

주 의

수중 음향 네트워크의 전송 지연현상 최소화를 위한 전이중 통신기술 연구

한국해양과학기술원

수중 음향 네트워크의 전송 지연현상 최소화를
위한 전이중 통신 기술 연구

Studies on optimal drone operation for internet of maritime
things

2017.02.28

한국해양과학기술원

제 출 문

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “수중 음향 네트워크의 전송 지연현상 최소화를 위한 전이중 통신 기술 연구”과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2017. 02 .

총괄연구책임자 : 송 유 재

참 여 연 구 원 : 장 인 성

“ : 신 창 주

“ : 최 우 열

보고서 초록

과제고유 번호	PE99447	해당단계 연구기간	2016/06/01 ~ 2017/03/31	단계 구분	
연구사업명	중사업명				
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	수중 음향 네트워크의 전송 지연현상 최소화를 위한 전이중 통신 기술 연구			
연구책임자	송유재	해당단계 참여연구원수	총 : 4 명 내부: 4 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 55,000 천원 기업: 천원 계 : 55,000 천원
		총연구기간 참여연구원수	총 : 4 명 내부: 4 명 외부: 명	총 연구비	정부: 55,000 천원 기업: 천원 계 : 55,000 천원
연구기관명 및 소속부서명	한국해양과학기술원 /해양ICT융합연구센터		참여기업명		
국제공동연구					
위탁연구					
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서 면수	20
<p>○ 최종목표 : 수중 음향 네트워크의 전송 지연현상 최소화를 위한 전이중 통신 기술 개발</p> <p>○ 수중 음향통신 환경 분석 및 수중 음향 네트워크 모델링</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수중 음향 네트워크 연구기술 조사 및 분석 - 수중 음향 신호의 특성 분석을 통한 네트워크 파라미터 정의 <p>○ 수중 음향 네트워크를 위한 전이중 통신 프로토콜 개발</p> <ul style="list-style-type: none"> - 수중 음향 네트워크 모델 기반 전이중 통신 프로토콜 설계 및 개발 - 네트워크 시뮬레이터를 이용한 성능 검증 및 최적화 수행 					
색인어 (각 5개 이상)	한 글	수중통신, 전이중 통신, 모니터링, 네트워크 프로토콜, 저지연 전송			
	영 어	Underwater communication, full-duplex, monitoring, network protocol, low-latency transmission			

요 약 문

I. 제 목

- 수중 음향 네트워크의 전송 지연현상 최소화를 위한 전이중 통신 기술 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

- 수중 음향 네트워크의 전송 지연현상 최소화를 위한 전이중 통신 기술 개발

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 수중 음향통신 환경 분석 및 수중 음향 네트워크 모델링
 - 수중 음향 네트워크 연구기술 조사 및 분석
 - 수중 음향 신호의 특성 분석을 통한 네트워크 파라미터 정의
- 수중 음향 네트워크를 위한 전이중 통신 프로토콜 개발
 - 수중 음향 네트워크 모델 기반 전이중 통신 프로토콜 설계 및 개발
 - 네트워크 시뮬레이터를 이용한 성능 검증 및 최적화 수행

IV. 연구개발결과

- 전이중 통신 프로토콜 기술에 대한 SCIE급 논문
- 개발된 전이중 통신 기술을 연계 및 활용할 수 있는 신규 기획과제 보고서

V. 연구개발결과의 활용계획

- 전이중 통신 프로토콜의 실증 실험을 위한 테스트베드 구축
- 전이중 통신 프로토콜 기술을 적용할 신규 연구과제 기획

S U M M A R Y 및 KEYWORDS

I. Title

- Full-Duplex Communication for Low-Latency Underwater Acoustic Network

II. Objective

- Development of Full-Duplex Communication for Low-Latency Underwater Acoustic Network

III. Contents

- Modeling underwater acoustic channel
 - literature survey on underwater acoustic channel
 - Definition of network parameters through analysis on underwater acoustic channel
- Development of full-duplex communication protocols for underwater acoustic networks
 - Design full-duplex communication protocol for underwater acoustic network
 - Performance analysis through computer simulation

IV. Results

- SCIE paper with respect to full-duplex communication for underwater acoustic networks

(KEYWORDS : 수중통신, 전이중 통신, 모니터링, 네트워크 프로토콜, 저지연 전송,
Underwater communication, full-duplex, monitoring, network protocol, low-latency transmission)

