

비면허대역용 선박 사물 통신을 위한 MX-S2X(선박중심직접통신) 연구

김혜진* · 김원용** · 김부영*** · † 심우성

*코메스타 책임연구원, **코메스타 본부장, ***선박해양플랜트연구소 해상디지털통합활용연계연구단, † 선박해양플랜트연구소 해상디지털통합활용연계연구단장

요 약 : 선박중심직접통신(MX-S2X)은 디지털 통신 연계기술 개발 및 실증을 통한 육상-선박·시설의 유기적 연결을 제공함으로써, 해양사고 저감 및 자율운항선박을 위한 인프라로 활용될 수 있다. 본 논문은 MX-S2X 기술개발에 대한 소개, MX-S2X 개발을 위한 운용 및 설계 요구사항에 대해 기술하고 있으며, 더 나아가 해상 통신 환경이 통신성능에 영향을 끼칠수 있는 경우에 대해 살펴보고 이를 극복하기 위한 MX-S2X 시스템의 물리계층 설계에 대해 기술하였다.

핵심용어 : 선박사물통신, 선박중심직접통신, MX-S2X, 해상무선통신, 채널 등화기

선박 MX-S2X 기술 개발

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

초고속 해상무선통신망 무선설비 다각화 및 통신연계 기술개발 연구개발 개념도

디지털 통신 연계기술 개발 및 실증을 통한 육상-선박·시설의 유기적 연결을 제공함으로써, 해양사고 저감 및 자율운항선박을 위한 인프라로 활용 가능

선박중심직접통신(MX-S2X)

- Use Case 개발
- 신내 용인
- ISM 대역
- ISM 대역 500KHz 이하 대역
- ISM 대역 500KHz 이하 대역
- 수 Mbps 전송률
- 수 Km Coverage
- 해상환경에 적합한 통신안정성 확보
- 멀티패스 환경에 안정적 데이터 전송을 위한 대역간/대역내 DSSS 기술 적용

KNISO, GMT, COMESTA, SVAE, KOMISA, IYTA

연구과제 내 역할

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

선박중심직접통신(MX-S2X) 기술개발

- 기존 해상 디지털 통신 기술 특징
 - 해상 기반 통신 기술 : 낮은 전송률 제공
 - 육상 기반 통신 기술 : 짧은 커버리지 및 D2D 제공하지 않음
- 선박중심직접통신(MX-S2X) 기술 개발
 - D2D(Device to Device) 통신 기능 및 근거리 해상 통신 Network 구축
 - 수 Mbps급 전송 속도 지원
 - 수 Km 운용 커버리지 제공
 - IP 기반 다양한 Use Case 도입

Mode	NAVDAT	VDES	Digital HF	WIFI	DSRC /WAVE	C-V2X (Side Link)	MX-S2X
주파수	405-505 kHz	162 MHz	1.5 - 30 MHz	ISM	5.9 GHz	0.45-3.5/5.9 GHz	ISM
표준	2443-0	M.2092	M.1798-1	802.11	802.11p	3GPP	기술 표준 개발
대역폭(BW)	1 - 10 kHz	0.1	10 - 20kHz	20, 40	10	1.4-20	20 MHz 내외
전송속도(Mbps)	0.01-0.02	0.3	0.019	6-600	3-27	100	수 Mbps
전송 형태	Broadcast	Addressed / broadcast	Addressed	Addressed	Addressed / broadcast	Addressed	Addressed / broadcast
운용 거리	< 555km	< 수십 Km	< 수백 km	< 100m	< 300m	< 2 Km	< 수 Km

출처: IALA Guideline G1117 - VHF Data Exchange System (VDES) Overview, Edition 2.0 - December 2017

KNISO, GMT, COMESTA, SVAE, KOMISA, IYTA

연구과제 내 역할

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

선박중심직접통신(MX-S2X) 기술개발 내용

선박 데이터 전송 지원

- Use Case 개발
- 신내 용인
- ISM 대역
- ISM 대역 500KHz 이하 대역
- ISM 대역 500KHz 이하 대역
- 수 Mbps 전송률
- 수 Km Coverage
- 해상환경에 적합한 통신안정성 확보
- 멀티패스 환경에 안정적 데이터 전송을 위한 대역간/대역내 DSSS 기술 적용

