

해상 HF 디지털 무선통신 방식 비교 연구

김정창
한국해양대학교
jchkim@kmou.ac.kr

Study on Comparison of Maritime HF Digital Communication Systems

Jeongchang Kim
Korea Maritime and Ocean University

요 약

본 논문에서는 ITU-R M.1798-1 에 기반한 해상 HF 데이터 통신을 위한 세 가지 종류의 디지털 통신 방식을 소개하고 비교한다. 처음 두 개의 시스템은 3 kHz 대역폭을 사용하는 디지털 통신 방식으로서 OFDM 방식과 멀티 톤 방식의 디지털 모뎀이며, 마지막 세 번째 방식은 10-20 kHz 의 대역폭을 사용하는 OFDM 방식의 디지털 통신 모뎀이다. 본 연구를 통하여 각각의 통신 방식에 대한 물리계층 규격을 비교 분석한다.

1. 서론

HF (high frequency) 대역에서 데이터 통신 서비스를 제공하기 위한 디지털 모뎀 개발에 대한 연구가 많이 진행되고 있다 [1]-[3]. 해상 MF/HF (medium frequency and high frequency) 대역에서 데이터 서비스의 제공을 위하여 해상 디지털 모뎀 기술이 대두되고 있으며 ITU-R 권고안 M.1798-1 에 물리계층 기술들이 제시되어 있다 [3]. ITU-R 권고안 M.1798-1 에 따르면 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 을 이용한 HF 디지털 모뎀 프로토콜과 PACTOR-III 프로토콜이 제시되었다. 또한, [4]와 [5]에서는 HF 통신을 위한 디지털 모뎀의 성능을 향상시킬 수 있도록 RS (Reed-Solomon) 부호와 컨볼루션 부호 (convolutional code)의 연결 부호 방식을 적용한 시스템을 제안하고 성능을 비교했다.

본 논문에서는 ITU-R M.1798-1 에 기반한 해상 HF 데이터 통신을 위한 세 가지 종류의 디지털 통신 방식을 소개하고 비교한다. 처음 두 개의 시스템은 3 kHz 대역폭을 사용하는 디지털 통신 방식으로서 OFDM 방식과 멀티 톤 방식의 디지털 모뎀이며, 마지막 세 번째 방식은 10-20 kHz 의 대역폭을 사용하는 OFDM 방식의 디지털 통신 모뎀이다. 본 연구를 통하여 각각의 통신 방식에 대한 물리계층 규격을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 ITU-R 1798-1 의 Annex 3 에 따른 PACTOR III 방식과 Annex 2 에 따른 OFDM 방식에 대한 물리계층 규격을 소개한다. 또한, 3 절에서는 Annex 4 에 따른 OFDM 방식의 물리계층 규격을 기술한다. 마지막으로 4 절에서는 이들 방식에 대한 비교 및 결론을 맺는다.

2. 3 kHz 의 협대역 HF 통신 방식

ITU-R 1798-1 에 따르면 3 kHz 대역폭의 협대역 통신방식으로는 Annex 3 에 따른 PACTOR III 방식과 Annex 2 에 따른 OFDM 방식이 있다. 먼저, PACTOR-III 모뎀은 다중 반송파 전송 방식을 사용하는데 각각의 반송파는 부반송파 혹은 채널로 명명되며 각 채널에 대해서 차동변조방식 (differential phase shift keying: DPSK) 을 사용하여 데이터를 변조한다. 표 1 은 스피드 레벨 (speed level: SL)에 따라 PACTOR-III 에서 지원하는 채널의 개수 및 채널 번호 (channel number: CN), 그리고 각 채널이 차지하고 있는 주파수 (tone frequency: TF)를 나타낸다. 모두 6 가지의 스피드 레벨이 존재하며 최소 2 개의 채널부터 최대 18 개의 채널까지 사용할 수 있다. 이때, 각 채널이 차지하는 대역폭은 120 Hz 이며, 각 채널에서 초당 100 개의 변조 심벌들을 전송한다. 또한, 오류정정부호로서 컨볼루션 부호를 사용하고 있으며 스피드 레벨에 따라 7 혹은 9 의 구축장과 1/2, 3/4, 8/9 의 부호율을 사용할 수 있다.

ITU-R 1798-1 의 Annex 2 에 따른 OFDM 모뎀은 1.7 kHz 의 중심 주파수와 300 Hz-3 kHz 의 3 dB 대역폭을 갖는 신호로 전송한다. 표 2 와 같이 모두 6 개의 변조 파라미터 조합의 선택이 가능하다. IFFT (inverse fast Fourier transform) 길이는 16, 32, 64 중에서 선택이 가능하며 변조 심볼은 4-PSK 혹은 8-PSK 를 사용할 수 있다. 표 2 에서 N 은 IFFT 크기, P 는 버스트 (burst)의 길이를 맞추기 위한 extension length, R 은 interpolate rate, L 은 버스트의 데이터 심볼 개수, M 은 변조 차수 (modulation order)를 나타낸다. 샘플율 (F_s)은 8 kHz 로 정의되며 HF 모뎀에 대해서는 표 2 의 파라미터 조합 중 $N=32$, $M=4$ 에 해당하는 파라미터를 사용한다.

표 1. Annex 3 PACTOR III 모델의 configuration.