C O N T E N T S

Chapter 1. Introduction

Chapter 2. Status on existing researches

Chapter 3. Research results

Chapter 4. Utilization plan for research results

목 차

제 1 장 서론

제 2 장 국내외 기술개발 현황

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 4장 연구개발결과의 활용계획

1. 서론

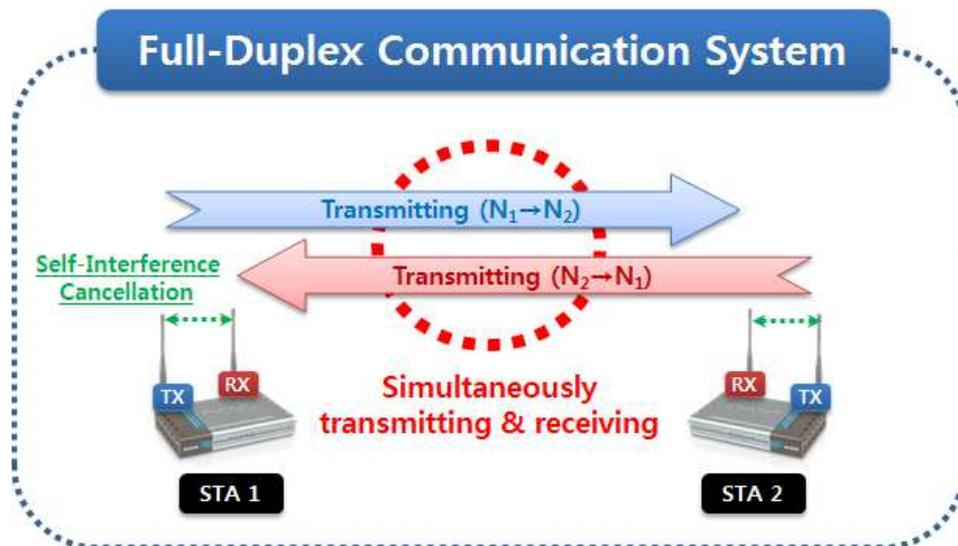
(1) 연구개발 목표

(가) 최종목표

- 수중 음향통신 환경 분석 및 수중 음향 네트워크 모델링
 - 수중 음향 네트워크 연구기술 조사 및 분석
 - 수중 음향 신호의 특성 분석을 통한 네트워크 파라미터 정의
- 수중 음향 네트워크를 위한 전이중 통신 프로토콜 개발
 - 수중 음향 네트워크 모델 기반 전이중 통신 프로토콜 설계 및 개발
 - 네트워크 시뮬레이터를 이용한 성능 검증 및 최적화 수행

(나) 당해연도 목표

- 수중 음향통신 환경 분석 및 수중 음향 네트워크 모델링
 - 수중 음향 네트워크 연구기술 조사 및 분석
 - 수중 음향 신호의 특성 분석을 통한 네트워크 파라미터 정의



<전이중 통신 시스템 구조>

- 수중 음향 네트워크를 위한 전이중 통신 프로토콜 개발
 - 수중 음향 네트워크 모델을 기반으로 전송 지연시간을 최소화 할 수 있는 전이중 통신 프로토콜 설계 및 개발
 - 네트워크 시뮬레이터를 이용한 성능 검증 및 최적화 수행

(2) 연구개발의 필요성

(가) 기술적 측면

- 지상에서의 IT기술은 지속적으로 새로운 기술을 선보이고 있지만, 이를 기반으로 한 수중 통신 분야의 발전은 미비한 실정임.
- 수중 통신 및 네트워크에서는 통신 매체로 음향 신호를 사용하지만, 음향 신호는 RF신호에 비해서 전파 속도가 현저하게 떨어져 패킷 전송 시 패킷의 지연 시간이 크게 증가하고 또한 제한적인 대역폭의 사용에 따른 문제 및 음파의 속도가 해수의 깊이, 수압, 염도 및 온도 등에 따른 유동적인 특징을 고려해야함.
- 수중 무선 통신 환경에서는 해양 생물체 및 선박들의 이동으로 인해 무선 채널 특성이 변화가 심한 편이므로, 급변하는 채널 정보를 실시간으로 습득하여 통신 기법에 반영하는 기술을 토대로 수중의 다양한 변화에 의해 성능 저하가 발생하지 않도록 하는 높은 수준의 통신 기술을 제공함.
- 전이중 무선 통신은 차세대 5G 무선 통신을 위한 핵심 기술로 평가받고 있으며, 이를 수중 무선 통신에 맞게 적용 및 테스트하기 위한 연구는 전 세계적으로 최초 시도되는 연구로 매우 도전적인 기술 개발이라 사료됨.

(나) 경제·산업적 측면

- 해양 산업은 차세대 성장 동력으로 IT기술과의 융합, 고부가 가치 제품 및 서비스 창출이 용이 하여 그 필요성이 시급하지만, 그 동안의 수중 무선 통신 시스템에 대한 연구 성과는 미흡함.
- 현재 국내외에서는 해양 환경 관측 및 관리를 위한 다양한 형태의 유무선 통신 시스템이 사용되고 있으며, 이러한 많은 해양 산업분야에서 신속하고 정확한 정보 교환을 수행하기 위한 수중 무선 통신 시스템 개발을 통해 세계적으로 해당 분야에 대한 기술 선점이 필요함.

