

VDES 수신기를 위한 주파수 오프셋 처리 방안 연구

류형직* · 김혜진* · 김원용* · † 박개명 · † 김준태 · † 유진호

*코메스타, † 한국선급

A Study on the Method to Treat Carrier Frequency Offset for VDES Receiver

Hyung-Jick Ryu · Hye-Jin Kim* · Wong-Yong Kim* · † Kae-Myoung Park
· † Jun-Tae Kim · † Jin-Ho Yoo*

**COMESTA Inc., Daejeon, 305-509, Korea
† Korean Register, Busan, Korea*

요 약 : 본 연구에서는 IALA G1139 지침에서 정의한 시스템 파라미터 및 요구 사항들을 바탕으로 한 수신기 물리계층 구현에 있어 주파수 오프셋 처리상의 어려움을 확인하였던 1차 연구에 이어 추가적인 검토와 주파수 오프셋을 효과적으로 처리하기 위하여 Training 심볼 길이 확장 및 차동 변조 방식에 대한 연구를 수행한다. 본 연구는 추후 IALA ENAV22 의제에서 다뤄질 예정이며, 추후 IALA 회의 결과를 바탕으로 주파수 오프셋 처리 방안을 선정할 예정이다.

핵심용어 : VDES, IALA G1139, ITU-R M.2092, 주파수 복원, 주파수 오프셋, Training 심볼 길이, 차동 변조

Abstract : *In this paper, We study additional consideration and method to treat carrier frequency offset on defined system parameter & requirements in IALA G1139, previous studied consecutively. We studied the method to treat carrier frequency offset by extending length of training symbol and by differential modulation. This study will publish and argue in IALA ENAV22. We will decide a method to treat carrier frequency offset from result of IALA ENAV22.*

Key words : *VDES, IALA G1139, ITU-R M.2092, Carrier Recovery, Frequency Offset, Length of Training Symbol, Differential Modulation.*

1. 서 론

VDES(VHF Data Exchange System)는 해상 VHF 무선 주파수 대역을 통해 선박간 통신, 선박과 해안국간 통신에 대한 차세대 해상무선통신시스템으로 GMDSS의 현대화 및 e-Navigation체계 구축을 위한 AIS(Automatic Identify System), ASM(Application Specific Messages), VDE와 같은 확장된 데이터 교환을 가능하게 한다.

국내에서의 VDES 통신시스템은 현재 해양수산부의 의뢰 하에 진행 중인 한국형 e-Navigation 사업의 제 3핵심과제 국제 표준 선도기술 연구개발 중 해상 무선통신(표준) 기술개발 분야에서 2020년 시범운용을 목표로 연구개발이 진행되고 있다.

VDES 시스템의 무선접속 및 전송규격은 ITU-R M.2092 권고안으로 시작, 최근 IALA로 업무가 이관되었고, IALA G1139 지침으로 개발되고 있다. VDES 물리계층은 TDMA 방식으로 설계되며, 프레임구조는 ITU-R M.1371 에서 권고한 Burst신호방식의 프레임 구조를 사용한다. 또한 Turbo code, CRC-32, 비트 스크램블러가 사용되며, PSK 및 QAM 계열의 변조방식을 사용한다 (IALA, 2017).

일반적으로 PSK 및 QAM 용 coherent 수신기는 신호 크기

안정화, 타이밍 및 주파수 동기가 이뤄진 상태에서 복조해야 이상적인 복조 성능을 기대할 수 있다. 이를 위한 동기 알고리즘은 통상적으로 송수신기간 약속된 Training 심볼들을 사용하게 된다.

IALA G1139 지침에서 Training심볼은 27심볼(IALA, 2017)로 정의하고 있는데, 모의 시험 결과 27심볼은 수신기 구현에 있어 주파수 오프셋 추정 및 보상 측면에서 상대적으로 매우 짧아 지침에서 목표로 하는 주파수 오프셋 최대 500 Hz 및 Turbo Code 사용에 따른 낮은 SNR에서의 운용에 어려움이 확인되었다(김혜진, 2017).

본 논문에서는 이와 같은 주파수 오프셋 추정 및 보상 측면에서의 어려운 점들에 대하여 추가적으로 검토하고, 효과적인 처리 방안들에 대하여 연구한다.

