

# 해양 이중 네트워크 환경에서 인접 셀 간섭 제어를 고려한 하향링크 시스템 레벨 시뮬레이터 개발

황 태 민\*, 남 유 진\*, 정 민 아\*\*, 소 재 우°

## Downlink System Level Simulator for Enhanced Inter-Cell Interference Coordination in Maritime Heterogeneous Networks

Taemin Hwang\*, Yujin Nam\*, Min-A Jeong\*\*, Jaewoo So°

### 요 약

해양 산업과 IT 기술의 융합으로 해상 통신에 대한 여러 무선통신 기술들이 논의됨에 따라 채널 선택에 따른 간섭 제어, 시간영역에서 간섭 제어 등 다양한 간섭 제어 방법이 시도되고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 다양한 해양 통신 환경에서 시스템의 성능을 측정하고 검증 및 평가할 수 있도록 하향링크 시스템 레벨 시뮬레이터를 구현하였다. 제안하는 시뮬레이터는 기존의 이동통신 시뮬레이터와 달리 해상에서 선박 간 신호간섭을 조정할 수 있도록 3GPP Release 10의 주요 기술 enhanced inter-cell interference coordination(eICIC)을 적용하였다. 또한 개발한 시스템 레벨 시뮬레이터를 사용하여 eICIC의 주요 기술인 almost blank subframes(ABS)와 cell range expansion(CRE) 변화에 따른 소형 셀의 수율 분포를 도출하였다.

**Key Words** : Heterogeneous networks, Maritime communication, System level simulator, eICIC

### ABSTRACT

As the wireless communication technologies are being studied for application to maritime communication networks in a fusion of marine industries and IT technology, interference coordination techniques have been studied in the maritime heterogeneous networks. In this paper, we develop a simulator for measuring, verifying and evaluating performance of a maritime heterogeneous network. Unlike other previous simulators, the developed simulator applies enhanced inter-cell interference coordination (eICIC) that are being introduced in the 3GPP Release 10 for mitigating the cross-tier interference between ships. Furthermore, we investigate the effects of almost blank subframes (ABS) and cell range expansion (CRE) on the throughput of small cells in maritime heterogeneous networks by using the developed simulator.

※ 이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(2012R1A2A2A01012059) 및 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2009-0093828)과 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 ICT 융합고급인력과정지원사업(IITP-2015-H8601-15-1006)의 연구결과로 수행되었음

• First Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, lmk9820@sogang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Department of Electronic Engineering, Sogang University, jwso@sogang.ac.kr, 종신회원

\* Department of Electronic Engineering, Sogang University, hydralisk@sogang.ac.kr, 학생회원

\*\* Department of Computer Engineering, Mokpo National University, majung@mokpo.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2015-04-098, Received April 2, 2015; Revised July 9, 2015; Accepted July 9, 2015