개발 1 해상 통신환경에 강인한 waveform 개발 적용

개발 2 ISM 대역 출력 제한 극복을 위한 대역 확산 기술 적용

[해상 환경에서의 멀티패스 영향 분석]

[ISM 밴드에서의 DSSS 개념도]

KNISO, GMT, COMESTA, SVAE, KOMISA, IYTA

MX-S2X 운용 요구 사항

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering

요 구 기 능

- 선박간 데이터 통신 지원
- 선박간 충돌예방 지원
- 선박간 음성통신 지원
- 선박간 호출지원

Use Case

Use Case 1	Use Case 2	Use Case 3	Use Case 4
[개요] 선박간 메시지 기반 정보 교환 지원(AIS, ASM 메시지 포함)	[개요] 선박 충돌예방을 위한 초고속 선박간 항행정보 교환 서비스	[개요] 선박간 음성통신 기능 지원	[개요] 수신된 선박 정보를 이용한 직접 데이터 전송 및 음성통신 지원
[데이터 정보] MMSI, Navigation, Status, IMO Number, Call sign, 선명, 선박 종류, 출수, 목적지 등(송신주기는 AIS, ASM 기준)	[데이터 정보] 위/경도, 침로, 해당, ROT(전송주기는 초당 2초)	[데이터 정보] 음성정보, 방향향 음성통신 지원 필요	[데이터 정보] 호출 신호
[활용방안] 직접통신 기반 선박간 정보교환 시스템으로 활용	[데이터 호출] 위치정보	[활용방안] 근거리에서의 선박간 음성통신체계로 활용	[활용방안] 통신 가능 선박 호출
	[활용방안] 충돌예방 지원을 위한 통신 플랫폼으로 활용	[추가 고려사항] 그룹 통화 가능 여부	[추가 고려사항] 암호화

KNISO, GMT, COMESTA, SVAE, KOMISA, IYTA

† 교신저자 : 김혜진, hjkim@comesta.com, 김원용, wykim@comesta.com

MX-S2X 운용 요구 사항

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering 6

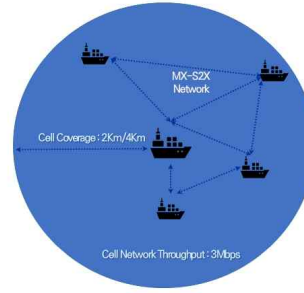
운용 모드	적용 개념	통신 범위				요구 전송 속도	검토 의견		
		음성	데이터	사진	영상				
선박 항해	1단계 사전인지	-	64bps (8byte/2sec)	-	-	15km	64bps	• 선박 항해 운용 모드 중 1/2 단계는 AIS/ASM과 해상상위 영상 → 거트 장비 연동 검토 • 1/2 단계 : VDES 활용	
	2단계 회피 정보교환	-	750kpbs (15byte/1sec)	80Kbps (100byte/1sec)	-	8km	80.3Kbps		
	3단계 회피 동작	-	영상 포함	영상 포함	영상 포함	750kpbs (SD급)	5km	750.0Kbps	• 수 Mbps 이내의 영상/데이터 응용 분야 개발 가능
	4단계 긴급 회피 동작	-	영상 포함	영상 포함	영상 포함	750kpbs (SD급)	2km	750.8Kbps	• 3/4 단계 : MX-S2X
선박 간 음성 지원	선박 간 음성 통신 지원 서비스	12.05~23.86kpbs	-	-	-	-	최대 20km	최대 23.86 Kbps	
집단 기동 (드론 포함)	군 및 해경 항만의 기동훈련 및 군사작전 수행되는 경우 집단 자율운항계급 유사 적용 가능 (선박 간 간격 2KM 내외, 동시 사용 10척)	-	750bps (24byte/0.5sec)	-	750Kbps (SD급)	2km	750.8Kbps	• 수 Mbps 이내의 영상/데이터 응용 분야 개발 가능 • VDE 기반 확장된 기술 적용	
해경 단정 운영 (드론 운영)	해경 항만의 수색 단정 지원 서비스/영상(영상) *수색 단정 협상시 적용 기준	63.25~119.29kpbs	-	-	3750Kbps (750Kbps (SD급) * 5배)	8km 내외	3869.25 Kbps	• 수 Mbps 이내의 영상/데이터 응용 분야 개발 가능 • VDE 기반 확장된 기술 적용	