(다) 사회·문화적 측면

- 해양은 국가안보, 지구온난화, 자원경쟁, 환경관리 등 현 인류가 처한 생존 문제를 해결할 수 있는 최종 열쇠로 해양산업의 필요성과 중요성이 강조되고 있음.
- 본 연구를 통해 개발될 수중 무선 통신 기술을 바탕으로 해양 관측 정보의 실시간 전송이 가능하여, 기후 예측의 정확도 향상 및 해양 환경변화, 자연재해 등의 신속한 대응이 가능.

(3) 상위목표와의 연계성

(가) 해양과기원 임무 및 경영목표 등과의 연계성

- KIOST 이사부 프로젝트

- 이사부 프로젝트 내 다양한 연구목표와 관련하여 해양 생태계 정보획득 기술 분야에 본 과제에서 구축하는 수중 무선 네트워크 시스템 기술이 접목 가능함.
- 전송 지연현상을 최소화 할 수 있는 수중 전이중 통신 기술은 실시간 해양 환경 및 해양 구조물 모니터링이 가능하며, 해양 환경 변화에 따른 예측 및 대응 기술의 향상에 상당한 도움이 될 것이라 판단됨.



<KIOST 이사부 프로젝트 목표>

- (나) 국가적 아젠다(정부 140대 국정과제, 제3차 과학기술기본계획 등)와의 연계성
- 해양 신성장동력 창출 및 체계적인 해양관리 / 미래 성장동력 확충
 - 해양 환경 모니터링 시스템에 사용되는 유선망 네트워크 기술의 한계성을 극복하기 위한 수중 무선 네트워크 기술을 개발하고, 전이중 통신 프로토콜을 적용한 새로운 무선 네트워크 기술은 보다 효율적으로 해양 생태계 모니터링이 가능함.
 - 본 과제를 통해 개발된 수중 무선 네트워크 기술은 다양한 미래 해양기술 개발에 기반이 되며, 새로운 성장동력 창출의 기반을 마련함.

2. 국내외 기술개발 현황

(1) 국내 동향

(가) 수중 통신을 위한 수중음향 단말기 모뎀 기술

○ 수중음향 단말기 모뎀 개발 (선박해양플랜트연구소)

- 전송거리 7.4km, 전송속도 10,000bps의 데이터 전송 및 정지 영상 전송 가능
- 수중에서 음파를 이용해 실시간으로 디지털 데이터를 다중으로 송·수신할 수 있는 네트워크 핵심기술 개발

(나) 수중 통신 및 탐지 기술

○ 분산통신망의 광해역 고속 수중 통신망 최적화 설계 기술 개발 (경북대학교)

- 분산 센서 단에서의 표적탐지를 위한 표적 탐지 자동화 기술, 분산 탐지된 정보를 센서망 표적정보로 융합하는 표적정보 융합기술, 음향신호 특정인자 추출 및 인식 기술 개발 및 연구, 해양감시 및 대잠전차계에 적용을 목표로 각 특성에 맞는 센서 기술 개발
- 음파 채널 특성에 대한 연구를 통해, 수중에서 견실하고 실용적인 다중 플랫폼 통신 채널 모델 구축 및 통신 전송 용량 증가를 위한 시역전 MIMO 통신 기술 개발

(다) 해양 센서 네트워크 시스템 기술

○ 해양 센서 네트워크 시스템 기술 연구 (원주대학교)

- 수중 센서 네트워크용 저전력 초음파 모뎀 원천 기술, RF/초음파 게이트웨이 기술, 노드 관리 기술 등을 개발하였다. 트랜스듀서 및 모뎀의 소형화를 통해 H/W의 성능 향상과 기술 개발과 수중환경에 최적화된 데이터 전송 기법 등 연구를 수행하였다.

○ 해양 센서 네트워크를 위한 적응형 프로토콜 연구 (한국해양대학교)

- 해양 센서 네트워크에 대한 일반적인 형태와 이론적 모델을 정립하고 이를 기반으로 해양 센서 네트워크를 위한 적응형 프로토콜을 개발
- 해저에 존재하는 센서와 싱크의 라우팅 프로토콜, 배치된 센서의 감시영역을 최대화하는 라우팅, 그리고 coverage 프로토콜을 중점적으로 연구

(2) 국외동향

(가) 수중 통신환경의 긴 전파지연 극복 기술

○ 수중 센서 네트워크의 상위계층 기술 연구 (미국 Georgia Tech 대학교)