## I. 서 론

기존 해상 통신에서는 위성통신을 주로 사용하였으나, 현재에 이르러 해상 조난 및 안전을 위한 통신기술의 발전에 의해 광대역 디지털 통신 수단을 적용하는 단계에 이르렀다. 이와 같이 광대역 통신 기술이 발전함에 따라서 선박에서의 데이터 사용량은 계속적으로 증가할 것으로 예상되고 있다<sup>[1]</sup>. 대부분 지역에서 통신이 가능한 육상 통신과 달리, 해상 통신에서는 아직 위성이나 인근연안 기지국의 통신 설비에 의존하고 있으므로 통신이 불가능한 사각지대가 여전히 많이 남아있다. 통신이 불가능한 사각지대를 줄이고 해상의 모든 선박에게 통신 서비스를 지원하기 위해 해상 구조물이나 대형 선박을 기지국으로 사용하는 방안을 고려할 수 있으며, 일레로 석유, 가스 등 해양 자원을 발굴 및 시추하는 해양 플랜트(Offshore plant)와 화물을 운송하는 대형 유조선(Very Large Crude Carrier; VLCC)이 기지국이 되어 해상 선박에게 서비스하는 네트워크를 생각할 수 있다. 대부분의 해양 플랜트는 안정적인 해양자원을 생산하기 위해 고정된 위치에 존재하고, 근처에 해양 플랜트 운영을 위해 다수의 해양작업 지원 선박들이 존재하므로 해양 플랜트를 기지국으로 사용하는 것은 적합하다. 또한 해양 플랜트에 설치한 기지국의 커버리지를 벗어난 지역에도 통신 서비스를 제공하기 위해 통신 모듈을 갖춘 수 있는 대형 유조선이 기지국이 되는 것을 생각해 볼 수 있다. 이때 이동하며 통신 서비스를 지원하는 대형 유조선에 비해 고정된 장소에서 안정적으로 동작하는 해양 플랜트가 다수의 선박에게 통신 서비스를 지원할 수 있도록 높은 송신 전력을 갖는 매크로 셀이며, 기지국 유지 자원이 한정적인 대형 유조선은 근처 선박에게 통신 서비스를 지원할 수 있도록 낮은 송신 전력을 갖는 소형 셀에 해당된다. 그러므로 매크로 셀 역할을 하는 해양 플랜트와 소형 셀 역할을 하는 대형 유조선이 혼재된 해상 네트워크는 이중 네트워크로 모델링할 수 있다.

현재 매크로 셀 내부에 여러 개의 소형 셀을 추가하여 함께 동작시켜 시스템 용량을 증가시키는 이중 네트워크는 증가하는 데이터 수요량을 맞추기 위해 가장 활발히 논의되고 있는 방식으로 데이터 사용량이 많은 핫스팟(Hot-spot)과 건물이나 지형에 의한 음영지역에 소형 셀을 배치하여 성능을 향상시키는 방법이다. 따라서 해양 플랜트와 대형 유조선을 기지국으로 사용하는 해양 이중 네트워크는 전체 시스템 용량 증대 및 통신 음영지역 제거에 용이하고, 이는 해

양 통신에서 증가하는 데이터 수요와 정확히 일치하여 미래 해양 통신 사업에 적용하기 매우 적합하다.

그러나 해양 이중 네트워크 환경에서 송신 전력이 높은 매크로 셀과 상대적으로 송신 전력이 낮은 소형 셀이 동일한 주파수 채널을 사용하는 환경에서는 다음과 같은 문제들이 발생한다. 첫째, 매크로 셀과 소형 셀 간 송신 전력 차이에 의해 트래픽 불균형이 발생한다. 매크로 셀의 송신 전력이 소형 셀의 송신 전력에 비해 매우 크므로 대부분의 선박이 매크로 셀로부터 서비스 받게 되어 매크로 셀에 트래픽이 과적되는 문제가 발생한다. 둘째, 매크로 셀과 소형 셀이 동일한 주파수 채널을 사용하므로 소형 셀과 매크로 셀 간 간섭, 소형 셀과 소형 셀 간 간섭 등 다양한 간섭 문제가 발생한다<sup>[2]</sup>. 이러한 문제를 최소화하기 위해 3GPP에서는 Release 8, 9에서 사용하던 ICIC(Inter-Cell Interference Coordination) 기술을 발전시켜 eICIC(enhanced Inter-Cell Interference Coordination) 기술 표준을 발표하였다. eICIC 기술에서는 매크로 셀과 소형 셀 간 송신 전력 차이에서 기인한 트래픽 불균형을 완화하기 위해 매크로 셀보다 신호 품질이 낮은 소형 셀을 선택하는 셀 반경 확장 기술, CRE(Cell Range Expansion)를 도입하였고, CRE로 인해 확장된 지역의 신호 품질 저하를 줄이기 위해 ABS(Almost Blank Subframes)를 이용하여 시간 영역에서 간섭을 제어하였다<sup>[3,4]</sup>. 이처럼 eICIC를 적용한 해양 이중 네트워크 환경의 시스템 분석이 중요해졌음에도 불구하고, 기존 시뮬레이터는 eICIC 기법을 적용하지 않아 인접 셀 간섭 제어에 따른 시스템 성능을 정확히 측정하고 분석하기 어려웠다. 이를 위해 본 논문에서는 해양 이중 네트워크 환경에서 3GPP의 eICIC 기술을 사용한 시뮬레이터를 개발하였고, 시뮬레이터 관리자가 다양한 해상 환경에서 시뮬레이션을 수행할 수 있도록 GUI(Graphical User Interface)로 제작하였으며 향후 표준 변화와 기술 수용을 위해 각 기능을 모듈화하여 설계하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II 장에서는 해양 이중 네트워크 모델과 인접 셀 간섭 제어 방법에 대해 소개하였고, III 장에서는 시뮬레이터의 개요 및 구성에 대해 기술하였다. IV 장에서는 시뮬레이션을 통해 결과를 얻고 ABS 주기 및 CRE 바이어스 변화에 따른 소형 셀의 수율 분포를 도출하였다. 끝으로 V 장은 본 논문의 결론으로 구성하였다.

