

BSPE99572-11570-2

차세대 해양 이동통신 네트워크 설계를 위한  
연구기반 구축

Developing Research for next generation ocean  
communication networks

2017.12

한 국 해 양 과 학 기 술 원

# 제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “차세대 해양 이동통신 네트워크 설계를 위한 연구 기반 구축” 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2017. 12.

총괄연구책임자 : 임 성 훈

참 여 연 구 원 : 김 수 미

## 보고서 초록

|  |           |   |                               |             |   |
|--|-----------|---|-------------------------------|-------------|---|
| 과제고유<br>번호   | PE99572   | 해당단계<br>연구기간  | 2017/03/01~<br>2017/12/31     | 단계 구분       | 응용  |
| 연구사업명  | 중사업명      | 주요사업(신진연구자 및 창의적 아이디어 지원(2017))   |                               |             |   |
|  | 세부사업명     |   |                               |             |   |
| 연구과제명  | 대과제명      | 차세대 해양 이동통신 네트워크 설계를 위한 연구기반 구축   |                               |             |   |
|  | 세부과제명     |   |                               |             |   |
| 연구책임자  | 임성훈       | 해당단계<br>참여연구원수  | 총 : 2 명<br>내부: 2 명<br>외부: 0 명 | 해당단계<br>연구비 | 정부: 5,000 천원<br>기업:            천원<br>계 : 5,000 천원 |
|  |           | 총연구기간<br>참여연구원수   | 총 : 2 명<br>내부: 2 명<br>외부: 0 명 | 총<br>연구비    | 정부: 5,000 천원<br>기업:            천원<br>계 : 5,000 천원 |
| 연구기관명<br>및<br>소속부서명  | 한국해양과학기술원 |   | 참여기업명                         |             |   |
| 국제공동연구   |           |   |                               |             |   |
| 위탁연구   |           |   |                               |             |   |
| 요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)   |           |   |                               | 보고서<br>면수   | xx  |
| <p>○ 해양 이동통신 기술개발을 위한 연구 기자재 및 환경 구축</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양 국제표준 및 기술 동향 분석</li> <li>- 차세대 해양 무선통신 요소기술 개발</li> <li>- 해양 무선 통신 프로토콜 및 전송기술 시뮬레이터 환경 구축</li> </ul> <p>○ 차세대 해양 이동통신 네트워크 설계 및 기술개발을 위한 기반 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 해양 이동통신 원천기술 개발</li> <li>- 시스템 개발 필요성/타당성 분석</li> <li>- 해양 이동통신 주요 서비스 도출</li> <li>- 개발 요구사항 및 필요 요소기술 분석</li> <li>- 필요 기술 및 연구 이슈 도출</li> <li>- 해양 이동통신 채널 환경 분석</li> <li>- 해양 이동통신 국제 표준 분석</li> <li>- 해양 이동통신 네트워크 기본 구조 설계</li> </ul> <p>- 해당 과제 관련 SCI 논문 1편, 국제 학술대회 2편 발간완료의 연구 성과 도출</p> |           |   |                               |             |   |
| 색인어<br>(각 5개 이상)   | 한 글       | 차세대 해양 이동통신, 협력통신, 해양 인터넷, 4차산업혁명   |                               |             |   |
|  | 영 어       | Next generation mobile communications, cooperative communications, marine internet, 4 <sup>th</sup> industrial revolution |                               |             |   |

# 요 약 문

## I. 제 목

차세대 해양 이동통신 네트워크 설계를 위한 연구기반 구축

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

○ 해양 이동통신 기술개발을 위한 연구 기자재 및 환경 구축

- 해상 무선 환경 채널 시뮬레이터 환경 구축: 해상 통신 환경을 모델링하고 물리적 채널 특성 분석을 위한 시뮬레이터 환경 구축

- 해상 무선 통신 프로토콜 및 전송기술 시뮬레이터 환경 구축: Matlab, C++, Labview 기반의 해상 이동 통신 전송기술 성능 분석 및 검증을 위한 시뮬레이터 환경 구축

- IoT 및 Machine-to-machine 통신 기술 testbed 환경 구축: 소형 센서 및 스마트 기기간의 직접 통신 전송기술 성능 분석 및 검증을 위한 시뮬레이터 및 testbed 환경 구축

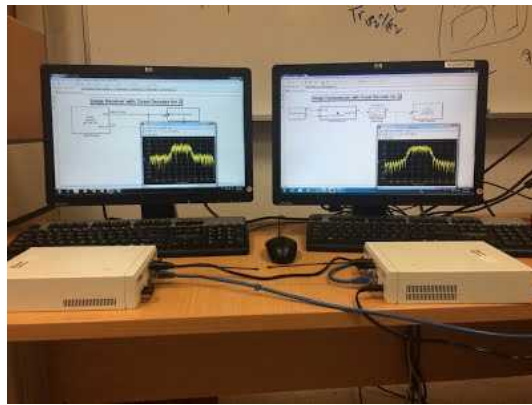


그림 1 USRP 기반 통신 시스템 testbed

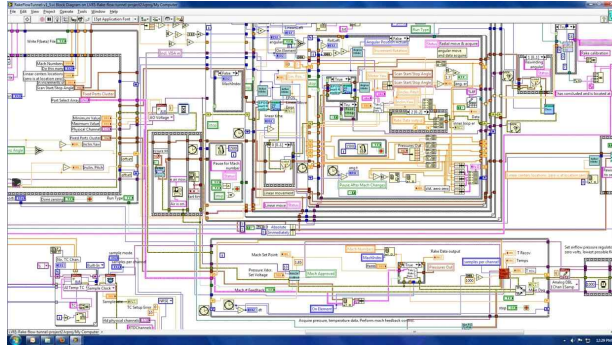


그림 2 Labview 통신 시스템 시뮬레이터

- 차세대 해양 이동통신 원천기술 연구
  - 해상 광역 광대역 이동통신 기술 개발
  - 멀티홉 이동통신 기술 개발
  - 해상 이동통신 간섭 제어 기술 개발
  
- 차세대 해양 이동통신 설계 연구
 

국제 이동통신 표준 기반으로 하는 해양 무선통신 네트워크 구축을 위한 5세대 해양통신 네트워크 구조설계 및 요소기술 개발을 목표로 함. 해양 환경에 특화된 기술개발을 위해서 해양 이동통신 환경 분석 및 요구사항을 분석하고, 요구사항을 만족하기 위한 네트워크 기본 구조 설계 및 추후 관련 연구 진행을 위한 개발 방법론을 제안한다.

  - 시스템 개발 필요성/타당성 분석
  - 개발 요구사항 및 필요 요소기술 분석
  - 해양 이동통신 주요 서비스 도출
  - 해양 이동통신 채널 환경 분석
  - 국제 이동통신 표준 기술 분석
  - 해양 이동통신 네트워크 기본 구조 설계
  
- 연구원의 비전 및 기능, 중기전략계획 등과의 연계성
  - 해양 분야 ICT 기술 활용을 위한 기반 기술 개발
  - 국가적 차세대 5G 이동통신 육성 계획을 해양 통신까지 포괄적으로 확장

- IoT 지원 통신 인프라/기술의 절대적 부족한 해양환경으로 확장
- 전해상 5G 이동통신을 위한 기반 기술 개발

○ 해양 IoT 실현을 위한 해양 통신 네트워크 기반

- 초연결성을 기반으로 진행되는 4차 산업 혁명을 해양 분야에서도 이룩하기 위해서는 바다에서도 사물, 선박, 인간 간의 초연결성 보장 필요
- 인간이 직접 작업하기 어려운 해양 환경의 특성상 사물 인터넷, 물리-가상 시스템을 통한 극단적 자동화에 대한 수요 존재
- 해양 환경은 육상에 비해서 많은 물리적/네트워크 운영적 측면에서 차이가 존재
- 육상 환경 대비, 사물 인터넷, 심지어는 기초적인 패킷 기반의 무선통신망 구축이 미비한 상황
- 육상 환경에 최적화된 5G 이동통신을 해상에서 그대로 사용하기 어려움
- 해양 환경에서의 IoT 적용사례는 육상에서 비해서 다른 요구사항 존재
- 현재의 위성통신 방식은 구조적 한계와 경제성 부족으로 대규모의 초연결성을 보장하기 어렵고, 상용 통신망인 4세대 통신망과 직접적으로 호환되지 않음
- 해양 환경에서는 상황마다 자체 통신 솔루션을 개발하여 사용하고 있으며, 이는 곧 가격 상승 요인으로 작용
- 3Gpp (5G)는 압도적인 가입자와 제품 구현이 되는 표준이며, 해상 IoT 실현을 위한 확장성 및 규모의 경제화를 달성하기 위한 최적 backbone network

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

○ 당해 연도 목표성과물

- 차세대 해양 이동통신 네트워크 설계를 위한 연구기반 구축

○ 제안하는 시스템의 최종 목표

- 차세대 해양 이동통신 네트워크 설계를 위한 연구기반 구축
  - 해양 이동통신 네트워크 요구사항 분석 및 네트워크 설계
  - 해양 이동통신 네트워크 전송기술 개발 및 검증을 위한 시뮬레이터 구현
  - 해양 이동통신 네트워크 전송을 위한 요소기술 개발