- 수중환경의 긴 전파지연을 극복하기 위한 연구를 수행하였으며, underwater

acoustic sensor networks (UW-ASN) 프로젝트를 통해 해양 센서 네트워크 연구 수행

- 수중 음파 센서 네트워크를 위한 3차원 라우팅, 분산 라우팅 등 라우팅 알고리즘 연구를 수행

(나) 수중 센서 모니터링 네트워크 시스템 기술

- 저비용의 수중 센서 네트워크 시스템 연구 (미국 UC San Diego 대학교)
 - 실시간으로 수중 환경을 모니터링하는 저비용의 수중 센서 네트워크 구축
 - 환경을 측정하는 수중 센서 네트워크를 위한 하드웨어 플랫폼 대신 재구성이 가능한 하드웨어를 이용하여 에너지 보존의 이득을 취하는데 주목
 - 저비용, 단거리용 저동력 모뎀, LDR(low data-rate) 수중 네트워크 등의 구축에 대한 연구를 진행

(다) 에너지 효율을 고려한 수중 데이터 통신 기술

- 수중 이동 노드간 데이터 통신 기술 연구 (미국 Illinois 대학교)
 - 수중에서의 이동성을 고려한 데이터 통신 기법 연구
 - 데이터 충돌을 줄임으로써 에너지 소비를 줄이는 연구
 - CORAL 이라는 시험적인 저출력 모뎀 연구

(라) 전이중 통신을 위한 자가 간섭 무효화 기술

- 위상차 조절 안테나 배치 자가 간섭 무효화 기술 연구 (미국 Stanford 대학교)
 - 무선 네트워크 환경에서 단일채널 전이중 통신방식 적용이 가능하다는 것을 보인 첫 연구
 - 수신 안테나로부터 두 전송 안테나의 거리차가 전송파 파장의 반이 되도록 안테나를 배치하고, 기존에 analog 및 digital cancellation 회로에 antenna cancellation 기술을 추가하여 70dB 수준의 자가 간섭 무효화를 구현

(마) 전이중 무선 통신 시스템 구축 기술

- Active noise 제거 소자 활용 자가 간섭 무효화 (미국 Stanford 대학교)
 - 전이중 통신에서 송신 시 발생하는 강력한 자기 간섭 현상을 active noise cancellation 아날로그 소자 및 디지털 신호 소거 방식을 활용하여 최소화
 - Active noise cancellation 아날로그 소자는 balun 회로를 활용하여 이미 알고 있는 전송 신호를 반전시킨 후 감쇄 및 지연 처리를 하여 수신 단에서 더해주는 방식을 활용
 - 넓은 주파수 대역에서 능동적인 신호 무효화를 위해서 QHx220소자와 신호 소거 결과의 에너지 값과 연동시켜 balun 무효화를 구현하였으며, 이로 인해 넓은 영역

의 대역폭을 활용하는 무선통신 기술에서 전이중 통신 시스템 구축

(3) 기타 선행연구 분석

(가) 수중 음향 채널 분석 및 네트워크 기술

○ 수중 음향 통신모뎀 기술 개발 (미국 우즈홀 해양연구소)

- 3척의 해양연구선과 4,500m 급의 유인잠수정, 6,000m 급의 무인잠수정, 6,500m 급 ROV를 비롯하여 다양한 잠수정과 소형 조사선들을 운영하며 이를 해양 연구에 활용중
- 이러한 인프라를 기반으로 수중 채널 특성 분석, 시역전 현상 및 수중 통신, 신호 처리, 수중 음향 통신 모뎀 등을 연구
- DSP 기반의 저출력 및 소형 모뎀 micro-modem을 개발 및 설계하고, 수중음향 네트워크 기능이 제공되는 수중 음향통신 모뎀 기술을 개발

(나) 수중 센서 네트워크 상위계층 기술

○ 수중 음향 네트워크 라우팅 기술 및 교육과정 개발 (미국 Ocean Leadership 컨소시엄)

- 해양 관측 및 탐사 등을 목적으로 설립
- Ocean Observation Initiative (OOI) 해양 관측 시스템들의 네트워크에 대한 연구와 기술개발 및 교육 실시.

(4) 현 기술의 한계 분석

(가) 수중 음향 채널 특성에 의한 전송성능 한계 존재

○ 수중에서의 음파 속도 한계에 따른 전송량 성능 저하 및 전송지연 현상

- 수중에서는 음파를 이용하여 통신을 수행하며, 음파 특성에 의해 통신성능 결정
- 수중 음향 채널의 특성에 의한 좁은 대역폭, 전송지연 현상 등으로 전송성능에 한계가 존재함
- 다중 음파 경로 등으로 신호의 왜곡 및 지연 현상 발생하며, 매질의 특성에 의해 신호 감쇄 현상이 크게 발생하여 매우 짧은 통신거리를 가짐
- 현재 수중 음향 통신의 경우 노드 간 거리 50m인 경우 전송지연 약 1초 수준으로, 거리가 증가할수록 비례하여 증가하는 경향이 있음