* 통신 범위 : ISM 대역, 2km 이내

KRISO GMT COMEST SVAE KORISIA IYTA

운용 요구 사항 분석

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering 7



- 선박 항해 MX-S2X 운용 방안
 - 선박 항해 1/2 단계 : 선박/항해 정보 (AIS, ASM과 동일)
 - 선박 항해 3/4 단계 : IP 기반 서비스(영상/데이터)
 - 모든 선박이 동일한 권한을 갖는 자율망 운용 필요
 - 자율적인 Network Coordinator 임무 수행
- 집단기동/해경단정 운용 방안
 - Master 선박 IP 기반 서비스(영상/데이터)
 - Network Coordinator 선박에서 운용에 대한 권한 수행
- 선박/항해 정보를 포함한 통신 네트워크 적용 검토
 - 기존 AIS 또는 과제 내 VDES 연계하여 활용 여부
 - MMSI 이용하여 특정 선박 간 IP 기반 서비스 활용
 - 최대 수용 선박 수 검토 필요

KRISO GMT COMEST SVAE KORISIA IYTA

설계 요구 사항

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering 8

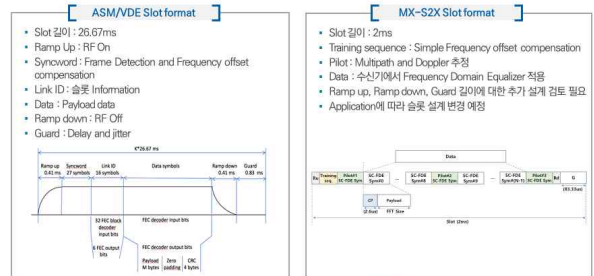
요구 사항	세부 요구 사항	검토 내용	VDES
운용 주파수 대역	• ISM 대역 주파수 운용	• 2.4 GHz 대역 ISM 검토 중 • 대역폭 : 20MHz 이상 고려	• 161.975 / 162.025 (AIS) • 161.950 / 162.000 (ASM) • 157.200~161.875 (VDE) • 대역폭: 25kHz (AIS), 25~100kHz (ASM, VDE)
수용 슬롯	• VDES 37.5 slots/sec 대비 4배 이상	• 500 slots/sec 설계 적용	• 37.5 slots/sec
전송 속도	• 최소 3Mbps 이상	• Network 전송 속도 3Mbps 이상 설계 검토 • 최소 2km 이상의 운용 범위 제공 설계 • 소출력 요구사항 극복을 위해 DSSS 적용 검토	• 최대 약 209kpbs (@VDE 100kHz)
운용 범위	• 최대 2km 이상	• 최소 2km 이상의 운용 범위 제공 설계 • 소출력 요구사항 극복을 위해 DSSS 적용 검토	• 100km 이상
네트워크	• S2X(Ship to Everything)	• D2D/Mesh Network 적용 검토 • 다중 접속 : TDMA	• ship2ship, shore2ship, ship2shore • 다중 접속 : TDMA
응용 Application	• TBD		
수용 선박 수	• TBD		

KRISO GMT COMEST SVAE KORISIA IYTA

물리계층 설계

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering 9

- 물리계층(Physical Layer)
 - 물리 매체에 대한 원시 비트 스트림 전송 및 수신 가능 계층
 - 전송 : 신호 반송, Filtering, Shaping, 고출력 증폭
 - 수신 : 저잡음 증폭, Filtering, 시간 및 주파수 동기화, 복조 및 디코딩
- 전송 정확도 지표
 - Symbol timing accuracy : 5 ppm 이내
 - Transmitter timing jitter : 5% of the symbol interval (peak value)
 - Slot transmission accuracy : 100 μ s peak relative to UTC time reference