#### IV. 연구개발결과

- 차세대 해양 이동통신 요구사항 분석
- 해양 이동통신 시스템 분석
- 시스템 구조 설계 및 시뮬레이션 연구 환경 구축
- 해양 이동통신 네트워크 설계를 위한 연구 기반 구축
- 해양 이동통신 네트워크 개발 필요성/타당성 분석
- 시스템 개발 시 필요한 요구사항 및 요소기술 분석
- 시스템 개발 방법론 제안
- 추후 후속 과제 제안을 위한 선행 자료 검증
- SCI 논문 1편, 국제학술대회 논문 2편 발간완료

#### V. 연구개발결과의 활용계획

- 대형 연구사업 제안/진행
- 설계 연구 결과를 토대로 네트워크 개발 및 구현
- 시스템 도입을 통한 실증 사업 수행
  - 수산업/해양 연구 등 해양 기반 네트워크 구축
  - 해양 분야 4차 산업혁명을 실현하기 위한 기반 네트워크 구축

## SUMMARY & KEYWORDS

Terrestrial broadband communication is evolving into its 5<sup>th</sup> generation supporting various applications and use cases. The standard is not only supporting increased data rates, there are many applications such as the internet of things, mission critical communications and ultra reliable low latency communications. However, the gap between terrestrial and marine communications are only being widened. To close the gap between terrestrial and marine communications, we provide a broad study over marine internet. First, we study and evaluate the requirements of maritime applications. To support the requirements, we present a network hierarchical network architecture based on cooperative communications. Two relaying strategies, distributed decode-forward and compute-forward, are developed as an effective cooperative strategy to support the network architecture. Finally, we develop a general purpose simulation environment for maritime network communications and perform several numerical evaluations on the proposed communications strategies.



# C O N T E N T S

## Chapter 1 Introduction

## Chapter 2 Methodology and Results

### 제 1 절 이동통신 네트워크 국제 표준 분석

Section 1. Analysis on next generation communication standards

Section 2. Analysis on ocean communication requirements and applications

Section 3. Cooperative communication strategies

Section 4. Simulation environment and numerical evaluations

Section 5. Analysis on next generation communication standards

## Chapter 3 Achievements and Contribution

Section 1. Research goal achievement status

Section 2. External contributions

## Chapter 4 Application of This Study

# 목 차

제 1 장 서론

제 2 장 연구 개발 수행 내용

제 1 절 이동통신 네트워크 국제 표준 분석

제 2 절 해양 이동통신 네트워크 특성 분석

제 3 절 해양 이동통신을 위한 협력통신 기법 개발

제 4 절 해양 이동통신 네트워크 요소기술을 위한 시뮬레이터 개발

제 5 절 해양 IoT를 위한 네트워크 설계

제 3장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제 1 절 연구개발목표 달성도

제 2 절 대외기여도

제 4 장 연구개발결과의 활용계획

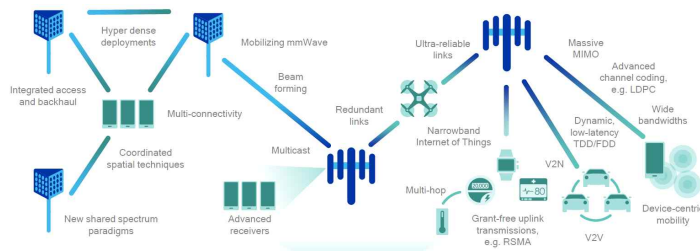
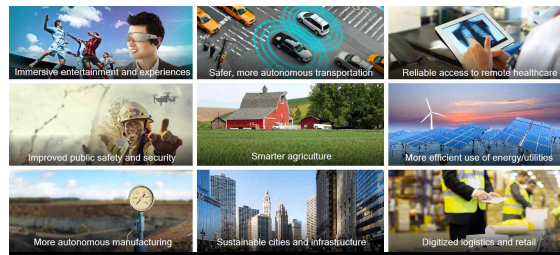
# 제 1 장 서론

## ○ 연구개발 목적

- 차세대 해양 이동통신 네트워크 설계를 위한 연구기반 구축

## ○ 연구개발 배경

- 5G 및 사물인터넷 연구동향



- ◆ ICT 분야는 셀룰라망 기반 상용 이동통신을 중심으로 기술개발이 이루어짐. 최근 5G (5세대 이동통신) 및 사물인터넷의 등장으로 다양한 차세대 응용분야 및 신성장 서비스가 발굴되고 있음.
- ◆ 특히 차량통신, 스마트 팩토리/전력제어, 증강 현실 등 다양한 서비스 요구 조건을 만족시키기 위한 다중안테나/밀리미터파 기술, 주파수공유, 릴레이, 드론/차량/D2D 통신, 초신뢰 저지연 다중접속 등에 대한 통신 원천기술에 대한 연구가 활발히 수행됨.
- ◆ 해양 환경의 경우, 현재 활발히 개발중인 5G 및 사물인터넷의 다양한 통신기술들이 대부분 적용 불가할 것으로 예상되며 아래 핵심 기술과제를 선결적으로 해결해야 함.

■ 해양을 위한 차세대 네트워크 기술 개발

- ◆ 해양 환경의 특성상 연안을 제외한 대부분의 환경에서 지상 기지국에 의존한 통신 환경 구축이 불가능함. 따라서 부표 기반 스마트 게이트웨이 및 이를 활용한 다중홉 릴레이 핵심 기술에 대한 개발이 이루어져야함. 아울러 무인 드론/수상정 기반 스마트 게이트웨이 및 이를 활용한 해양 데이터 수집 방법에 대한 연구가 필요함.
- ◆ 위성 및 수중 통신 한계 극복 저지연/고신뢰 통신 원천기술: 현재 해양 통신은 크게 위성을 활용한 통신과 음파를 활용한 수중 통신에 의존함. 위성 통신의 경우 특성상 자체 기술력 확보에 어려움이 있으며, 전파거리 및 대기상태 의존 특성에 의하여 저지연/고신뢰 통신채널 확보에 한계가 있음. 현재 수중 통신의 경우, 아날로그 변복조에 기반하고 있으며 디지털 변복조에 기반한 저지연/고신뢰 수중 통신 원천기술이 연구되어야 함.
- ◆ 통신 채널 다중화를 통한 안정도 및 신뢰도 향상 기술: 해양 환경에서 안정적인 다차원 데이터 수집, 전달, 가공을 위해서는 통신 채널 다중화를 통한 안정적인 통신 채널의 확보가 필수임. 또한 재난 환경 경보 및 신속 대응을 위한 다중 액세스 기술, 정보 보안 기술에 대한 연구가 필요함.
  - 해양 IoT 실현을 위해서는 육상 차세대 통신망의 규모, 연결성, 경제성, 통신 품질, 범용성이 대등한 수준에서 보장되어야만 실현이 가능
  - 범용 해상 통신망으로 단일 규격화 및 규모의 경제화 없이는, 해양 IoT를 실현하기 어려움
  - 사실상 가장 넓은 범용성과 많은 가입자를 보유하고 있는 3Gpp 통신 표준에 해양 통신으로 확장하기 위한 주도권 확보하고 핵심 표준 특허 선점 필요

○ 연구개발 필요성 및 타당성 분석

■ 해양에서 새로운 공공 서비스 기회 제공

- 대규모 광역 통합 해양 관측을 통한 정밀한 적조, 해일, 해양 상태 모니터링 및 예측 서비스 제공

- 재난 대응, 해역 모니터링 등 다양한 공공 안전망 서비스 기회 제공
  - 해양 산업, 해양 레저에 활용 가능한 육상과 대등한 수준의 무선통신 플랫폼 제공
  - 해양 분야 4차 산업혁명 성공을 위한 필수 기반 통신 기술 제공
  - 더욱 활발하고 원활한 해양 자원 탐사 기회제공
  - 해양 산업 전반에 주요한 해양 환경 관측 데이터 공유
  - 무인 선박, 해상 드론을 활용한 신속한 해양 사고 현장 지원 가능
- 신성장 해양산업 발굴의 초석이 되는 기반 IoT 통신 플랫폼 제공
    - 해양을 위한 새로운 통신 서비스 및 해양 통신 장비에 대한 시장 개척
    - 해양 IoT 플랫폼을 이용하는 스마트 양식장, 스마트 해양 물류 서비스 시장 창출
    - 해상 드론, 무인 선박을 활용한 물류, 해양 건축물 관리 서비스 제공
    - 해상 풍력발전, 해상 플랜트 등 해양 구조물 모니터링 서비스 제공
    - 수중 자원탐사, 수중 양식장 자동화 관리 서비스 제공
- 해양 빅데이터를 위한 차세대 해양 사물인터넷 네트워크 기술 확보
    - 해양환경을 위한 차세대 IoT 통신 기술 확보
    - 육상에서 적용되고 있는 최신 이동통신 기술을 해양 및 수중통신으로 확장 적용하는 기술적 진보
    - 무인 선박, 드론 제어를 위한 해양 저지연 고신뢰 이동통신 기술 확보
- 차세대 해양 무선 통신 표준 기술 세계선도
    - 3GPP (5G) 표준단체에서 해양 이동통신을 국제 표준에 반영하기 시작하는 초기단계임
    - 3GPP 표준에 해양 이동통신 표준화 시작단계로 연구 기술 중심의 주도권 확보
    - 해상 환경에 특화된 무선통신 원천기술 확보
    - 개별적으로 개발되는 해양 모니터링 관측 기기를 국제표준화를 통한 경쟁력 강화

