

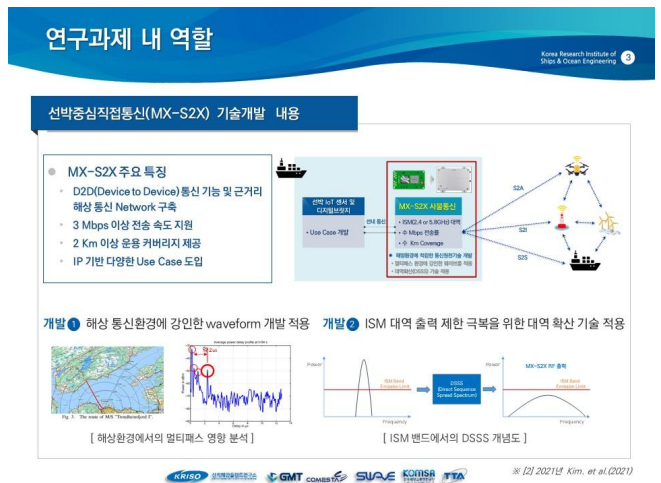
MX-S2X(선박중심직접통신) 물리계층 구현 및 성능분석

김혜진* · 류형직** · 김원용*** · 김부영**** · † 심우성

*,**,***,****(주)코메스타, ****,† 선박해양플랜트연구소 해상디지털통합활용연구센터

요약 : MX-S2X(선박중심직접통신)은 디지털 통신 연계기술 개발 및 실증을 통한 육상·선박·시설의 유기적 연결을 제공함으로써, 향후 도래할 해상 통신 기술 인프라로서의 효과적 활용이 가능할 것으로 기대된다. 본 논문은 ‘초고속해상무선통신망 무설설비 다각화 및 통신연계 기술개발’의 1차년도에 수행한 MX-S2X 시스템의 물리계층 설계에 대한 보완 및 해상통신을 위한 최적화를 통해 상세설계를 확정하고, 이를 구현/제작한 HW의 성능을 검증한다. 제작한 HW의 검증을 위해 시험환경을 구성하여 PER 성능을 측정하고 M&S 결과와 비교 분석함으로써 MX-S2X HW의 기능 및 성능을 검증하였다.

핵심용어 : 선박중심직접통신, MX-S2X, 해상무선통신, MX-S2X HW 성능



운용 모드 및 요구 사항 분석

운용 모드	작업 개념	요구 사항					검토 의견	
		음성	데이터	사진	영상	통신 범위		
선박 항해	1단계 사전인지	-	64kps (8byte-2sec)	-	-	15km	64kps	선박 항해 운용 모드 중 1/2 단계는 AIS/ASX과 차별성이 없음 → 기존 장비 연동 검토
	2단계 최미 정보교환	-	255kps (18byte-1sec)	80kps (10kbyte-1sec)	-	8km	80.3kps	1/2 단계 : VDES 활용
	3단계 최미 동적	영상 포함	512kps (18byte-0.5sec)	영상 포함	750kps (SD급)	5km	750.6kps	수 Mbps 이내의 영상/데이터 용량 분야 개발 가능 3/4 단계 : MX-S2X
	4단계 긴급 최미 동적	영상 포함	768kps (24byte-0.5sec)	영상 포함	750kps (SD급)	2km	750.8kps	
선박 간 음성 지원	선박 간 음성 통신 지원 서비스	12.05~23.89kps	-	-	-	최대 20km	최대 23.85 Kbps	
집단 기동 (드론 포함)	군 및 해경 항행의 기동훈련 및 군사작전 수행되는 개념으로 집단 자율운행개념과 유사 적용 가능 (선박 간 간격 2Km 내외, 동시 사용 10척)	-	768kps (24byte-0.5sec)	-	750kps (SD급)	2Km	750.8kps	수 Mbps 이내의 영상/데이터 용량 분야 개발 가능 수 Mbps 이내의 영상/데이터 용량 분야 개발 가능 VDE 기반 확장된 기술 적용
해경 단정 운영 (드론 운영)	해경 항행의 수색 단정 지원 서비스/영상(음성) *수색 단정 탐상자 5명 기준	63.25~119.25kps	-	-	3750kps (750kps (SD급) * 5명)	8km 내외	3869.25 Kbps	수 Mbps 이내의 영상/데이터 용량 분야 개발 가능 VDE 기반 확장된 기술 적용