## II. 해양 이중 네트워크 모델 및 인접 셀 간섭 제어

본 장에서는 해양 이중 네트워크 모델에 대해 기술한다. 또한 매크로 셀 영역 내에 소형 셀을 배치함으로써 발생하는 간섭 문제에 대해 설명하고, 3GPP에서 제안한 eICIC의 대표 기술인 CRE 기술과 ABS 기술을 소개한다.

### 2.1 해양 이중 네트워크 모델

그림 1은 해상에서 통신이 불가능한 사각지대를 줄이고 해상의 모든 선박에게 통신 서비스를 지원하기 위해 해양 플랫폼과 대형 유조선이 기지국이 되어 선박에게 서비스하고 있는 해양 이중 네트워크 환경이다. 해양자원 발굴을 위해 고정된 장소에서 안정적으로 동작하는 해양 플랫폼은 유선으로 기간망(Backbone network)에 연결되어 다수의 선박에게 통신 서비스를 지원할 수 있도록 높은 송신 전력을 갖는 매크로 셀 역할을 하며, 대형 유조선은 해양 플랫폼가 송신하지 못하는 지역에 통신을 지원하기 위해 낮은 송신 전력을 갖는 소형 셀 역할을 한다. 이때 서비스 받는 선박은 서비스하는 기지국에 따라 매크로 셀에 있는 선박(Macro-UE), 소형 셀에 있는 선박(Small-UE)으로 나눌 수 있으며, 각 선박은 수신 전력 세기에 따라 매크로 셀과 소형 셀 모두에 접속 가능하다. 하향링크에서 다원접속은 FDMA(Frequency Division Multiple Access)를 사용하며 각 프레임마다 기지국은 자신의 커버리지 내에 있는 선박에게 데이

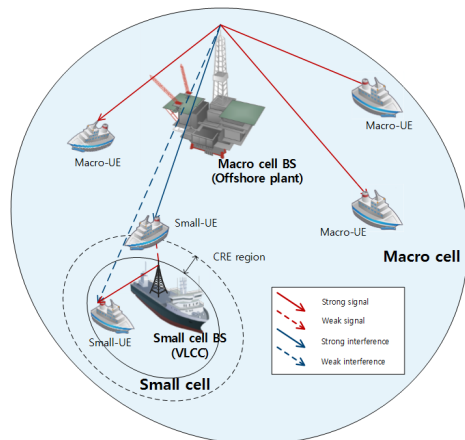


그림 1. 셀 반경 확장 기법을 적용한 해양 이중 네트워크 모델  
Fig. 1. Maritime heterogeneous networks with cell range expansion

터를 전송한다. 해양 이중 네트워크 모델에서 발생하는 간섭은 3GPP Release 10에 정의된 간섭 제어 방법을 이용하여 제어한다.