○ 연구개발 목표

■ 당해 연도 목표성과물

- ◆ 차세대 해양 이동통신 네트워크 설계를 위한 연구기반 구축

■ 제안하는 시스템의 최종 목표

- ◆ 해양 특성 및 요구사항에 특화된 국제표준 기술 개발
  - 차세대 이동통신 네트워크 표준 분석
  - 해양 이동통신 네트워크를 위한 해양 특성 분석
  - 해양 이동통신 네트워크 요소기술 개발을 위한 시뮬레이션 환경 구축
  - 해양 IoT를 위한 네트워크 설계 및 요소기술 개발

○ 연구개발 결과

- 차세대 이동통신 네트워크 표준 분석
- 해양 이동통신 네트워크를 위한 해양 특성 분석
- 시스템 구조 설계 및 시뮬레이션 연구 환경 구축
- 시스템 개발 시 필요한 요구사항 및 요소기술 분석
- 시스템 개발 방법론 제안
- 해양 IoT를 위한 네트워크 구조 설계
- 추후 후속 과제 제안을 위한 선행 자료 검증

○ 상위 목표와의 연계성

- 해양과기원 임무 및 경영목표 등과의 연계성
  - 해양과학기술 및 해양산업과의 ICT 융합 방안 도출

## 제 2 장 연구 개발 수행 내용

### 제 1 절 차세대 이동통신 국제 표준 분석

#### ○ 3GPP 국제표준 단체

- 표준화: 표준을 제정하고 활용하는 조직적 활동
- ICT 표준: 통신망으로 연결되어 있는 각종 정보시스템이 다양한 형태의 정보통신 서비스를 제공, 이용하는데 필요한 통신 주체간의 협의된 규약 (프로토콜의 집합)
- 3rd generation partnership project
  - 3세대 이동통신 시스템 규격작성을 목적으로 1988.12 개설
  - 사실 표준화 기구 (ETSI 유럽, ATIS 미국, TTA 한국, TTC 일본...)
  - LTE, LTE-Advanced 제출 채택
  - 현재 남아있는 유일한 단일 규격 (vs. WCDMA, WiMAX, WiBro,...)
  - 현재 Release 13 상용화
  - Release 15 작성 초기 단계
  - Release 15 부터 5G 이동통신 표준
  - Release 15에 해상 통신 기고 시작 (한국 synctechno 기고)

#### ○ 국제 이동통신 표준의 중요성

- 상호 운용성 제공
  - 다른 기종 간에 정보교환 가능
- 비용 절감
  - 대량생산을 통해 규모의 경제 실현, 중복투자 방지
- 무역활성화
  - 국가간 무역은 국제표준을 따름
- 시장진출 도구
  - 제정과정에서 소비자 및 시장 요구 반영
  - 표준 제품은 시장 진출시 성공 가능성 높임
- 소비자의 편의성 제고
  - 통일되고 검증된 정보의 제공
- 제품 및 서비스 개선

- 품질 보장 및 관리, 생산 관리

■ 공공성

- 국가 공익적 서비스에 필요한 표준을 제정

○ 국제 표준화에 따른 이익

■ 과거: 상호호환성 보장, 서비스간 연동, 소비자 편익적 역할이 중요



(그림) 표준화를 통한 이익

[출처 : BSI, 'Best Practice, Next Practice']

■ 해상 통신 표준 특허 선점을 통한 국가 경쟁력 강화

■ 해상 통신 시장 창출 선도

○ 표준특허

■ 표준특허: 표준에 포함되는 특허

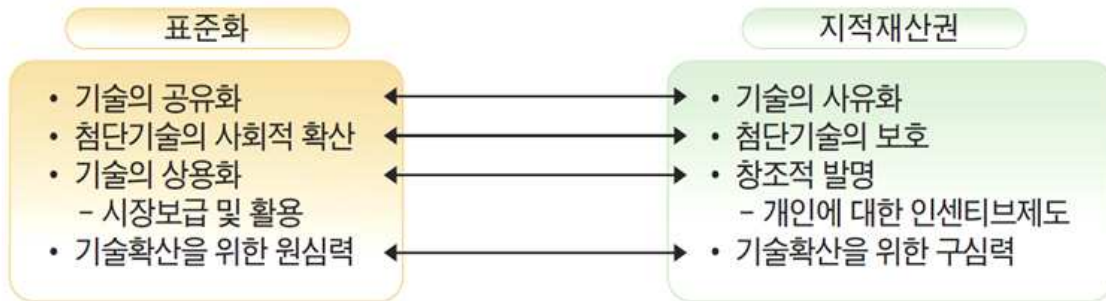
- 기술시장에서 독점력 강화의 주요 수단 (삼성 vs. Apple)

■ 기업은 자사의 특허기술을 표준화하여

- 단기적으로는 특허실시료의 확보

- 장기적으로는 해당 기술시장 장악





○ 해양분야 국제 표준화 편입의 필요성

■ 해상 통신의 상황

- 현재 해상에 특화된 통신 표준 전무함
- 해상 통신은 육상에 비해서 기술적 도전 존재

■ 국제 표준에서 벗어난 기술은 도태

■ 해상 통신 시장 창출 선도

- 규모의 경제화 없이 해상 통신 (IoT) 시장 창출 불가
- KT 상무 “해상 IoT 시장 창출하여 센서 개발 활성화 필요”

■ 정부출연연구소에서 해상 통신 기술시장 창출 및 선도 필요

■ 해상 통신 표준 특허 선점을 통한 국가 경쟁력 강화



○ 국제표준화 기구

■ ITU: ITU에서 5G 표준화를 주도하는 곳은 ITU-R에서는 SG5 Working Party 5D (WP5D), ITU-T에서는 SG13 Focus Group IMT-2020 (FG IMT-2020)이다. ITU-R WP5D은 2015년 5G 이동통신을 'IMT-2020'으로 정의하고, 5G usage scenario로

- eMBB (enhanced Mobile Broadband),
- mMTC (massive Machine Type Communications),
- URLLC (Ultra-Reliable and Low Latency Communications)

을 정의하였다. 5G 성능 요구사항, 평가기준과 방법을 2017년 6월 (27차 회의) 마무리하고, 2017년 10월 (28차 회의)부터 5G proposal을 받아, 2020년 10월 (36차 회의) 5G 규격을 완성할 계획이다. 2019년 WRC-19 (2019 World Radiocommunication Conferences)에서는 5G 주파수 대역이 할당된다.

■ 3GPP: 3GPP는 2015년 12월에 개최된 RAN 기술총회에서 5G 표준화에 대한 전반적인 일정과 개념을 합의

- 먼저 IMT-2020 지원을 위한 최상위 use-case를 (1)Enhanced Mobile Broadband, (2)Massive Machine Type Communications, (3)Ultra-reliable and Low Latency Communication 세 가

- Automotive, Health, Energy, Manufacturing 등 버티컬 산업 분야로 확산을 목표

- LTE evolution과 병행하여 새로운 무선접속기술 도입

■ IEEE 802.11:

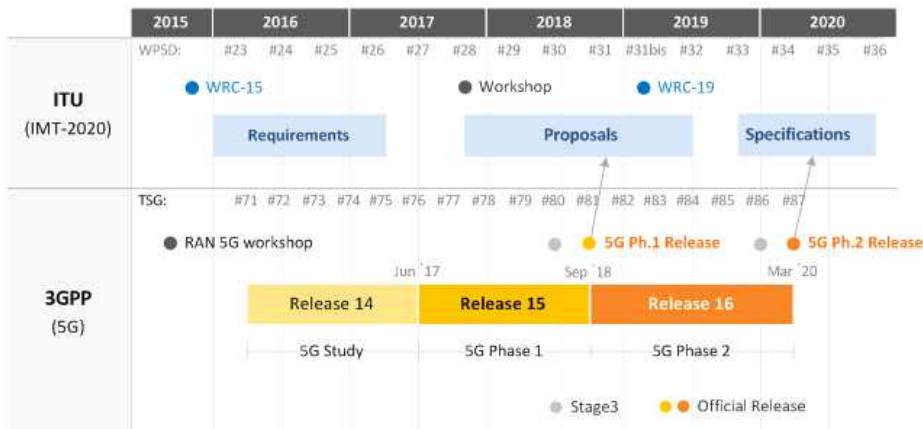
■ BBF: The broadband forum for wireline networks