(나) 수중 통신을 위한 저전력 통신 프로토콜의 부재

○ 수중 네트워크 내 센서 및 통신 장비의 전력 공급 제약 존재

- 수중 네트워크의 통신 노드들은 제한적인 배터리를 사용하여 동작
- 장비의 전력 보충을 위해 배터리를 교체하는 작업은 많은 인적 자원을 소모함

- 수중 음향 채널의 특성에 의해 전송 성능 저하는 반복되는 재전송 메커니즘을 수행하므로 많은 전송 전력이 소모됨

(다) 수중 네트워크 환경을 위한 새로운 무선 통신 기술 적용 미비

○ 최신의 무선 통신 기술을 수중 무선 네트워크 환경에 적용 필요

- 수중 무선 통신 기술에 대한 연구는 육상에서의 무선 통신 기술 연구에 비해 활발하지 못함
- 수중 통신 환경의 제약조건에 의해 새로운 통신 기술에 대한 연구 시도가 저조함
- 최신의 다양한 무선 통신 기법들을 활용하여 수중 무선 네트워크에 적용이 필요함

3. 연구개발수행 내용 및 결과

(1) 성과목표

(단위 : 백만원)

구분	년도	세부연구목표	연구내용	연구범위	연구비 (직접비)
1차년도	2016년	전송 지연 최소화 위한 수중 전이중 통신 프로토콜 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수중 음향통신 환경 분석 및 수중 음향 네트워크 모델링 - 수중 음향 네트워크 연구기술 조사 및 분석 - 수중 음향 신호의 특성 분석을 통한 네트워크 파라미터 정의 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수중 음향 통신 환경 분석 결과 확보 ○ 네트워크 파라미터의 수학적 모델 도출 	10
			<ul style="list-style-type: none"> ○ 수중 음향 네트워크를 위한 전이중 통신 프로토콜 개발 - 수중 음향 네트워크 모델을 기반으로 전이중 통신 프로토콜 설계 및 개발 - 네트워크 시뮬레이터를 이용한 성능 검증 및 최적화 수행 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 수중 음향 네트워크 프로토콜의 알고리즘 구현 및 성능 검증 ○ 추후 국가 R&D 연구사업 추진 가능성 제시 	20