본 논문의 2장에서는 주파수 오프셋 처리 방안들에 대하여 기술한다. 3장에서 주파수 오프셋 처리 방안별 모의 시험한 결과를 분석하고, 4장에서 결론을 맺는다.

2. 주파수 오프셋 처리 방안

2.1 IALA G1139 지침에 따른 일반적인 주파수 복원 알고리즘

VDES 수신기는 IALA G1139 지침에 따라 PI/4-QPSK, 8PSK 및 16-QAM 변조를 사용하기 때문에 Coherent 수신기로 설계하기 위한 CR(Carrier Recovery) 기능을 사용한다.

VDES 수신기(김혜진, 2017)에서 CR 블록은 심볼을 대비 5.21% (ASM)에 해당하는 큰 주파수 오프셋을 처리하기 위해 Training 심볼용 syncword 27심볼을 사용한다. 이와 같이 짧은 길이의 Training 심볼로는 주파수 오프셋 추정에 있어 단일 추정 블록으로는 처리하기가 어렵다. 일반적으로 이와 같은 상황에서 CR은 넓은 주파수 오프셋을 처리할 수 있는 Coarse CR과 좁은 범위의 잔류 주파수 오프셋을 추적하기 위한 CR Tracking으로 분리하여 구성한다(김혜진, 2017).

일반적인 주파수 복원 알고리즘은 known symbol의 개수가 주파수 오프셋 추정 성능을 결정하는 중요한 파라미터가 된다. 본 논문에서는 일반적인 주파수 복원 알고리즘을 사용하였으며 다음과 같은 방식으로 주파수 오프셋 처리 효과를 확인하였다.

- IALA G1139 지침 하에서 일반적인 주파수 복원 알고리즘에 따른 성능 분석
- IALA G1139 지침으로부터 일부 Payload를 사용하여 Data Rate를 낮추는 대신 Training 심볼 길이를 늘려 주파수 오프셋에 대한 효과 확인

2.2 차동 변조

VDES 수신기에서 주파수 복원 알고리즘은 앞서 제기한 바와 같이 넓은 주파수 오프셋, 짧은 Training 심볼 및 낮은 SNR에서의 운용으로 인해 구현이 쉽지 않다. 따라서 IALA G1139 지침에서 지정한 변조방식과는 달라지지만, 구현이 용이하고, 전송 Data Rate를 유지할 수 있는 방법으로 차동변조(differential modulation) 방식을 고려할 수 있다.

일반적으로 기저대역에서 차동 변조 및 복조는 다음과 같은 연산으로 기술된다(Xiong, 2000). 아래 식(1)은 $(w_k + j * z_k)$ 로 표현되는 차동 변조 연산이며, 식(2)는 PSK 또는 QAM 심볼 $(x_k + j * y_k)$ 로 복원하기 위한 차동 복조 연산이다.

$$w_k = x_k x_{k-1} - y_k y_{k-1} ; z_k = y_k x_{k-1} + x_k y_{k-1} \quad (1)$$

$$x_k = w_k w_{k-1} + z_k z_{k-1} ; y_k = z_k w_{k-1} - w_k z_{k-1} \quad (2)$$

차동 변조방식을 적용한다면, 지침 G1139에서 정의한 변조 방식과는 다르지만, 지침에서 정의한 프레임 구조를 그대로 구현함으로써 G1139에서 목표로 하는 Data Rate는 유지할 수 있으며 주파수 오프셋에 대한 효과적인 처리가 가능한 장점이 있다. 이와 같은 이유로 차동 변조방식을 주파수 오프셋 처리 방안으로 고려하도록 한다.

3. 주파수 오프셋 처리 방안별 모의시험 결과

3.1 IALA G1139 지침 하에서 일반적인 주파수 복원 알고리즘 적용에 따른 BER 성능

IALA G1139 지침에 따른 물리계층 송수신기는 Burst 방식으로 동작하며, 주파수 오프셋은 주어진 Training 심볼 27개를 활용하여 처리된다. 특히 채널코덱으로 Turbo Code를 사용함에 따라 BER=1.0e-6에 대한 요구 SNR은 매우 낮다.