■ IoT: Internet of things 관련 국제 표준단체로 low power wide area network (LPWA) 관련 기술 표준화

| 5G 성능지표  |                      | Value*   |
|--|----------------------|--|
| 최대 전송 속도 (Peak data rate) [Gbps]   |                      | 20 Gbps (DL), 10 Gbps (UL)                     |
| 최대 주파수 효율 (Peak spectral efficiency) [bps/Hz]  |                      | 30 bps/Hz (DL), 15 bps/Hz (UL)                 |
| 사용자 체감 전송 속도 (User experienced data rate) [Mbps]                                     |                      | 100 Mbps (DL), 50 Mbps (UL)                    |
| 셀 경계 사용자 주파수 효율<br>(5 <sup>th</sup> percentile user spectral efficiency)<br>[bps/Hz] | Indoor hot spot      | 0.3 bps/Hz (DL), 0.21 bps/Hz (UL) for eMBB     |
|  | Dense urban          | 0.225 bps/Hz (DL), 0.15 bps/Hz (UL) for eMBB   |
|  | Rural                | 0.12 bps/Hz (DL), 0.045 bps/Hz (UL) for eMBB   |
| 평균 주파수 효율 (Average spectral efficiency) [bps/Hz]                                     | Indoor hot spot      | 9.0 bps/Hz (DL), 6.750 bps/Hz (UL) for eMBB    |
|  | Dense urban          | 7.8 bps/Hz (DL), 5.4 bps/Hz (UL) for eMBB      |
|  | Rural                | 3.3 bps/Hz (DL), 2.1 bps/Hz (UL) for eMBB      |
| 면적당 트래픽 용량 (Area traffic capacity) [Mbps/m <sup>2</sup> ]                            |                      | 10 Mbps/m <sup>2</sup> for indoor hotspot-eMBB |
| 지연 시간 (Latency) [ms]   | User plane           | 4 ms for eMBB, 1ms for URLLC                   |
|  | Control plane        | TBD for eMBB and URLLC                         |
| 연결 밀도 (Connection density) [Device/Km <sup>2</sup> ]                                 |                      | 10 <sup>6</sup> for mMTC                       |
| 에너지 효율 (Energy efficiency)   |                      | TBD for eMBB                                   |
| 신뢰성 (Reliability)  |                      | 1-10 <sup>-5</sup> for URLLC                   |
| 이동성 (Mobility) [Km/h]  | Stationary           | 0 Km/h for Indoor hotspot-eMBB                 |
|  | Pedestrian           | 3 Km/h for Dense urban-eMBB                    |
|  | Pedestrian           | 120 Km/h for Rural-eMBB                        |
|  | High-speed vehicular | ~500 Km/h for Rural-eMBB, High-speed train     |
| 이동성 단절 시간 (Mobility interruption time) [ms]  |                      | 0 ms   |
| 대역폭 (Bandwidth) [MHz]  |                      | 100 MHz ~ 1 GHz                                |

\* blue: 잠정값 or TBD

- LoRA, Sigfox, NB-IoT (3GPP), UE bluetooth



## ○ 3GPP

- 3GPP는 Release 14에서 5G 규격을 위한 선행 연구를 시작하여, Release 15와 Release 16에서 본격적으로 5G 규격 작업을 진행함.

- Release 15에서는 5G 기본 feature들을 정의하여 5G Phase 1 규격을, Release 16에서는 추가적인 feature들을 정의하여 5G Phase 2 규격을 2020년 3월에 release할 계획이다. 5G 규격은 공식적으로는 Phase 1 규격이 2018년 9월에 Phase 2 규격이 2020년 3월에 완료 예정

- Stage-3 작업은 각각 2018년 6월과 2019년 12월에 완료

- Release 14

- Release 14는 5G 기술 규격 개발에 앞서 선행 연구하는 단계로 5G 기술 보고서 (TR)를 작성

- 대표적인 5G 연구 항목은 TSG (Technical Specification Group) RAN에서 진행하는 '5G 무선접속기술에 대한 요구사항'과 TSG SA (Service & System Aspects)에서 진행하는 '5G 시스템에 대한 구조'로 각각 TR 38.913과 TR 23.799에 정의

- Release 15

- 표준에서 진행될 NR 규격의 범위는 NSA (non-standalone)와 SA (standalone)를 모두 포함

- NSA는 5G NR과 LTE가 같이 동작할 수 있는 것으로 5G NR이 LTE를 control plane anchor로 사용할 수 있도록 지원

- SA는 5G NR이 단독으로 동작할 수 있는 것으로 5G NR에 대해 full control plane capability를 지원한다. 또한, ITU에서 정의된 5G usage scenarios (eMBB, mMTC, URLLC) 중 eMBB 지원에 초점을 맞추고 일부 URLLC도 지원

- 해양 이동통신 표준 proposal

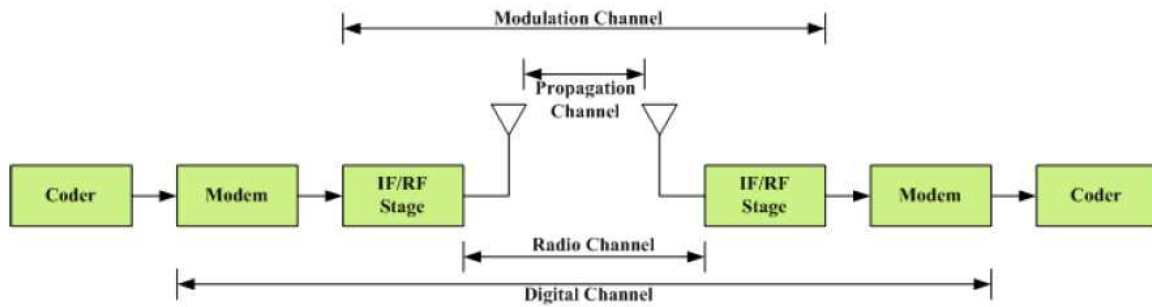
| KPI   | Value  |
|---|--|
| Peak data rate                                  | DL: 20 Gbps, UL: 10 Gbps   |
| Peak spectral efficiency                        | DL: 30 bps/Hz, UL: 15 bps/Hz   |
| Bandwidth                                       | TBD  |
| Control plane latency                           | 10 ms  |
| User plane latency                              | DL: 0.5 ms, UL: 0.5 ms for URLLC<br>DL: 4 ms, UL: 4 ms for eMBB      |
| Latency for infrequent small packets            | UL: no worse than 10 seconds*  |
| Mobility interruption time                      | 0 ms   |
| Inter-system mobility                           | TBD  |
| Reliability                                     | 1-10 <sup>-5</sup> ** for URLLC                                      |
| Coverage (Extreme coverage)                     | MCL: 164 dB for mMTC   |
| UE battery life                                 | 15 years for mMTC  |
| UE energy efficiency                            | Qualitative  |
| Cell/Transmission point/TRP spectral efficiency | TBD  |
| Area traffic capacity                           | TBD  |
| User experienced data rate                      | TBD  |
| 5th percentile user spectrum efficiency         | TBD  |
| Connection density                              | 10 <sup>6</sup> device/Km <sup>2</sup> in urban environment for mMTC |
| Mobility  | 500 Km/h   |
| Network energy efficiency                       | Qualitative  |

\* for a 20 byte application packet (with uncompressed IP header corresponding to 105 bytes physical layer) measured at the maximum coupling loss (MaxCL) of 164dB.