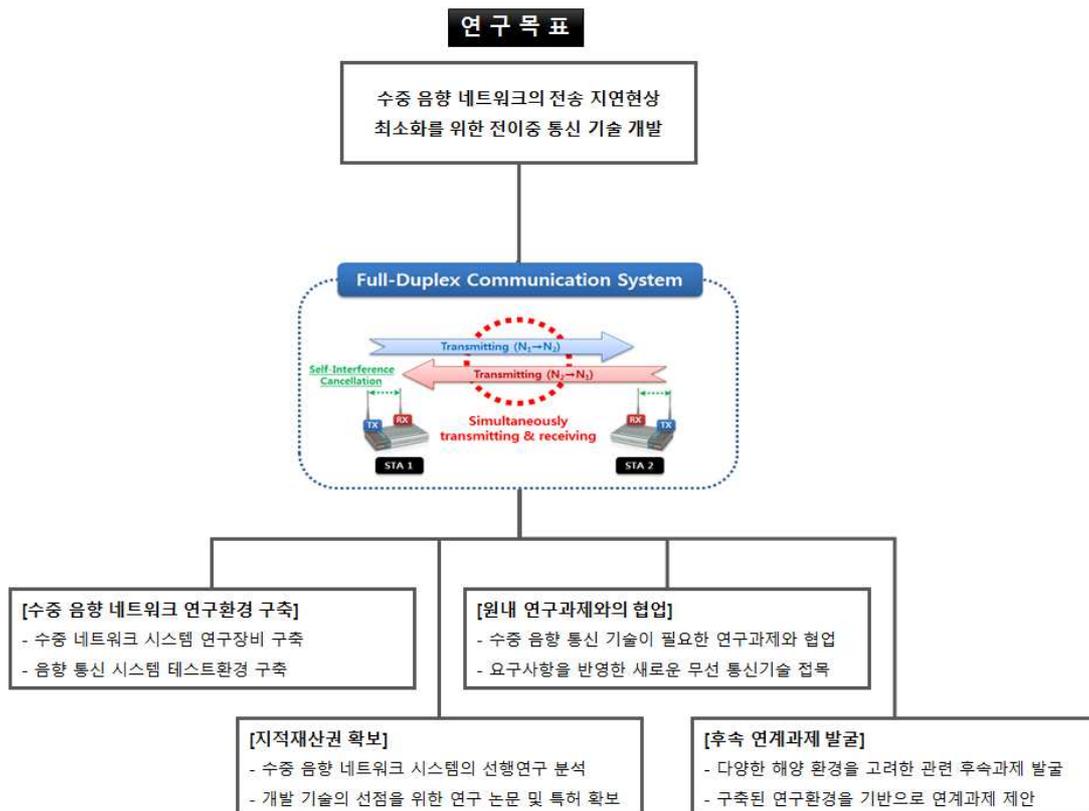
(2) 연구개발 추진체계

가. 추진전략



- 본 연구에서는 우선적으로 수중 음향통신 환경 분석 및 수중 음향 네트워크의 모델링을 위해 수중 음향 네트워크 연구기술을 조사하고 수중 음향 신호의 특성 분석을 통한 네트워크 파라미터를 정의함. 이렇게 정의된 네트워크 파라미터를 기반으로 수중 음향 네트워크를 위한 전이중 통신 프로토콜을 개발함. 개발된 수중 전이중 통신 프로토콜의 성능을 분석하기 위해 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 성능 검증과 최적화 과정을 수행함.
- 또한, 전체적으로 ‘이론 및 기반 기술 연구’, ‘기술 개발’의 2단계 연구과정을 수행함으로써 완성도 있는 연구가 이루어지도록 하여, 결과적으로 최종 연구과제 결과물의 완성도를 높이도록 함.
- 전체 과제의 3단계 연구과정은 다음과 같음.
 - 1단계: 기존 기술에 대한 분석을 통한 새로운 기술의 이론적인 토대 마련
 - 2단계: 1단계의 이론 연구를 바탕으로 한 통신 기법 및 프로토콜 등의 개발

나. 추진체계



(3) 연구 수행 내용

가. 수중 통신 네트워크 스위칭 프로토콜 개발을 위한 최적화 문제 도출

- 수중 무선 네트워크를 포함하는 이기종 무선 네트워크의 제한적인 전력량을 가지는 환경에서 유저 또는 사용자의 QoS를 보장하면서 네트워크 에너지 효율 최대화를 이끌어 내는 네트워크 스위칭 프로토콜 개발을 목표로 함
- 이를 위한 아이디어로써 네트워크 스위칭을 발생시키는 파라미터의 stochastic behavior와 네트워크 스위칭 시 발생하는 에너지 소비량을 고려하여 네트워크 스위칭의 수행 여부를 결정함
- 제안하는 아이디어의 타당성을 수학적·이론적으로 증명하기 위해 ‘Constrained Markov decision process’라는 최적화 기법을 이용함
- Non-real-time case에서의 최적화 문제 (논문 equation (20))

$$\begin{aligned}
 \min_{\pi \in \Pi} E^\pi(s) &= \Phi_s^\pi \left[\sum_{t=1}^{\infty} \zeta^{t-1} r(s(t), a(t)) \right] \\
 \text{s. t. } C^\pi(s) &= \Phi_s^\pi \left[\sum_{t=1}^{\infty} \zeta^{t-1} (1 - \delta) c(s(t), a(t)) \right] \leq C_{total}^{th} \\
 D^\pi(s) &= \Phi_s^\pi \left[\sum_{t=1}^{\infty} \zeta^{t-1} d(s_t, a_t) \right] \leq D_{total}^{th}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

- Non-real-time case에서의 최적화 문제 (논문 equation (21))

$$\begin{aligned}
 \min_{\pi \in \Pi} E^\pi(s) &= \Phi_s^\pi \left[\sum_{t=1}^{\infty} \zeta^{t-1} r(s(t), a(t)) \right] \\
 \text{s. t. } C^\pi(s) &= \Phi_s^\pi \left[\sum_{t=1}^{\infty} \zeta^{t-1} (1 - \delta) c(s(t), a(t)) \right] \leq C_{total}^{th} \\
 D^\pi(s) &= \Phi_s^\pi \left[\sum_{t=1}^{\infty} \zeta^{t-1} d(s(t), a(t)) \right] \leq D_{total}^{th} \\
 d(s(t), a(t)) &\leq D_{frame}^{th}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

나. 최적화 문제의 해를 얻기 위한 알고리즘 제시

- 위에서 제시된 최적화 문제의 최적해를 얻기 위한 알고리즘을 제시함 (논문 Algorithm 1)

- 1: Initialize μ_1^1 and μ_2^1 as an arbitrary positive number, and set $z = 1$ and $\varepsilon_2 > 0$.
- 2: For each state s , obtain $\theta_\mu^z(s)$ using Algorithm 1.
- 3: For each state s , compute $C^{\theta_\mu^z}(s)$ and $D^{\theta_\mu^z}(s)$ using

$$C^{\theta_\mu^z}(s) = c(s, \theta_\mu^z(s)) + \varsigma \sum_{s' \in S} T(s'|s, \theta_\mu^z(s)) C^{\theta_\mu^z}(s'),$$

$$D^{\theta_\mu^z}(s) = d(s, \theta_\mu^z(s)) + \varsigma \sum_{s' \in S} T(s'|s, \theta_\mu^z(s)) D^{\theta_\mu^z}(s').$$

- 4: Update the Lagrange multipliers using

$$\mu_1^{z+1} = \mu_1^z + \frac{1}{\tau_1} (C^{\theta_\mu^z}(s) - C_{\text{total,th}}),$$