### 2.2 인접 셀 간섭 제어(enhanced Inter-Cell Interference Coordination; eICIC)

해양 이중 네트워크 모델에서는 기존 해양 동종 네트워크와는 다른 문제가 발생한다. 우선 매크로 셀과 소형 셀의 송신 전력 차이로 인한 문제가 발생하게 된다. 매크로 셀의 송신 전력이 소형 셀의 송신 전력보다 매우 크므로 대부분의 선박이 매크로 셀에게 서비스를 받게 되어 트래픽 불균형이 발생한다. 또한 상향링크에서 매크로 셀로부터 멀리 떨어진 선박은 멀리 있는 매크로 셀까지 데이터를 송신하기 위해 높은 전력으로 데이터를 전송하므로 전력 소비가 크고, 소형 셀의 상향링크에 강한 간섭 영향을 미친다. 이러한 문제들이 발생시키는 시스템 성능저하를 최소화하기 위해 3GPP에서 인접 셀 간섭 제어 기술인 eICIC를 발표하였다. eICIC는 주요 핵심 기술로써 CRE 기술과 ABS 기술을 사용한다.

#### 2.2.1 CRE 기술

기존 해양 동종 네트워크에서 서비스 받는 선박은 일반적으로 최대 RSRP(Reference Signal Received Power)를 제공하는 기지국에 연결하였으나, 최대 RSRP를 이용하여 기지국에 연결할 경우, 소형 셀에 비해 매크로 셀의 송신전력이 매우 높아 트래픽 과적 등 여러 문제들이 발생한다. 따라서 해양 이중 네트워크 환경에서는 매크로 셀과 소형 셀의 송신전력의 차이에서 기인한 문제들을 해결하기 위해 선박이 매크로 셀보다 신호 품질이 낮은 소형 셀을 선택하는 방법을 사용하고 있다. 이때 선박은 수식 (1)을 통해 서비스를 제공하는 기지국을 선택한다<sup>5)</sup>.

$$i^* = \arg \max (RSRP(i) + BIAS(i)) \quad (1)$$

여기서  $i^*$ 는 선택된 기지국이며  $RSRP(i)$ 는  $i$ 번째 기지국으로부터 수신된 하향링크 신호세기이고,  $BIAS(i)$ 는  $i$ 번째 기지국에서 미리 결정한 바이어스 값이며 매크로 셀의 경우 바이어스 값은 0 이고 소형 셀의 경우 바이어스 값은 0 보다 크다. 이는 그림 2에서 볼 수 있듯 소형 셀의 반경이 바이어스만큼 늘어나는 것과 같다. 소형 셀의 반경을 넓힘으로써 매크로 셀에 할당된 트래픽을 소형 셀에 분산시켜 매크로 셀에 과적된 트래픽 불균형을 해결할 수 있고 선박이 서

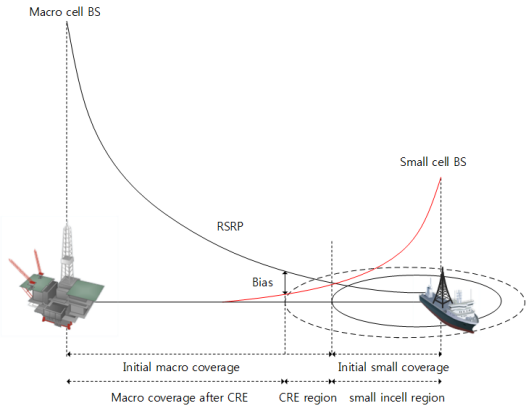


그림 2. CRE를 적용한 매크로 셀 및 소형 셀 반경 도시  
Fig. 2. Illustration of the macro and small cell regions with cell range expansion

비스하는 기지국과 가까워지므로 상향링크에서 발생하는 간섭이 경감된다<sup>6)</sup>.