\*\* for 32 bytes with a user plane latency of 1ms

## 제 2 절 해양 이동통신 네트워크 특성 분석

### 1. 해상 무선 채널 분석



#### ○ 무선채널 모델링

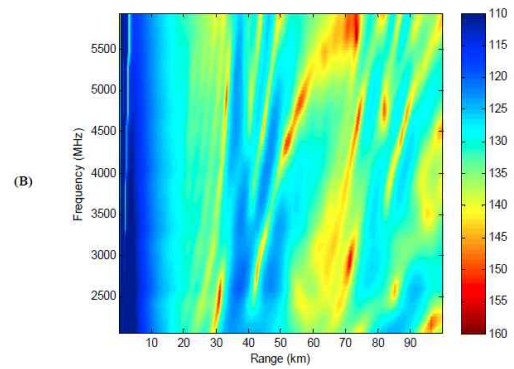
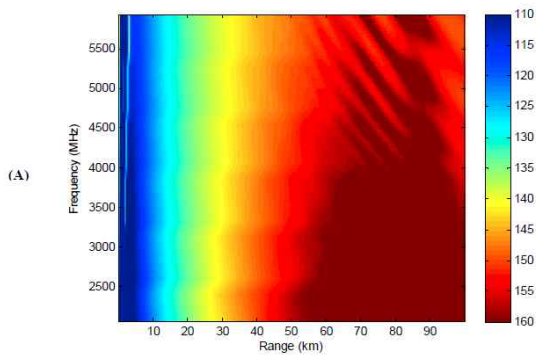
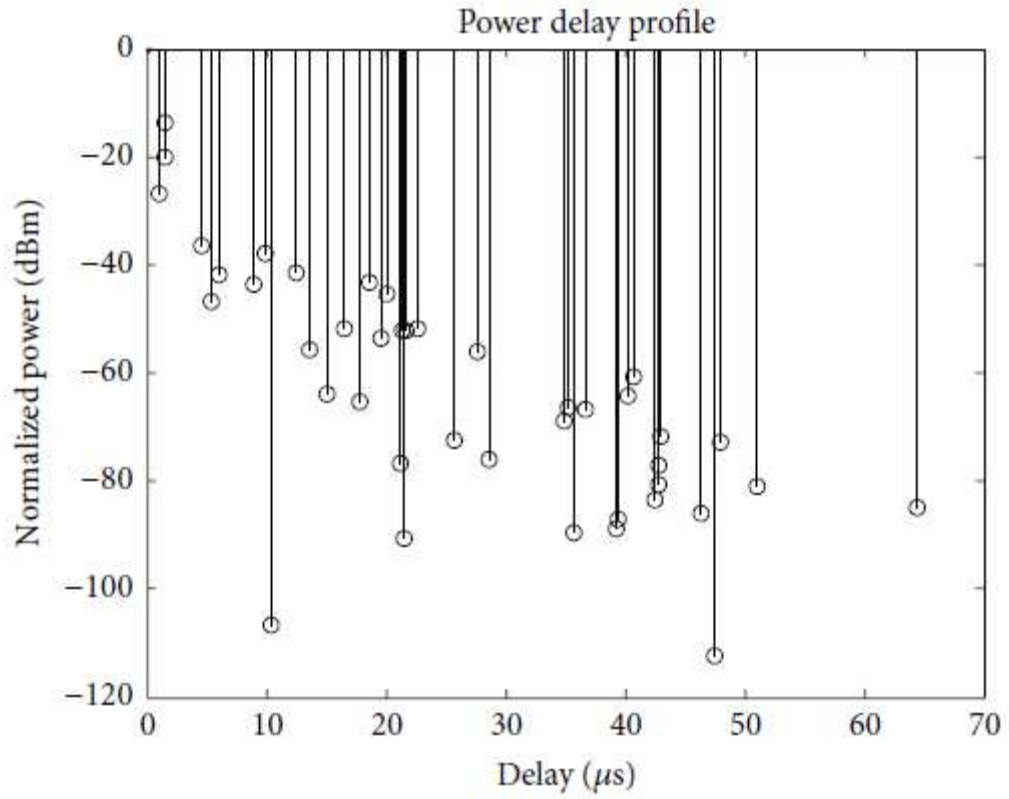
- 채널모델 연구는 선진IT 기술연구에 수반되는 기초연구이자 이동통신 연구의 국가적 인프라에 해당하는 중요한 자원임
- path loss 모델을 포함한 기존의 채널 특성연구는 주로 2GHz 이하 대역에 해당하며, 3GHz 이상대역의 특성연구를 위해서는 다양한 특정 캠페인을 통한 새로운 채널모델링 시도가 필요
- 무선통신 시스템 설계측면에서 무선 공간 채널 파라미터 연구는 아래 그림 2와 같이 기존의 전파 채널 연구에서 다중 안테나를 포함한 Radio Channel로 발전하고 있으며 무선 전송기술의 성능 평가를 위하여 Digital Channel을 포함하는 종합적인 통신 채널 연구 필요

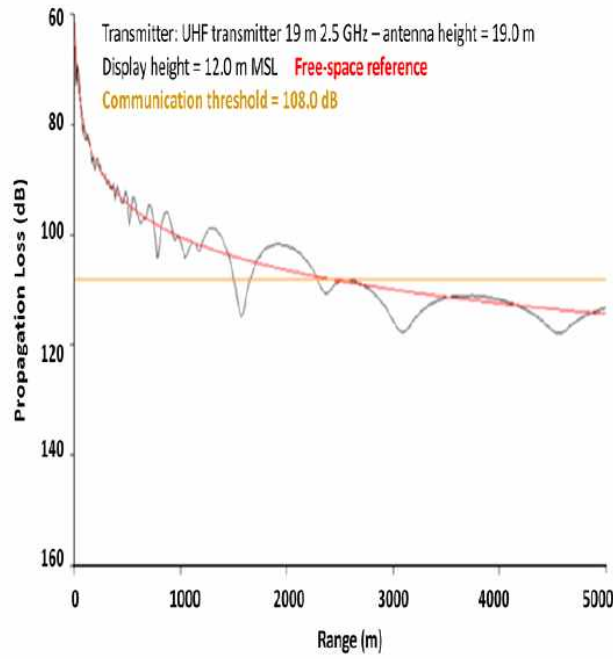
#### ○ 선박-무인이동체 채널 분석

- Stochastic Ray Method에 의한 모델링
  - Han Wang, Wencai Du, "Research on Maritime Radio Wave multipath propagation based on stochastic ray method", Mathematical problems in engineering, 2016
  - 해상 무선채널은 해상과 선박에 의한 반사의 결과로 multipath 효과가

생김

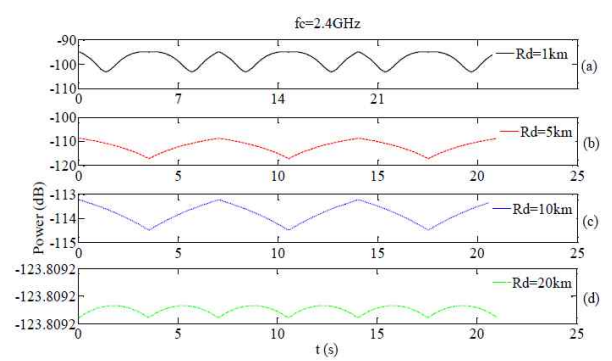
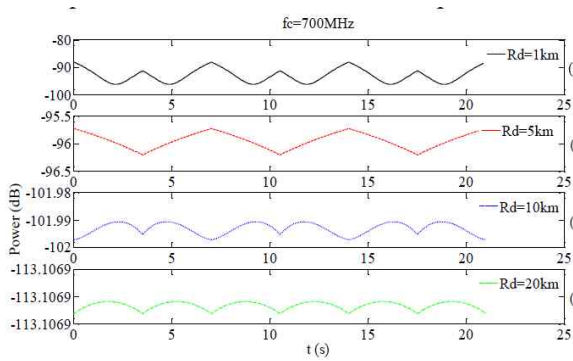
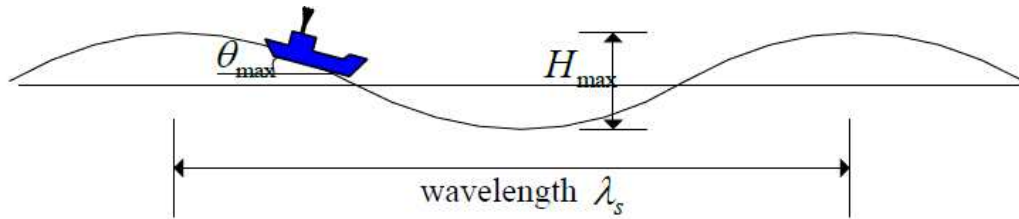
- 라티스 그리드로 채널을 모델링하여 엔트로피 최대화 기법을 활용하여 다수의 반사 확률 확보





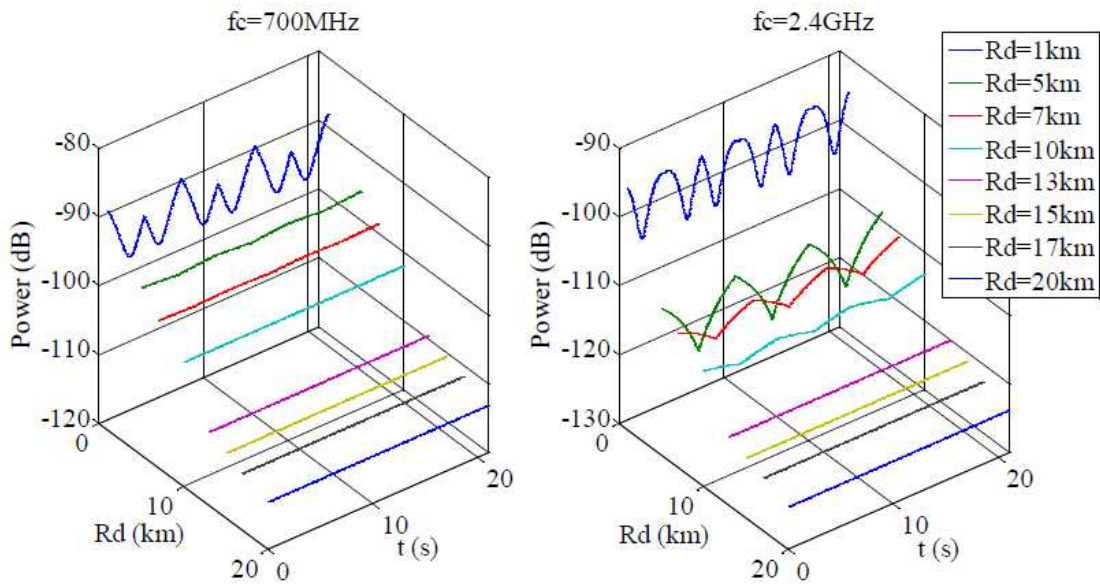
○ 선박의 이동성을 고려한 채널 분석

■ 선박에서 무선통신의 경우 해상 상황에 따라서 선박의 이동이 생김



■ Fang Huang, Yong Bai, Wencia Du, Journal of





communications“Maritime Radio propagation with the effections of ship motions”, Vol. 10, No. 5, May, 2015