MX-S2X 설계 요구사항

● MX-S2X 설계 요구사항

요구 사항	세부 요구 사항	설계 적용 사항
운용 주파수 대역	ISM 대역 주파수 운용	2.4G 대역 ISM 겸 대역폭 : 20MHz 이상
수용 슬롯	VDES 37.5 slots/sec 대비 4배 이상	500 slots/sec 설계 적용(2ms) 50 slots/sec 설계 적용(20ms)
전송 속도	최소 3Mbps 이상	Network 전송 속도 3Mbps 이상
운용 범위	최대 2Km 이상	최소 2Km 이상의 운용 범위 제공 소출력 요구사항 극복을 위해 DSSS 적용
네트워크	S2X(Ship to Everything)	D2D/Mesh Network 적용 검토 다중 접속 : TDMA
선박 운항 속도	최대 50km/h*	
수용 선박 수	TBD	

*: 상대적 근거리인 운용 범위 내의 선박들의 속도 고려, 후속 다양한 이동수단을 고려한 고속 속도 반영

† 교신저자 : 종신회원, pianows@kriso.re.kr 042)866-3662

* 정희원, hjkim@comesta.com 042)863-5206, ** 정희원, normalia@comesta.com 042)863-5206, **** 종신회원, kby@kriso.re.kr 042)866-3142

MX-S2X 상세 설계

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering

물리계층 Slot Parameter

- 송신 출력 최대 이득을 고려하여 점유 대역폭 26MHz 이하 설계
- 전송속도 3Mbps 이상
- CP 길이가 2.5us 이상
- 채널 추정 주기 3.8ms 이하

Parameter	2ms	20ms	비고
Data rate [Mbps]	4.80	5.12	
FFT size	64	64	
CP duration [us]	2.55	2.55	CP 2.5us 이상 설계
Data SC-FDE Symbol duration[us]	14.18	14.18	
Pilot SC-FDE Symbol duration[us]	14.18	14.18	
Training sequence duration[us]	34.91	34.91	
Symbol rate[MHz]	5.50	5.50	
RRC Roll-off factor	0.17	0.17	
Bandwidth [MHz]	6.435	6.435	With out DSSS* DSSS 대역시 25.74MHz
Slot duration[ms]	2	20	
Guard time[us]	154.91	285.82	파달렛 백지 3.8ms 이내

* : 2차원 DSSS 설계 환경, HW 구현은 3차원도 반영

※ [3] 2021년 Ryu, et al.(2021)

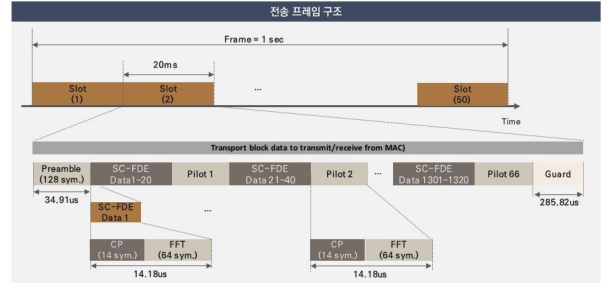


MX-S2X 상세 설계

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering

전송 프레임 구조 - 20ms

- 전송 프레임은 초당 50개 Sub-Frame으로 구성
- 각 Sub-Frame은 MAC/PHY간 송수신 데이터 크기를 정의한 TB size를 수용가능하도록 설계

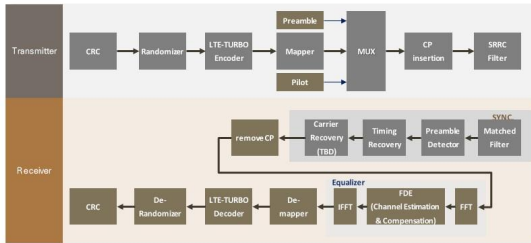


MX-S2X 상세 설계

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering

MX-S2X 송수신 기능 블록

- 다중경로 환경에 강한 SC-FDE(Single carrier - Frequency Domain Equalizer) 적용
- FEC : LTE-Turbo 부호 사용(ITU-R M.2092 사용)