### 2.2.2 ABS 기술

CRE를 사용하면 매크로 셀에 과적된 트래픽을 분산시키고 상향링크에서 발생하는 간섭을 경감시키는 반면에 확장된 지역에 있는 선박은 최대 RSRP를 제공하는 기지국과 연결하지 못하므로 하향링크에서 신호 품질 저하를 겪게 된다. 이러한 품질 저하를 줄이기 위해 eICIC에서는 시간영역 간섭 조정방법 ABS를 사용하고 있다. ABS는 그림 3과 같이 시간영역에서 매크로 셀이 전송구간의 일부를 전송하지 않도록 설정하는 방법이다. ABS를 사용하면 매크로 셀이 데이터를 전송하지 않는 ABS 구간에서 다수의 소형 셀이 매크로 셀에 의한 간섭을 받지 않아 소형 셀 커버리지 내에 있는 선박이 겪는 품질 저하를 줄일 수 있다<sup>7,8)</sup>.

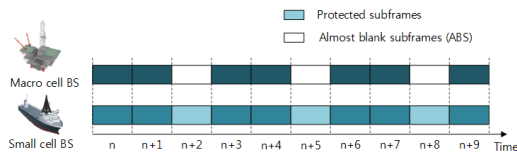


그림 3. ABS 기법을 적용한 시간 영역 자원 분할 방법  
Fig. 3. Time domain resource partitioning with almost blank subframes

## III. 시뮬레이터 개요 및 구성

본 절에서는 제안하는 시뮬레이터의 구조를 설명하고, 시뮬레이터를 구성하는 모듈에 대해 각각 설명한다. 시뮬레이터의 구조는 그림 4와 같고 네트워크 설

계, 채널화, 기지국 지정, 패킷 스케줄러, 결과 출력의 5가지 모듈로 크게 구분할 수 있다. 각 모듈은 기지국 및 선박(단말) 배치, 경로 감쇄 모델 등 세부 모듈로 구성되어 추후 표준 및 기술 변화에 적응적으로 적용할 수 있도록 구성하였다.

### 3.1 네트워크 설계(Network layout)

네트워크 설계 모듈에서는 시뮬레이터 관리자가 선택한 파라미터에 따라 매크로 셀, 소형 셀 및 선박(단말)들을 배치하여 네트워크 토폴로지를 구현하였다. 그리고 해양 플랜트에 있는 매크로 셀 기지국과 대형 유조선에 있는 소형 셀 기지국의 안테나 패턴을 결정할 수 있도록 하였다. 네트워크 설계 모듈은 세부적으로 기지국에 해당하는 매크로 셀, 소형 셀 모듈과 선박(단말) 모듈로 구성되며 각 세부 모듈에서는 기지국의 위치 및 개수, 송신 전력 등을 채널화 모듈로 전달한다. 이후에 네트워크 설계가 끝나면 채널화를 통해 기지국으로부터 수신된 신호를 계산한다.

### 3.2 채널화(Channelization)

채널화 모듈은 기지국에서 송신된 신호가 겪는 무선 채널 특성을 결정하는 모듈로써 크게 경로 감쇄, 웨도잉 및 패스트 페이딩의 세 가지 세부 모듈로 구성된다. 시뮬레이터에서는 경로 손실을 계산하기 위해 자유 공간 환경과 COST 231 표준을 사용할 수 있도록 하였으며, 전파 음영으로 인해 발생하는 웨도잉은 공간 상관관계를 이용한 로그 정규분포 알고리즘을 이용하여 가우시안 프로세스의 통계적 특성을 유지하면서 복잡성을 낮출 수 있게 설계하였다<sup>9)</sup>. 마지막으로 패스트 페이딩 모듈은 LOS(Line-of-Sight) 환경과 NLOS(Non Line-of-Sight) 환경을 고려하여 각각 Rician 및 Rayleigh 페이딩 채널을 선택할 수 있도록 하였다. 따라서 채널화 모듈에서는 네트워크 설계 모듈에서 구성한 정보를 바탕으로 선박(단말)이 채널화를 통해 기지국으로 부터 수신하는 신호의 세기를 계산하는 작업이 수행된다.

