 $\rho=0.1$ 인 PBNJ 환경에서 SC, HC기법을 위한 재밍판단기를 설계할 때 최소 84%정도의 정확도를 가지도록 설계를 할 경우, PC 수신기보다 20dB이하의 SJR에서 성능 개선이 가능함을 보였다.



(a) 결합기법에 따른 칩 에러 확률



(b) P_{JE} 에 따른 에러 확률 성능 (SJR = 15dB)

그림 2. $\rho=0.1$ 일 때, 다양한 다이버시티 결합기법에 따른 평균 칩 에러확률

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 신창엽 외 4인, “최대우도 다이버시티 결합을 고려한 Link-16 시스템의 항재밍 성능 분석 연구”, KICS 동계종합학술대회, pp.722-723, 2017
- [2] C. Kao, “A better channel coding for a Link-16 waveform in pulsed-noise interference”, Int. J. Commun. Syst. pp.1814-1824, 2014.
- [3] 노홍준 외 4인, “Link-16 웨이브폼 항재밍 성능 분석”, 한국통신학회지, 제35권, 제 12호, pp.1105-1112 2010. 12,
- [4] Z. Zhou et al., “Generation of Side Information for Fast Frequency Hopping in Partial-band Jamming” in Proc. IEEE 6th Int. Conf. Wireless Commun. Netw. Mobile Comput. pp.1-4, Sep. 2010.
- [5] R. Viswanathan and K. Taghizadeh, “Diversity combining in FH/BFSK systems to combat partial band jamming,” IEEE Trans. Commun., vol. 36, no. 9, pp. 1062 - 1069, Sep. 1988.