아래 표는 BER=1.0e-6 달성을 위한 요구 SNR을 분석한 것으로, IALA G1139 지침에 따르며 일반적인 주파수 복원 알고리즘을 적용한 수신기에 대하여 주파수 오프셋 500 Hz 하에서의 성능을 분석한 것이다.

모의 시험 결과, 일반적인 주파수 복원 알고리즘을 사용하는 경우 BER 성능은 coherent ideal sync. 대비 3.5 ~ 8.9dB 정도 열화 되는 것으로 확인되어 일반적인 주파수 복원 알고리즘으로는 수신기 구현이 어려운 상황인 것으로 판단된다.

Table 1 BER Performance with CR

LCID (MCS)	Ideal sync.	CR 적용 결과	CR 적용에 따른 성능 열화 (요구 SNR 차이)
	요구 SNR [dB] @ BER=1.0e-6	요구 SNR [dB] @ BER=1.0e-6	[dB]
05($\pi/4$ -QPSK3/4)	6.2	10.2	4.0
06($\pi/4$ -QPSK 3/4)	5.6	10.4	4.8
07($\pi/4$ -QPSK 3/4)	5.5	10.2	4.7
08($\pi/4$ -QPSK 1/2)	3.5	10.3	6.8
09($\pi/4$ -QPSK 1/2)	3.7	10.6	6.9
10($\pi/4$ -QPSK 1/2)	2.3	10.8	8.5
11($\pi/4$ -QPSK 3/4)	3	11.1	8.1
14($\pi/4$ -QPSK 3/4)	2.3	10.8	8.5
17($\pi/4$ -QPSK 3/4)	1.9	9.8	8.9
12(8PSK 3/4)	9.9	16	6.1
15(8PSK 3/4)	9.4	16	6.6
18(8PSK 3/4)	9.4	16	6.6
13(16-QAM 3/4)	11.8	15.3	3.5
16(16-QAM 3/4)	11.5	16.2	4.7
19(16-QAM 3/4)	11.5	16.1	4.6

3.2 Training 심볼 길이별 성능

일반적인 주파수 복원 알고리즘은 Training 심볼 개수가 중요하다. 하지만 IALA G1139 지침의 Training 심볼 27개는 길이가 짧아 주파수 오프셋 500 Hz에서 성능 열화의 원인이 된다.

본 절에서는 일반적인 주파수 복원 알고리즘을 적용한 경우, 주파수 오프셋 500 Hz를 처리할 수 있는 Training 심볼 개수 확인용 BER 성능을 분석하였다.

Table 2은 Fig. 1 그래프로부터 Training 심볼 개수별 BER=1.0e-6 달성에 요구되는 SNR을 정리한 표이다.

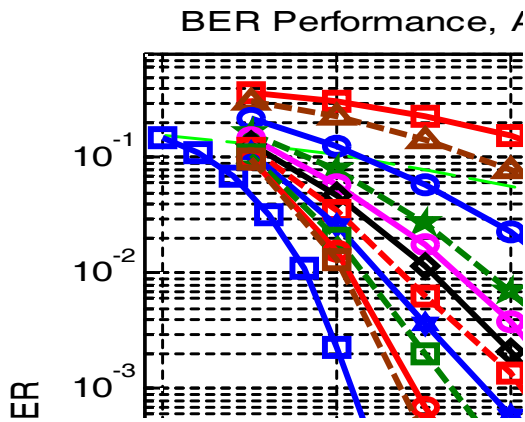


Fig. 1 BER Performance with Length of Training Symbols

Table 2에서 ideal sync. 하에서 성능은 BER=1.0e-6 기준으로 SNR 3.5dB였고, 일반적인 구현마진 1.5dB를 가정한 경우 목표 SNR은 5dB가 된다. 모의 시험 결과로부터 목표 SNR 5dB를 만족할 수 있는 Training 심볼의 개수는 170개 정도로 확인되었다. 또한 이 경우 계산상 Payload Data Rate는 4kbps가 된다.