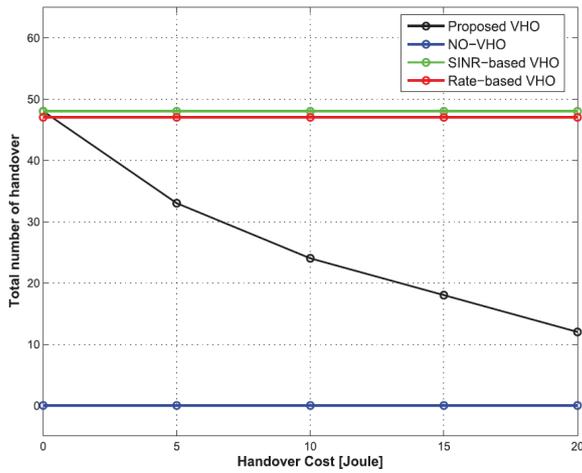
$$\mu_2^{z+1} = \mu_2^z + \frac{1}{\tau_2} (D^{\theta_\mu^z}(s) - D_{\text{total,th}}).$$

- 5: If $\|\mu_1^{z+1} - \mu_1^z\| < \varepsilon_2$ and $\|\mu_2^{z+1} - \mu_2^z\| < \varepsilon_2$, stop. Otherwise, increase z by 1 and return to step 2.

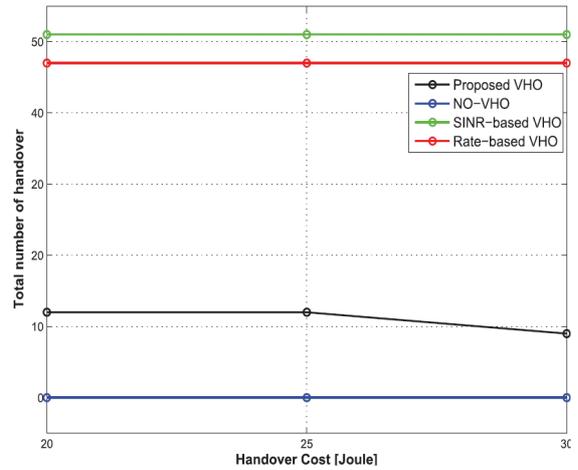
<수식 (1), (2)의 최적해를 얻기 위한 얻기 위한 과정>

다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 제안 기술의 타당성 입증

- 본 과제를 통해 개발한 네트워크 스위칭 기법(Proposed VHO)은 기존에 사용하고 있는 다른 기법(No-VHO, SINR-based VHO, Rate-based VHO)에 비해 non-real-time traffic 및 real-time traffic 모두 케이스에서 네트워크 에너지 효율 측면에서 더 나은 성능을 발휘 한다는 것을 확인함
 - 본 실적 평가서 그림 1을 통해 확인 가능함
 - non-real time traffic 경우: 최소 12% 성능 향상
 - real-time traffic 경우: 최소 3% 성능 향상
- 이러한 성능 향상은 에너지 효율 관점에서 불필요하게 발생하는 네트워크 스위칭 수를 감소시킴으로써 얻을 수 있음
 - 네트워크 스위칭 파라미터의 stochastic behavior 특성과 네트워크 스위칭 시 발생하는 에너지 소비량을 결정 파라미터로 고려함으로써 이와 같은 메커니즘이 도출됨



(a) Non-real-time traffic



(b) Real-time traffic

<Total number of handovers for different handover costs>

(4) 연구 실적 요약

계재 일	논문명	저자			학술지 명	Vol. (No.)	국가 명	SCI 구분
		주저 자	교신저 자	공동저 자				
2017. 2. 27	Network switching strategy for energy conservation in heterogeneous networks	송유 재	백승재	최우열	PLOS ONE	12 (2)	미국	SCIE

RESEARCH ARTICLE

Network switching strategy for energy conservation in heterogeneous networks

Yujae Song¹, Wooyeol Choi², Seungjae Baek^{1*}

1 ICT R&D Unit, Korea Institute of Ocean Science and Technology, Gyeonggi-do, Korea, 2 Ground System Development Team, Korea Aerospace Research Institute, Daejeon, Korea

* baeksj@kiost.ac.kr



Abstract

In heterogeneous networks (HetNets), the large-scale deployment of small base stations (BSs) together with traditional macro BSs is an economical and efficient solution that is employed to address the exponential growth in mobile data traffic. In dense HetNets, network switching, i.e., handovers, plays a critical role in connecting a mobile terminal (MT) to the best of all accessible networks. In the existing literature, a handover decision is made using various handover metrics such as the signal-to-noise ratio, data rate, and movement speed. However, there are few studies on handovers that focus on energy efficiency in HetNets. In this paper, we propose a handover strategy that helps to minimize energy consumption at BSs in HetNets without compromising the quality of service (QoS) of each MT. The proposed handover strategy aims to capture the effect of the stochastic behavior of handover parameters and the expected energy consumption due to handover execution when making a handover decision. To identify the validity of the proposed handover strategy, we formulate a handover problem as a constrained Markov decision process (CMDP), by which the effects of the stochastic behaviors of handover parameters and consequential handover energy consumption can be accurately reflected when making a handover decision. In the CMDP, the aim is to minimize the energy consumption to service an MT over the lifetime of its connection, and the constraint is to guarantee the QoS requirements of the MT given in terms of the transmission delay and call-dropping probability. We find an optimal policy for the CMDP using a combination of the Lagrangian method and value iteration. Simulation results verify the validity of the proposed handover strategy.