※ [3] 2021년 Ryu, et al.(2021)

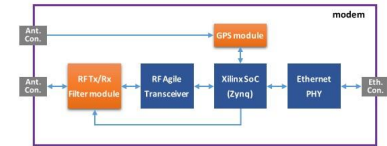


MX-S2X HW 구현 및 제작

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering

MX-S2X HW 구현

- Ethernet PHY, Xilinx SoC칩, GPS 모듈, RF Agile Transceiver 및 RF Tx/Rx Filter모듈로 구성



(MX-S2X structure architecture & functional structure)

주요 구성품	기능
Ethernet PHY	영상 통화용 데이터와 같은 사용자 데이터에 대한 인터페이스 제공
Xilinx SoC(Zynq)	FPGA와 CPU 기능 통합 칩 (변복조 기능, 전송 프로토콜 및 링크 제어 기능)
RF Agile Transceiver	ADC/DAC 및 MX-S2X 기저대역 신호에 대해 2.4GHz 대역으로 직접 송/하향 변환 수행
RF Tx/Rx Filter 모듈	송/수신 각각 path에 대한 대역 필터 기능
GPS 모듈	1PPS 신호 제공



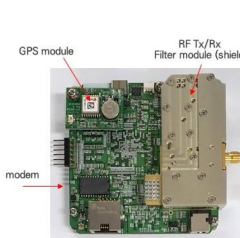
MX-S2X HW 구현 및 제작

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering

MX-S2X HW 제작

- Ethernet PHY, Xilinx SoC칩, GPS 모듈, RF Agile Transceiver 및 RF Tx/Rx Filter모듈로 구성

(MX-S2X Hardware)



(MX-S2X HW 주요 사양)

구분	주요 사양
운용 주파수 대역	• 2.4G대역 ISM 밴드 • 대역폭 : 20MHz 이상
Waveform	• DSSS • SC-FDE • QPSK/8PSK • LTE Turbo Code
수용 슬롯	• 500 slots/sec 설계 적용
전송 속도	• 최소 3Mbps 이상
운용 범위	• 최소 2km 이상
다중접속	• TDMA
IF 주파수	• Direct conversion
크기/무게	• 80.6 x 81.6 x 17 mm, 200g 이하
전원	• +5V 이하
소모전력	• 14W 이하



MX-S2X HW 구현 및 제작

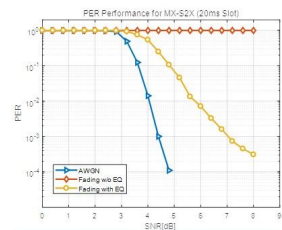
Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering

MX-S2X 물리계층 성능분석 - M&S

(시뮬레이션 환경)

항목	Parameter	
웨이브폼	Data Rate	5.12Mbps
	시스템 모델	SC-FDE 방식
	FFT SIZE	64
	변조방식 / FEC	QPSK, TURBO 0.606
	DSSS	NA
	Symbol Rate	5.5MHz
	CP	14 symbol
채널환경	AWGN	-
	K-factor (1 st Path)	14 dB
	Power profile[dB]	[0, -15, -17, -16]
	Delay profile[us]	[0.0, 0.2, 0.8, 2.2]
	Doppler frequency : 259Hz(ISM 대역 (5.6GHz), velocity=50 km/h)	

(M&S Result, PER Performance(20ms Slot))



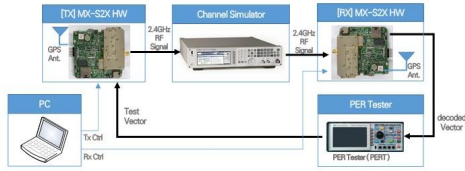
채널 환경	PER 성능
AWGN	• 1 x 10 ⁻³ @ SNR 4.4dB
다중경로 페이딩	• 동적하지 않음 (E-qualizer w/o) • 1 x 10 ⁻³ @ SNR 7dB (E-qualizer with)