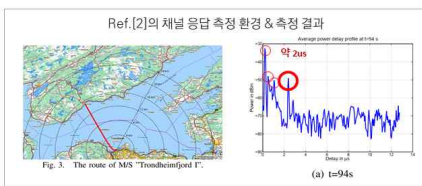


KRISO GMT COMEST SVAE KORISIA IYTA

물리계층 주요 파라미터 설계 근거

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering 10

- 물리계층 설계 주요 파라미터 - CP
 - CP 길이는 채널응답에서유효 성분들 중 최대 지연보다 크게 설계 [1]
 - Ref.[2]에서 배로 이동하며 채널 응답을 측정
채널 응답의 최대 지연 약 2 μ s (@송/수신기 간 1.41km 떨어진 지점) : CP 길이는 2.5 μ s 이상으로 설계



참고: [1] Yuan Yang, Frequency-Domain Equalization in Single-Carrier Transmission: Filter Bank Approach, 2007, EURASIP Jm.
[2] Kun Yang, Land-to-ship radio channel measurements over sea at 2 GHz, 2010, WICOM
[3] Satoru, VHF Data Exchange System, New Communications for the Maritime, 2017.

KRISO GMT COMEST SVAE KORISIA IYTA

물리계층 주요 파라미터 설계 근거

Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering 11

- SC-FDE Symbol 길이 또는 채널 추정 주기
 - SC-FDE Symbol 길이 및 채널 추정 주기는 Coherence Time(T_c)보다 작게 설계
 - 선박의 이동속도 25km/h(약 14knots, Ref.[3]) 및 중심 주파수(2.4GHz) 고려시
 - 최대 도플러 주파수는 55.555Hz, Coherence Time(T_c) = 7.6ms
 - MX-S2X는 더 빠른 50km/h를 고려하며, 이 경우 T_c = 3.8ms이며 이를 고려하여 설계
 - SC-FDE Symbol 길이 또는 채널 추정 주기를 3.8ms 이하로 설계
- Guard Symbol 길이
 - TDMA망의 Coverage 양끝에서 두 단말이 동시에 전송하는 경우를 피하기 위하여 전파 도달시간의 2배 이상으로 설계
 - Coverage 최대 20km 적용하여 약 66.66 μ s 이상으로 설계

KRISO GMT COMEST SVAE KORISIA IYTA

물리계층 상세 설계

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 17

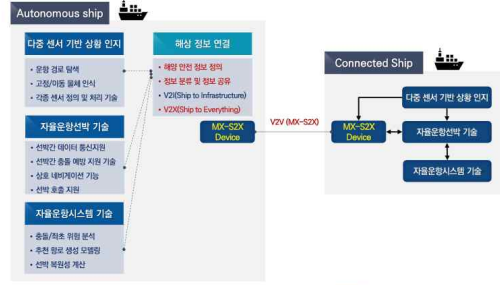
구분	항목	단위	값	Bytes or 시간	요구사항	설계 목표	
전송 모드 규정	사용자 Data Rate	Mbps	6.032				
	Symbol Rate	Mspss	6.144				
	Roll-off factor σ	-	0.3				
	DSSS SF	-	4		DSSS SF=4		
	DSSS 출력 상분율	MHz	24.576				
Packet	대역폭	MHz	31.9488				
	변조방식	-	QPSK				
	Code Rate	-	1/2				
FEC /Mapping	사용자 Data size	bits	8896	1112 Bytes			
	CRC	bits	32	4 Bytes			
SC-FDE 심볼 구성	CTC 블록 단위	FEC 블록 개수	9		CTC 적용		
	FEC ENC. 전체	FEC 블록당 입력	bits	992			
		total 입력	bits	8929			
		total 출력	bits	17856			
Slot 구성	Mapping 심볼		8928				
	CP 길이	심볼	16	2.6 us		> 2.5us	
	FFT 길이	심볼	512	83.33 us			
	Ramp-up	심볼	64	10.42 us			
	Training seq.	심볼	560	91.15 us			
	Pilot 1용 SC-FDE 심볼	심볼	1	85.94 us			
	Data용 SC-FDE 심볼 개수		18				
	Pilot 2용 SC-FDE 심볼	심볼	1	85.94 us			
	Pilot 3용 SC-FDE 심볼	심볼	1	85.94 us			
	Guard	심볼	64	10.42 us			
	심볼	512	83.33 us		TDMA교대	> 66.66us	
	total 심볼/slot	심볼	12288	2 ms	VDES 37.5 slot/s 의 10배 이상	(3.8 ms)	