CN	SL						TF
	1	2	3	4	5	6	
0						0	480
1					0	0	600
2			0	0	0	0	720
3		0	0	0	0	0	840
4			0	0	0	0	960
5	0	0	0	0	0	0	1080
6			0	0	0	0	1200
7		0	0	0	0	0	1320
8			0	0	0	0	1440
9			0	0	0	0	1560
10		0	0	0	0	0	1680
11			0	0	0	0	1800
12	0	0	0	0	0	0	1920
13			0	0	0	0	2040
14		0	0	0	0	0	2160
15			0	0	0	0	2280
16					0	0	2400
17						0	2520

표 2. ITU-R M.1798-1 Annex 3 의 OFDM 모델 파라미터.

N	P	M	L (long)	L (short)	R	S	F_s
16	2	4	288	32	3	8	8000
32	4	4	144	16	3	4	8000
64	8	4	72	8	3	2	8000
16	2	8	288	32	3	8	8000
32	4	8	144	16	3	4	8000
64	8	8	72	8	3	2	8000

3. 10-20 kHz 의 광대역 HF 통신 방식

최근 ITU 에서는 새로운 디지털 기술 도입에 따른 해상이동업무 주파수 및 채널에 대한 재배치를 검토하고 있으며 그 진행과정으로서 ITU-R M.2082 에서는 수십 kHz 의 대역폭을 지원할 수 있도록 HF 대역에서 광대역 (wide-band) 밴드를 정의하고 있다 [6]. 이러한 광대역 밴드를 활용한 통신 방식으로서 ITU-R 권고안 M.1798-1 의 Annex 4 에 광대역 HF 데이터 통신을 위한 OFDM 시스템이 제안되었다. Annex 4 의 디지털 모델은 변조 방식으로서 4-QAM (quadrature amplitude modulation), 16-QAM, 64-QAM 이 사용된다. 프레임의 첫 번째 심벌은 동기 심벌로서 송수신기에 모두 알려진 심벌이다. 샘플 길이는 83 us 로서 유효 OFDM 심벌 길이는 24 ms 이고 보호 구간은 2.66 ms 로서 OFDM 심벌의 길이는 26.66 ms 이다. 또한, 프레임 당 15 개의 심벌로 구성되며 전체 프레임 길이는 400ms 이다. 10 kHz 의 대역폭을 사용하는 경우 부반송파의 개수는 228 개이며 20 kHz 의 대역폭을 사용하는 경우 부반송파의 개수는 460 개이다. 오류정정부호로는 (204, 188) RS 부호, RS 부호와 컨벌루션 부호 (K=7)의 연결 부호, dual binary 타입의 터보 부호 (turbo code)가 사용될 수 있다. RS 부호는 내부호로 사용되며, 컨벌루션 부호와 터보 부호는 외부호로서 사용될 수 있다. 외부호의 부호율은 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 을 지원하며 부호율 1/2 인 컨벌루션 부호 혹은 터보 부호를 puncturing 함으로써 얻어진다. Annex 4 의 시스템은 4-QAM 을 사용하는 경우 최대 17.1 kbps 의 채널 데이터율을 지원할 수 있고, 64-QAM 을 사용하는 경우 최대 51.3 kbps 의 채널 데이터율을

지원할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 ITU-R M.1798-1 에 기반한 해상 HF 데이터 통신을 위한 세 가지 종류의 디지털 통신 방식을 간단히 소개하고 비교한다. Annex 2 및 3 의 시스템은 3 kHz 대역폭을 사용하며 3 kbps 미만의 데이터율을 지원하므로 데이터 서비스를 지원하기에는 매우 불리한 시스템이다. 반면, Annex 4 의 시스템은 10-20kHz 의 대역폭을 사용하고 Annex 2 및 3 에 비해 보다 강력한 오류정정부호와 스펙트럼 효율이 높은 변조 방식을 지원함으로써 수십 kbps 의 데이터 전송율을 지원하고 있다. 해상 HF 디지털 통신의 고속 데이터 전송을 위하여 10-20 kHz 주파수 대역의 사용이 매우 큰 장점을 가지므로 Annex 4 를 지원할 수 있는 시스템의 개발이 필요하다. 그러나, 오류정정부호 성능 향상을 통하여 보다 향상된 HF 디지털 모델의 설계가 가능할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] A. R. M. Sidek and A. Z. Sha'ameri, "Evaluation of modulation coding schemes for adaptive HF data communication system," in *Proc. of IEEE 2008 6th National Conference on Telecommunication Technologies and IEEE 2008 2nd Malaysia Conference on Photonics*, pp. 267-272, Aug. 2008.
- [2] G. Dimic, N. Nenadic and M. Nikolic, "Symbol and frame timing estimation for multicarrier HF packet radio," *17th Telecommunications forum TELFOR 2009*, pp. 608-611, Nov. 2009.
- [3] Recommendation ITU-R M.1798-1, "Characteristics of HF radio equipment for the exchange of digital data and electronic mail in the maritime mobile service," April 2010.
- [4] J. Kim, G. Yang, G. Jong, D. Park, and S. Jung, "Performance of concatenated Reed-Solomon and convolutional codes for digital modems in HF data communications", *The Journal of Korea Navigation Institute*, vol. 16, no. 2, pp. 190-196, April 2012.
- [5] J. Kim, G. Yang, G. Jeong, D. Park, and S. Jung, "Further results on the performance of concatenated RS and convolutional codes for HF digital modems," in *Proc. of International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC)*, Sapporo, Japan, 16 July 2012.
- [6] Modifications of Appendix 17 of the radio regulations (Frequencies and channeling arrangements in the high-frequency bands for the maritime mobile service), ITU-R M.2082.