MX-S2X HW 구현 및 제작

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 12

- MX-S2X 물리계층 성능분석 - HW test
 - Channel Simulator를 통해 채널 환경 제공
 - 송신 전력 -15dBm을 기준으로 SNR에 따라 Noise를 부가



(MX-S2X HW 시험 환경 구성)

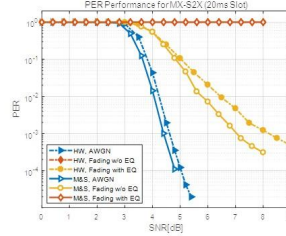


MX-S2X HW 구현 및 제작

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 13

- MX-S2X 물리계층 성능분석 - HW test result

(HW Result, PER Performance(20ms Slot))



채널 환경	PER 성능 (@ PER: 1 x 10 ⁻⁴)	
	M&S	HW test
AWGN	· SNR 4.4dB	· SNR 4.6dB
다중경로 페이딩	· SNR 7dB (Equalizer with)	· SNR 8.2dB (Equalizer with)



결론 및 향후 계획

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 14

- 결론
 - MX-S2X 시스템은 해상통신 환경에 적합하게 설계됨 ([3], 2021년 Ryu, et al.(2021))
 - M&S 대비, 일반적인 HW 구현 마진 1.5dB 내에서 MX-S2X HW 제작 검증할
 - MX-S2X 시스템을 탑재한 선박 등의 해양 모빌리티가 주변의 육상·선박·시설과 유기적으로 연결되어 직접 통신이 가능해진다던 향후 도래할 해상 통신 기술 인프라로서의 효과적 활용이 가능
- 향후 계획
 - 2ms 및 20ms, QPSK 및 8PSK의 MX-S2X의 모든 웨이브폼에 대한 검증
 - 실해역 시험을 통한 HW 검증
 - DSSS 기능 추가 및 MX-S2X 고도화



참고문헌 및 감사의 글

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 15

- 참고문헌
 - [1] 해양수산과학기술진흥원(2021), 해상 디지털 통합활용연계 기술개발사업, 초고속해상무선통신망 무선설비 다각화 및 통신연계 기술개발 과제 연구개발계획서
 - [2] Kim, H. J., Ryu, H. J., Kim, W. Y., Kim, B. Y., and Shim W. S.(2021), "비면허대역용 선박 사물 통신을 위한 MX-S2X(선박중심직접통신) 연구", 2021년 한국항해항공학회 추계학술대회, pp 121-123
 - [3] Ryu, H. J., Yoo, H. S., Kim, W. Y., Kim, B. Y., and Shim W. S.(2021), "해상 다중경로 페이딩 극복을 위한 선박 중심 직접통신(MX-S2X) 물리계층 설계 및 성능 분석", vol. 45, no. 6, J. Navig. Prot Res., pp 352-359

● 감사의 글

본 논문은 해양수산부 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행하는 "초고속해상무선통신망 무선설비 다각화 및 통신연계 기술개발 연구"(1525011565)의 일부 내용임을 밝힙니다.



사 사

본 논문은 해양수산부 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행하는 "초고속해상무선통신망 무선설비 다각화 및 통신연계 기술개발 연구"(1525011565)의 일부 내용임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] 해양수산과학기술진흥원(2021), 해상 디지털 통합활용연계 기술개발사업, 초고속해상무선통신망 무선설비 다각화 및 통신연계 기술개발 과제 연구개발계획서
- [2] Kim, H. J., Ryu, H. J., Kim, W. Y., Kim, B. Y., and Shim W. S.(2021), "비면허대역용 선박 사물 통신을 위한 MX-S2X(선박중심직접통신) 연구", 2021년 한국항해항공학회 추계학술대회, pp 121-123
- [3] Ryu, H. J., Yoo, H. S., Kim, W. Y., Kim, B. Y., and Shim W. S.(2021), "해상 다중경로 페이딩 극복을 위한 선박중심 직접통신(MX-S2X) 물리계층 설계 및 성능 분석", vol. 45, no. 6, J. Navig. Prot Res., pp 352-359