향후 개발 방향

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 18

- 1 통신 기술과 연계 가능한 기반 기술 필요
- 2 Use case 확정 및 관련 Application 개발
- 3 물리계층 성능 분석 완료 및 MX-S2X 상세설계 (Draft)

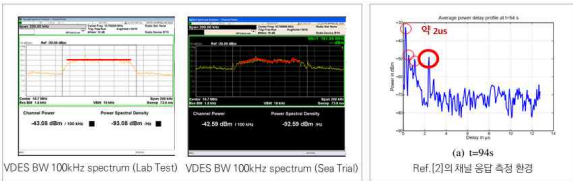


해상 통신 환경을 고려한 선박중심직접통신(MX-S2X) 물리계층 설계 및 성능 분석

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 19

● 해상 통신 환경 분석

- 해수면에 의한 신호 반사 + 연안 등의 전파에서 발생하는 잔향 및 다중 경로 존재
 - ISI (Inter Symbol Interference) 및 주파수 왜곡 현상 발생



- 해상 통신 환경의 신호 왜곡 보상을 위한 channel equalizer 설계 필요
- 모의실험을 통해 channel equalizer 적용 후의 성능 및 적합성 검토
- channel equalizer 적용을 위한 프레임 구조 설계 타당성 검토

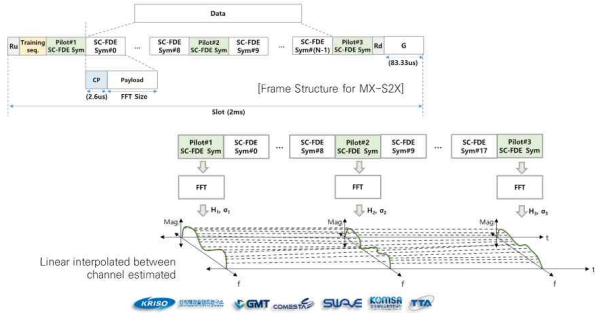


해상 통신 환경을 고려한 선박중심직접통신(MX-S2X) 물리계층 설계 및 성능 분석

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 20

● 프레임 설계 및 채널 추정

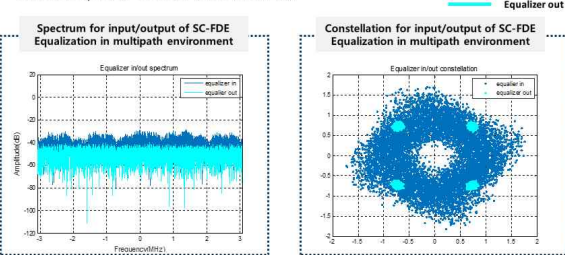
- 다중경로 페이딩 환경을 고려하여 Channel Equalizer 적용을 위한 보호 구간(Pilot)을 포함한 프레임 구성
- 채널 추정 전용 Pilot SC-FDE 심볼을 통해 완전한 채널 추정 가능



해상 통신 환경을 고려한 선박중심직접통신(MX-S2X) 물리계층 설계 및 성능 분석

Korea Research Institute of Ship & Ocean Engineering 21

● Channel Equalizer 적용 효과 (컴퓨터 모의실험)



- 컴퓨터 모의실험 결과를 통해 다중경로 환경 영향 및 채널 등화기 효과 확인
- 추후 세부적인 모의실험 추가를 통해 물리계층 설계 확정 및 MX-S2X에 설계 적용



후 기

본 논문은 2021년도 해양수산부 및 해양수산과학기술진흥원 연구비 지원으로 수행된 '해상디지털 통합활용연계 기술개발 사업(20210644, 초고속해상무선통신망 무설설비 다각화 및 통신연계 기술개발)'의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] Frequency-Domain Equalization in Single-Carrier Transmission: Filter Bank Approach, 2007
- [2] Land-to-ship radio channel measurements over sea at 2 GHz, 2010, WICOM
- [3] VHF Data Exchange System, New Communications for Maritime, 2017
- [4] A Study on the Design and Analysis of Equalizer for Secondary Communication Equipment of Unmanned Surface Vehicle considering the maritime communication environment, 2017 Annual Autumn Conference, The Society of Naval Architects of KOREA, 2017