Table 2 Required SNR with Length of Training Symbols

Training 심볼 개수	요구 SNR [dB]	Data Rate (Uncoded) [kbps]	비고
	@ BER = 1.0e-6 π/4-QPSK TC 1/2		
27	10.3	14.775	<- G1139 규격
50	8.2	13.050	
75	7.4	11.175	
100	6.8	9.300	
120	6.5	7.800	
140	5.8	6.300	
160	5.5	4.800	
170	5.0	4.050	

3.3 차동 변조 적용 시 성능 분석

본 절에서는 IALA G1139 지침 상의 변조 방식과는 다르지만, Data Rate를 유지하면서 주파수 오프셋을 효과적으로 처리하는 방법으로 고려한 차동 변조 방식에 대한 성능을 분석한다.

다음 표는 주파수 오프셋 500 Hz 하에서 Training 심볼 27개를 적용한 차동변조 방식에 대한 LCID별 BER=1.0e-6 달성에 요구되는 SNR을 나타낸다.

Table 3 Required SNR on Differential Modulation

LCID (MCS)	Ideal sync.	차동변조 적용 결과	차동변조에 따른 성능 열화
	요구 SNR [dB] @ BER=1.0e-6	요구 SNR [dB] @ BER=1.0e-6	(요구 SNR 차이) [dB]
05(π/4-QPSK3/4)	6.2	9.3	2.9
06 (π/4-QPSK 3/4)	5.6	8.8	3.2
07 (π/4-QPSK 3/4)	5.5	8.8	3.3
08 (π/4-QPSK 1/2)	3.5	6.6	3.1
09 (π/4-QPSK 1/2)	3.7	6.7	3
10 (π/4-QPSK 1/2)	2.3	5.8	3.5
11 (π/4-QPSK 3/4)	3	6.4	3.4
14 (π/4-QPSK 3/4)	2.3	5.5	3.2

17 (π/4-QPSK 3/4)	1.9	5.1	3.2
12 (8PSK 3/4)	9.9	13.2	3.3
15 (8PSK 3/4)	9.4	12.7	3.3
18 (8PSK 3/4)	9.4	12.6	3.2
13 (16-QAM 3/4)	11.8	16.2	4.4
16 (16-QAM 3/4)	11.5	16.2	4.7
19 (16-QAM 3/4)	11.5	15.8	5.3

차동 변조방식 적용 시 요구 SNR은 coherent ideal sync. 방식 대비 2.9~5.3dB 정도 성능 열화 되는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 IALA G1139 지침에 따른 수신기 물리계층 구현에 있어 주파수 오프셋 처리에 대한 어려움을 확인한 1차 연구(김해진, 2017)에 이은 추가 연구이다.

모의 시험 결과 IALA G1139 지침에 따라 일반적인 주파수 복원 알고리즘을 적용하는 경우 LCID별 3.5~8.9dB 정도의 성능 열화가 확인되었고, Data Rate 감소를 허용하고 Training 심볼을 늘리는 경우 Training 심볼 170개 정도 사용해야 구현 마진 1.5dB 범위 내에서 구현이 가능함을 확인했다. 그리고 IALA G1139 지침과 달리, 차동변조 방식 적용 시 Data Rate 유지하며 2.9~5.3dB 성능 열화 범위 내에서 구현 가능함을 확인했다.

본 연구에서 검토 했던 주파수 오프셋처리 방안들로부터 최종 구현 방식의 선정은 규격차원의 논의가 선행되어야 할 것이다. 이와 관련하여 IALA ENAV22에서 본 연구 결과가 주요 의제로 발표될 예정이며, 추후 IALA 회의 결과를 바탕으로 최종적인 주파수 오프셋 처리 방안을 선정하고 구현할 예정이다.

후 기

본 논문은 2018년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(IMO 차세대 해양안전 종합관리체계 기술개발)

참 고 문 헌

- [1] IALA(2017), Guideline G1139, The Technical Specification of VDES, Working Draft, 20180117 - ESTEC Intersessional, Edition 1.0
- [2] H. Meyr(1997), "Digital Communication Receivers: Synchronization and Channel Estimation Algorithms", New York: Wiley, 1997, ch.6
- [3] 김해진(2017), VDES 수신기를 위한 주파수 동기 알고리즘 연구, 해양공학회
- [4] F. Xiong(2000), "Digital Modulation Techniques", Artech House, pp. 183-191.