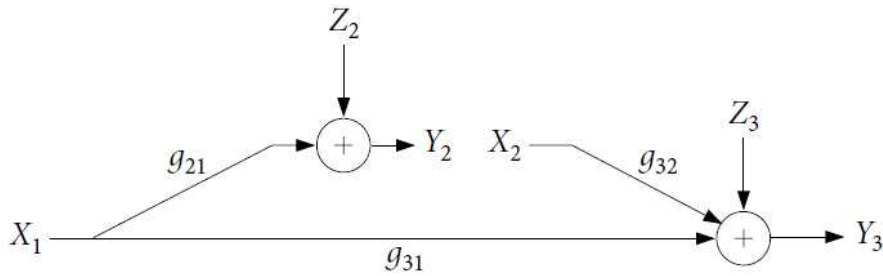
- 10m 높이의 2.1dB dipole antenna를 가정하고, 선박에서 해안으로1, 5, 10, 20km 거리에 무선 통신을 가정함
- 해상 상황은 Douglas 5로 가정하고 파도 fluctuation cycle은 7/sec
- 700Mhz와 2.4Ghz 주파수 대역에서 분석
- 통신 거리에 따라서 선박의 이동성에 의한 변화는 줄어드는 경향을 보임
- 좌우 이동대비 상하 운동에 의한 영향력이 더 크게 나타남
- 주파수별로는 높은 주파수에서 이동에 의한 영향을 더 받는 것으로 분석

### 제 3 절 해양 이동통신을 위한 협력통신 기법 개발

#### 1. 분산 협력을 통한 전송기법 연구

○ 릴레이를 활용한 이동통신 네트워크

- 송수신자 이외에 무선통신을 중간에서 협력하는 중계기, 릴레이 활용한 이동통신 네트워크
- 해양에서는 통신개체가 넓은 지역에 분포하여 중계기를 활용한 통신이 필수임



$$Y_2 = g_{21}X_1 + Z_2,$$

$$Y_3 = g_{31}X_1 + g_{32}X_2 + Z_3,$$

○ 릴레이 기법

- Decode-forward: 중계기에서 전송정보를 복호화하고, 다시 부호화하여 전송하는 중계기법

$$C \geq \max_{0 \leq \rho \leq 1} \min \{ C(S_{31} + S_{32} + 2\rho\sqrt{S_{31}S_{32}}), C(S_{21}(1 - \rho^2)) \}$$

$$= \begin{cases} C((\sqrt{S_{31}(S_{21} - S_{32})} + \sqrt{S_{32}(S_{21} - S_{31})})^2 / S_{21}) & \text{if } S_{21} \geq S_{31} + S_{32}, \\ C(S_{21}) & \text{otherwise.} \end{cases}$$

- Compress-forward: 중계기에서 전송신호를 복호화하지 않고, 신호를 디지털 압축하여 전송하는 중계기법

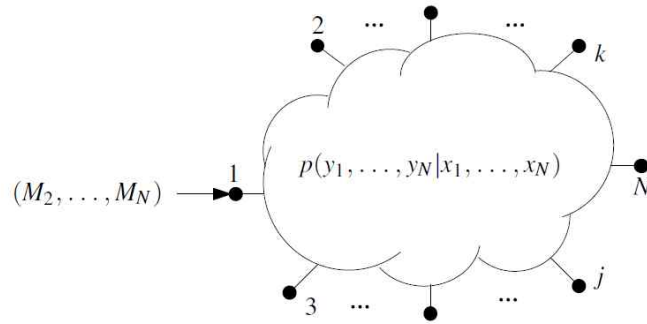
$$C \geq C\left(S_{31} + \frac{S_{21}S_{32}}{S_{31} + S_{21} + S_{32} + 1}\right).$$

- Amplify-forward: 중계기에서 전송신호를 복호화하지 않고, 아날로그

신호를 증폭하여 재전송하는 중계기법

$$C_L^{(1)} = C \left( S_{31} + \frac{S_{21}S_{32}}{S_{21} + S_{32} + 1} \right).$$

○ 하향 (Downlink) 릴레이 정보전송



- **Nodes:**  $(X_1, Y_1), \dots, (X_N, Y_N)$
- **Network:**  $p(y_1, \dots, y_N | x_1, \dots, x_N)$
- Messages  $M_2, \dots, M_N$  are **broadcast** to nodes  $2, \dots, N$
- Encoder  $x_1^n(m_2, \dots, m_N)$  / relay  $x_{ki}(y_k^{i-1})$  / decoder  $\hat{m}_k(y_k^n)$

■ Distributed decode-forward 기법

- ◆ 하향 정보전송에서 이론적 최대 전송용량대비 0.5N bit 차의 성능 보장 (N=네트워크 노드의 수)

**Distributed decode-forward lower bound (unicast)**

$$C \geq \max \min_{\substack{S \subseteq [1:N] \\ 1 \in S, N \in S^c}} \left[ I(X(S); U(S^c) | X(S^c)) - \sum_{k \in S^c} I(U_k; U(S_k^c), X^N | X_k, Y_k) \right]$$

where the maximum is over  $(\prod_{k=2}^N p(x_k))p(x_1, u_2^N | x_2^N)$

- ◆ 현존하는 일반적 네트워크 최대 성능 보장

- ◆ 중계기에서 송신신호를 부분적으로 복호화하여 재전송하는 기법 활용 (partial decode-forward)
- ◆ 유선네트워크를 위해서 개발된 네트워크 코딩을 무선채널로 일반화함

| Distributed decode-forward       | Noisy network coding                        |
|----------------------------------|---|
| Broadcast                        | Multiple multicast (Multiple Access)        |
| Marton's inner bound             | MAC capacity                                |
| Simple decoder<br>( $U^N, X^N$ ) | Simple encoder<br>( $\hat{Y}_k, Y_k, X_k$ ) |
| Partial decode-forward           | Compress-forward                            |
| 0.5N                             | 0.63N                                       |

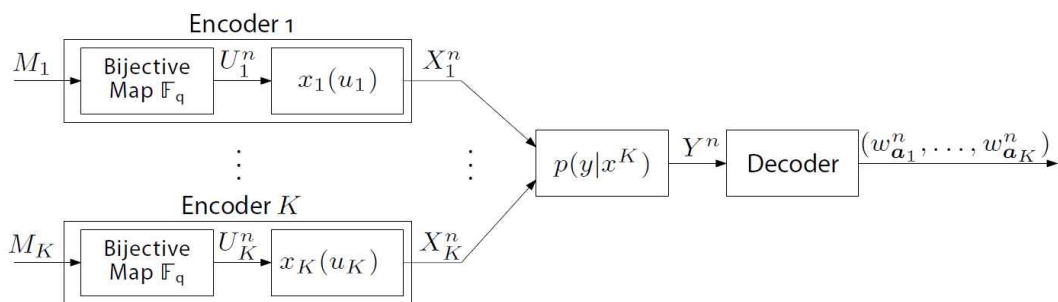
■ Noisy network coding기법과의 비교

- ◆ 상향 링크에서 최적 성능을 보이는 noisy network coding과 쌍으로 활용 가능
- ◆ 잡음네트워크 코딩 (noisy network coding)은 복호화 대신 수신신호 압축을 활용
- ◆ 잡음네트워크 코딩은 수신단에서 네트워크를 종합적으로 활용하여 수신하는 반면, distributed decode-forward는 송신시 네트워크를 종합적으로 고려하여 전송
- ◆ 상향/하향정보 전송을 두 방식을 혼용하여 사용가능

## 2. 연산을 활용한 전송기법

### ■ Compute-forward

- 중계기에서 선형 구조를 갖는 부호를 활용하여 전송신호의 선형 결합을 복호화하여 재전송
- Decode-forward, compress-forward, amplify-forward와는 차별된 구조로 제4의 중계기법

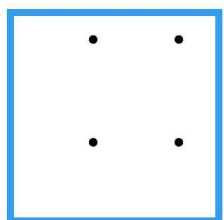
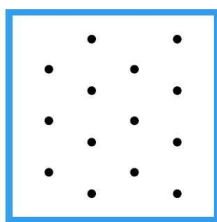


- 부호화 단계에서는 전송정보를 field element의 열로 매핑하여 전송

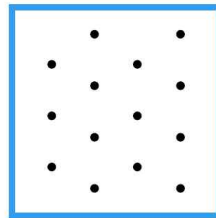
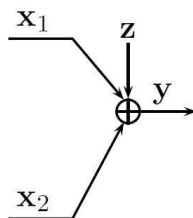
- **$K$  encoders:**  $m_k \rightarrow (u_k^n, x_k^n) \in \mathbb{F}_q^n \times \mathcal{X}_k^n$ , bijectively;
- **Decoder:**  $y^n \rightarrow \hat{w}_A^n \in \mathbb{F}_q^n \times \dots \times \mathbb{F}_q^n$