OPEN ACCESS

Citation: Song Y, Choi W, Baek S (2017) Network switching strategy for energy conservation in heterogeneous networks. PLoS ONE 12(2): e0172318. doi:10.1371/journal.pone.0172318

Editor: Yong Deng, Southwest University, CHINA

Received: August 30, 2016

Accepted: February 2, 2017

Published: February 27, 2017

Copyright: © 2017 Song et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper.

Funding: This research was supported by "Full-Duplex Communication for Low-Latency Underwater Acoustic Network" funded by Korea Institute of Ocean Science & Technology (KIOST). This research was also supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2016R1C1B2009034). The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Introduction

Recently, there has been an exponential growth in mobile traffic globally [1]. To cope with the rapid increase in the traffic, various issues and solutions have been discussed in the field of wireless communication. Heterogeneous networks (HetNets), which involve the co-deployment of multiple small base stations (BSs) such as pico and femto BSs together with traditional macro BSs, appear to be one of the economic and efficient solutions being considered [2]. The utilization of densely deployed small BSs not only offers a rich dimension for realizing increases in system capacity, but also fills coverage holes inside the initial deployment of

4. 연구개발결과의 활용 계획

(1) 학문적/기술적 파급효과

- 새로운 수중 무선 네트워크 패러다임의 기반 마련
 - 개발하는 수중 전이중 무선 네트워크 시스템은 현 수중 무선 네트워크 기술의 전송 지연 현상을 극복하여 효과적인 통신이 이루어질 수 있도록 하는 연구로써, 향후 해양 무선통신 연구 분야의 원천기술 확보 및 개발이 가능함
 - 기존 수중 음향 통신의 전송 지연, 낮은 대역폭 등과 같은 문제들을 전이중 무선 통신 기술을 활용하여 완화시킴으로써, 다양한 수중 통신계층에서 새로운 기술 개발을 유도함.
 - 본 연구는 다른 수중 무선 센서 네트워크 기술 등의 기반기술로 활용 될 수 있으므로 차세대 수중 무선 네트워크 분야의 발전에 큰 영향을 미칠 것으로 예상됨

(2) 경제적/사회적 파급효과

- 차세대 수중 무선 네트워크 원천기술 확보 및 지식재산권화를 통한 세계 시장에서의 경쟁력 강화
 - 전 세계적으로 연구가 진행되지 않은 수중 전이중 무선 네트워크 기술에 대한 원천기술을 확보하고 특허 및 논문 등의 지식재산권 확보를 통해 차세대 해양 ICT 융합 산업의 경쟁력을 강화할 수 있음
 - 본 연구에서 개발될 기술의 국제논문 발표를 통해 차세대 수중 무선 네트워크 시장에 대한 기술 표준화 주도 및 국제적 위상 확립이 가능함
- 국내 해양 ICT 융합기술의 새로운 성장 동력 창출 및 기술력 있는 견고한 산업 인프라 구축
 - 본 연구는 수중 무선 네트워크 분야의 새로운 패러다임을 제시하는 기술 연구로써, 세계 해양 ICT 융합기술 시장에서의 경쟁력 확보는 물론, 새로운 수중 무선 네트워크 시장 창출 및 상품화를 통한 견고한 산업 인프라 구축이 가능함

(3) 기대효과

- 기술적 측면
 - 수중에서의 전송지연 현상을 극복하기 위한 새로운 기술을 개발함으로써, 신속하게 해양 환경 상황에 대한 결과를 획득하고 실시간 정보의 업데이트가 가능한 수중 무선 네트워크 시스템을 구축할 수 있음.
 - 수중에서의 통신을 수행하는 대부분의 계측용 센서들은 사람이 쉽게 접근하기 어려운 곳에 위치하기 때문에 측정 정보를 효율적으로 수집 및 가공할 수 있는 무선 네트워크 기반의 시스템 구축이 가능함.

○ 경제적 측면

- 광범위한 해양 환경을 위한 수중 무선 네트워크 시스템은 적용범위가 무한하며 사용자의 직접 접근 없이 실시간으로 측정정보를 취득할 수 있으므로 시간적, 경제적으로 비용절감이 가능함.
- 유선망의 추가적 설치 없이 무선 네트워크 기술을 활용한 수중 통신 시스템은 초기 설치비용의 절감을 극대화 할 수 있음.



뒷 면

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.