- 복호단에서는 수신신호 기반으로 전송단의 신호의 선형결합을 복호화

$2^{nR_1}$  codewords

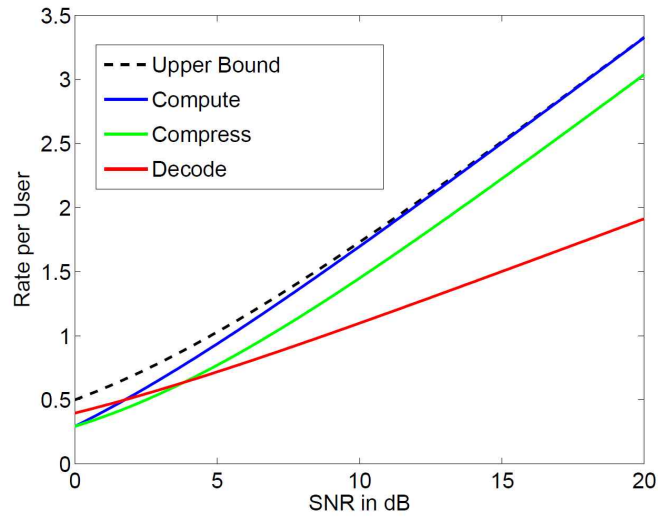
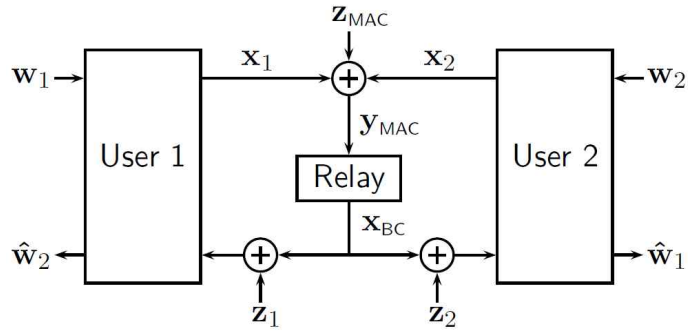


$2^{nR_2}$  codewords



$2^{n \max(R_1, R_2)}$  modulo sums of codewords

■ 중계기 기반 전이중 통신



## 제 4 절 해양 이동통신 네트워크 요소기술을 위한 시뮬레이터 개발

### ○ 연구/개발용 서버 구축

- 다음 두 가지 목적을 만족하는 서버 시스템을 구축함.
  - 시스템 구조 설계 및 시뮬레이션 연구 환경
  - Matlab기반 open souce communication tool 활용
- 구축된 연구/개발용 서버의 주요 제원은 다음과 같음

|          | 제 원                                       |
|----------|---|
| CPU      | 3Ghz 8-core intel Xeon E5 25MB L3 cache   |
| RAM      | DDR3 64GB                                 |
| OS       | MAC OSX 10.6                              |
| GPU      | Dual AMD FirePro D700 graphica processors |
| Storage  | SSD 1TB                                   |
| Software | Matlab 2017                               |

- 하드웨어: MAC OSX 기반 MAC pro 구축
- 소프트웨어
  - Matlab 2017 (communication toolbox등)
  - Coded modulation library (Matlab + C) 기반 오픈소스 라이브러리

### ○ Coded modulation library

#### ■ 지원하는 통신 표준

- ◆ 통신표준
  - UMTS/3GPP (HSDPA, LTE 포함)
  - cdma2000/3GPP2
  - CCSDS
- ◆ 터보부호
  - DVB-RCS
  - WiMAX IEEE 802.16

- ◆ LDPC 부호
- DVB-S2
- Mobile WiMAX IEEE 802.16e

■ 부호화 모듈

- 모듈레이션 (modulation)

■ sim\_param(record).

- modulation = {string}
  - Specifies the modulation type
  - May be 'BPSK', 'QPSK', 'QAM', 'PSK', 'APSK', 'HEX', or 'FSK'
  - 'HSDPA' used to indicate QPSK and QAM used in HSDPA.
  - All but FSK are 2 dimensional modulations
    - Uses a complex scalar value for each symbol.
  - Default is 'BPSK'
  - New (version 1.9 and above): Can also be set to "custom".
- mod\_order = {integer scalar}
  - Number of points in the constellation.
  - Power of 2.
  - Default is 2.
  - In some cases, M=0 is used to indicate an unconstrained Gaussian input.
- S\_matrix = {complex vector}
  - Only used for "custom" modulation type.
  - A vector of length "mod\_order" containing the values of the symbols in the signal set S.

- 부호화

- Only for sim\_param(record).sim\_type = 'coded'
- sim\_param(record).code\_configuration = {scalar int}
  - 0 = Convolutional
  - 1 = binary turbo code (PCCC)
  - 2 = LDPC
  - 3 = HSDPA turbo code
  - 4 = UMTS turbo code with rate matching
  - 5 = WiMAX duobinary tailbiting turbo code (CTC)
  - 6 = DVB-RCS duobinary tailbiting turbo code



- 복호화

■ `sim_param(record).decoder_type = {integer scalar}`

negative value for Viterbi algorithm

0 = log-MAP (approximated linearly)

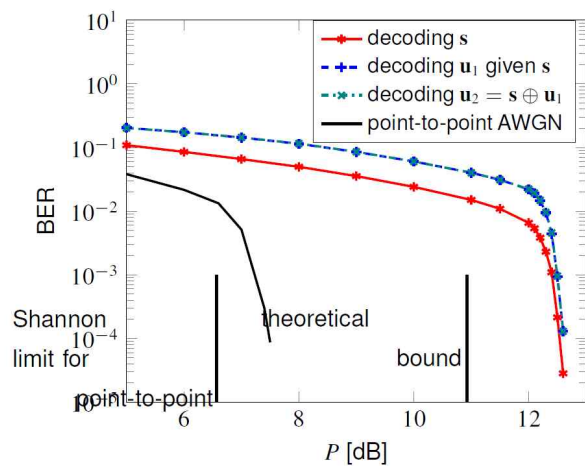
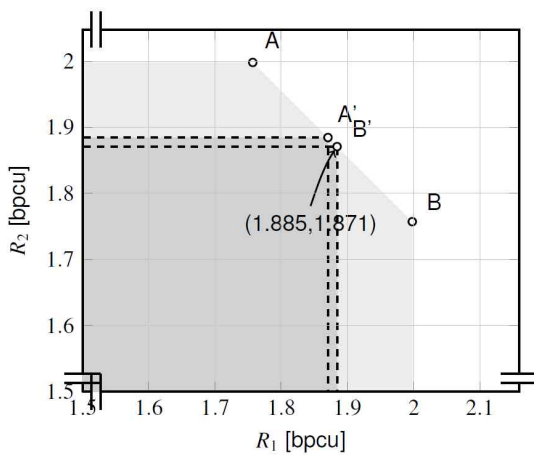
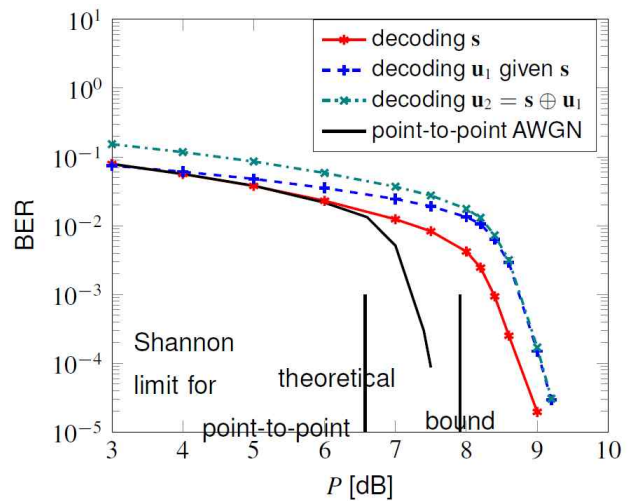
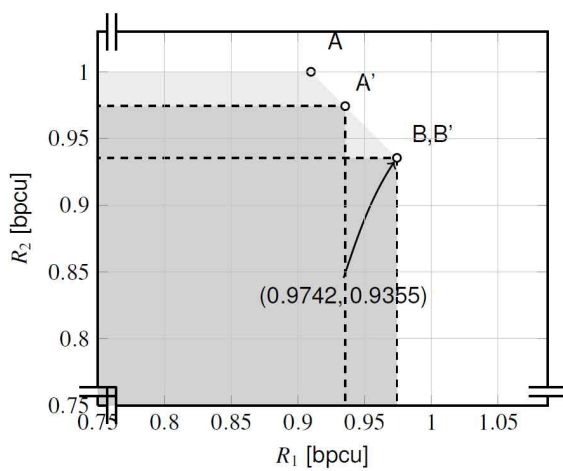
1 = max-log-MAP

2 = constant-log-MAP

3 and 4 other implementations of log-MAP

■ Decodes over entire trellis (no sliding window traceback)

■ Compute-forward 기법 시뮬레이션 결과



○ IoT 네트워크 테스트 장비

- 상용 임베디드 시스템 개발 환경 구매 및 이를 활용한 target 시스템 개발 환경 구축.



Raspberry PI 3



Arndale Octa board

- 해당 임베디드 시스템의 주요 스펙은 다음과 같음.

|         | 제 원                                   |         | 제 원  |
|---------|---------------------------------------|---------|--|
| CPU     | 1.2GHz 64bit Quad-core ARM Cortex-A53 | CPU     | Exynos 5420 Octa-core (1.8GHz 64bit Quad-core ARM Cortex-A15 + A7 Quad-core) |
| RAM     | 1GB LPDDR2 RAM                        | RAM     | 2GB LPDDR2 RAM   |
| Storage | Micro SDHC slot                       | Storage | On-board NAND and Ext.   |

- 상기 플랫폼은 개발 서버와 아래와 같은 인터페이스를 통해 연결됨

- Serial (RS-232)
- Network (Ethernet)
- USB
- LoRA 통신 모듈

- 개발 서버를 통한 원활한 개발을 위해 아래와 같은 소프트웨어 환경을 구축하여 테스트함

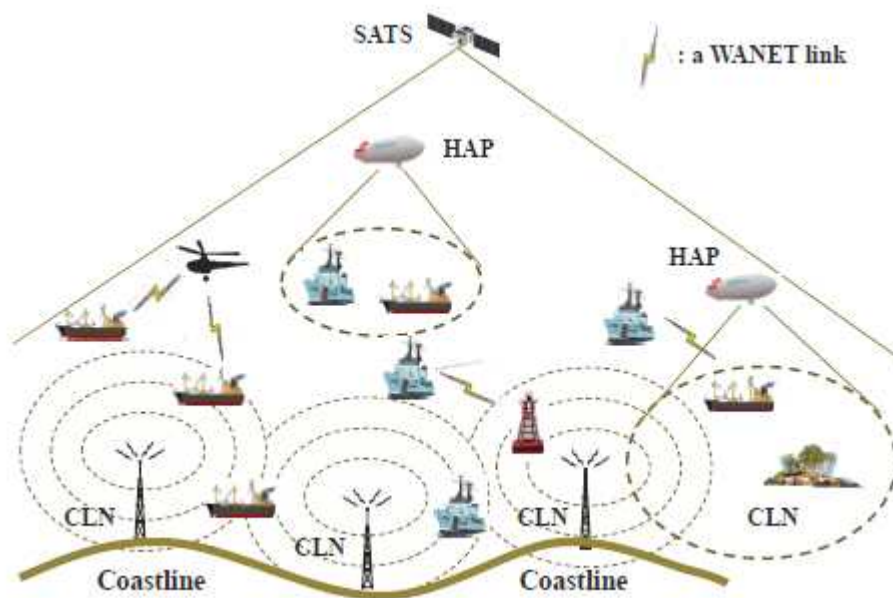
- Cross compiler
- Minicom
- DHCP, TFTP, NFS

## 제 5 절 해양 IoT를 위한 네트워크 설계

### ○ 해양 인터넷 네트워크

- 해양에서 육상 LTE와 같은 수준의 범용 인터넷 망 공급
- 해양의 특수성을 고려한 다양한 애플리케이션 지원
- 주요 요구사항
  - 브로드밴드 통신
  - 해양 센서네트워크를 위한 LPWA
  - 해양 재난 대비를 위한 mission critical 통신
  - 무인선, 무인드론 제어를 위한 ultra reliability low latency communications (URLLC)
  - 해상 및 수중통신을 위한 중계기/협력 통신

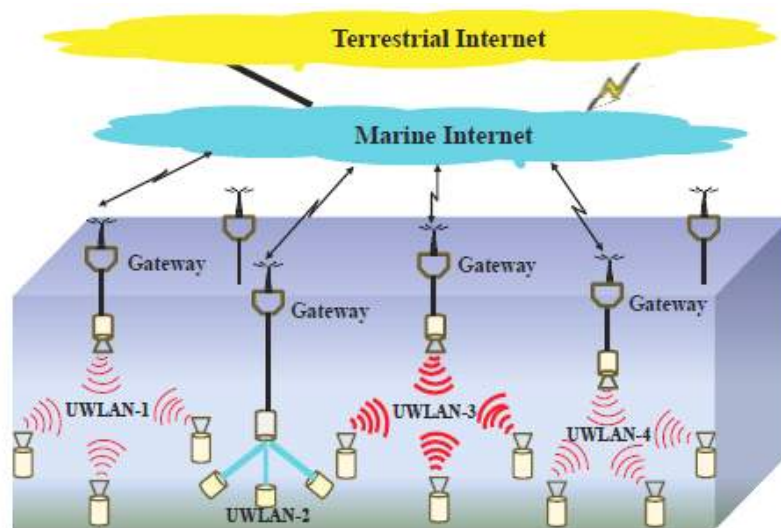
### ○ 계층적 구조



### ■ 통신 범위와 애플리케이션 별로 영역을 계층화

- ◆ 해안 네트워크
  - 지상기지국 기반 네트워크
  - 해상 네트워크와 육상 네트워크를 연결해주는 끝단
  - 해안선, 근 해상 통신 기지국

- ◆ 해상 광역이동통신 네트워크 (WANET)
  - 선박 대 선박, 선박 대 육상, 선박 대 네트워크, 무인 드론 통신
  - 해안선 네트워크를 무인드론, 부표 기지국등을 활용하여 최대한 확장
  - 해상 중계기활용: UAV, USV, 부표 활용
  - 수중 네트워크와 육상네트워크를 연결하는 중계 역할
- ◆ High altitude platform (HAP)
  - 성층권에서 장기 운용되는 기지국
  - 17~22km 상공에서 수개월 비행
  - 태양전지를 활용한 장기 비행
  - 예: google loon project
- ◆ 위성통신
  - 육상과 먼 해양에서 활용되는 통신체계
  - 고가와 통신 지연등의 이유로 제한적 활용
  - 국제표준과 연계하여 활용성 증대 필요

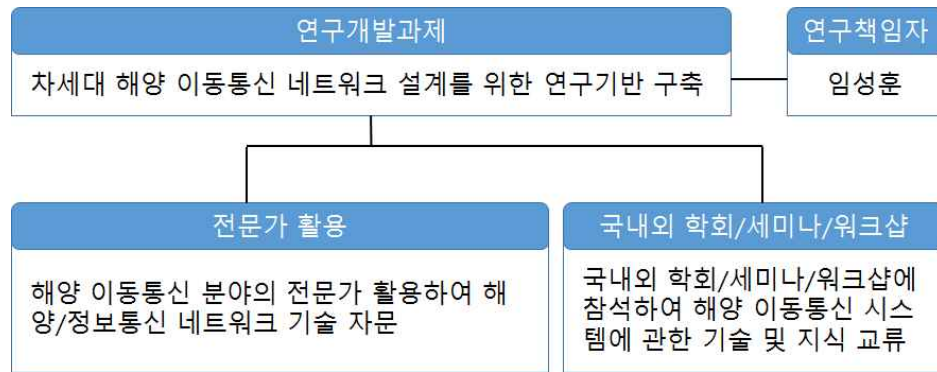


- ◆ 수중 센서 네트워크
  - 수중은 해상 네트워크와는 달리 일반적으로 음향전송을 활용함
  - 해상네트워크와의 연계를 위해서 수중 네트워크와 해상네트워크를 연결

해주는 부표 기반 게이트웨이 활용

- 수중에서는 star-topology의 연결구조를 활용한 센서네트워크 구축

### 제 3 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도



#### 제 1 절 연구개발목표 달성도

- 본 과제를 통해 달성된 연구 사항은 다음과 같다.
  - 해양 광역 광대역 이동통신 연구 개발 필요성/타당성 분석
  - 시스템 개발 시 필요한 요구사항 및 요소기술 분석
  - 해양 센서네트워크 협력 통신 요소기술 개발
  - 해양 이동통신 시스템 설계
  
- 또한, 추후 요소기술 연구개발을 위해 다음과 같은 연구기반을 구축.
  - 연구/개발용 서버 구축
  - Target 시스템 개발 환경 구축
  - 해양 이동통신 기술 개발을 위한 open source 기반 시뮬레이션 환경 구축
  
- 한편, 본 과제를 통해 다음과 같은 정량적인 연구성과를 도출함.
  - SCI 논문 1편 발간 완료
  - 국제 학술대회 논문 2편 발간 완료

## 제 2 절 대외기여도

- 해양 이동통신 원천 기술 확보를 통한 신규시장 개척
  - 해양 이동통신 중계기법 기술 확보
  - 해양 이동통신 네트워크 구조 설계
  - 해양 이동통신 국제 표준 기반 기술 선점 방향 제시
  
- 해양 산업 발전 및 국민안전 피해 감소 효과
  - 해양 생태계 및 해양 빅데이터 수집을 위한 전송 플랫폼 기반기술 확보
  - 해양 IoT 및 4차산업 혁명 실현을 위한 기반 네트워크 요소기술 확보
  - 해양 재난시 긴급 대응을 위한 네트워크 요소기술 확보

## 제 4 장 연구개발결과의 활용계획

- 차세대 해양 이동통신 기술 연구 기반 확보
  - 해양 이동통신 서비스 개선 및 IoT 기반 확립
  - 해양 분야 4차산업 혁명을 이룩하기 위한 기반 통신네트워크 구축
- 차세대 해양 이동통신 국제표준 기술 개발에 활용
  - 국제표준 특허 선점
  - 해양 분야 다양한 서비스 요구사항 표준에 반영
- 차세대 해양 광대역 이동통신 환경 구축을 위한 국가 R&D 사업 추진
  
- 국가 차세대 이동통신 (5G) 개발 전략을 해양 환경에 접목하여 해양 이동통신 인프라 구축 및 ICT 기반 플랫폼 제공
  
- 육상대비 현저하게 뒤떨어져 있는 해양 광대역 이동통신 기술 개발을 통해서 해양 무선통신 차세대 표준 반영한 선진화
  
- 해양 IoT, 드론 통신 등 해양 전용 서비스에 특화된 이동통신기술 확보
  
- 해양 이동통신 분야 국제표준 특허 선점을 통한 국가 경쟁력 강화
  
- 육상과 대등한 광대역 이동통신 환경을 해양에 제공하여 국민 편의 및 공공안전 서비스 지원 확대 가능



## 주 의

1. 이 보고서는 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 한국해양과학기술원에서 수행한 주요사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.