### 3.3 기지국 지정(Cell assignment) 및 패킷 스케줄러(Packet scheduler)

다음은 채널화 과정을 통해 얻은 수신 전력을 이용하여 선박이 통신하는 기지국을 결정하는 기지국 지정 모듈이다. 기본적으로 선박은 최대 RSRP를 제공하는 기지국에 연결되며, CRE를 적용할 경우 eICIC 모듈로부터 바이어스를 제공받아 소형 셀 반경을 늘린 후 기지국 지정을 진행한다. 기지국 지정을 마치면

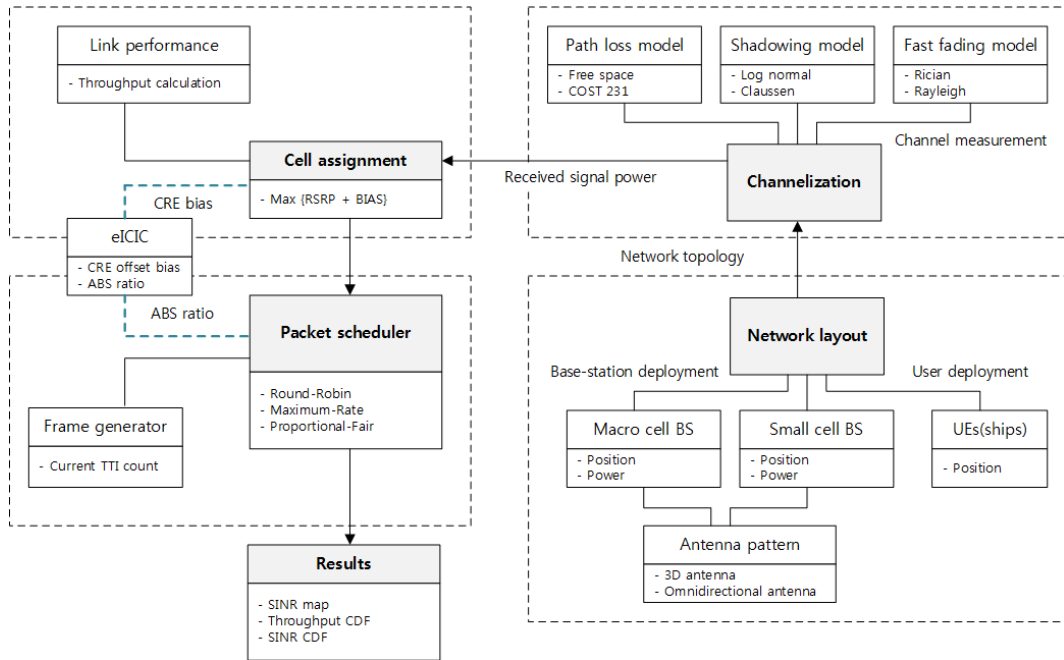


그림 4. 시뮬레이터 구조  
Fig. 4. Overall simulator structure

세부 모듈인 채널 성능 모듈에서 선박이 받는 수율을 계산한다. 이후 패킷 스케줄러 모듈에서는 기지국 지정 모듈로부터 받은 각 기지국에 지정된 선박 정보와 계산된 수율을 이용하여 자원 관리 알고리즘을 진행한다. 각 알고리즘은 대표적인 자원 관리 기법인 RR(Round-Robin), MR(Maximum-Rate), PF(Proportional-Fair)를 사용하였다.

### 3.4 결과(Results)

마지막으로, 결과 출력 모듈에서는 사용자가 구성한 시스템의 성능을 분석하기 위해 신호 대 간섭 및 잡음 비(Signal to Interference plus Noise Ratio; SINR)와 수율을 누적분포함수로 출력하도록 설계하였다. 또한 매크로 셀과 소형 셀의 결과를 각각 구분하여 출력함으로써 시스템 성능 분석을 용이하게 하였고 ABS가 적용된 프레임과 그렇지 않은 프레임의 신호 대 간섭 및 잡음 비 지도를 출력하여 기지국 간섭을 시뮬레이터 관리자가 직접 관측할 수 있도록 하였다.

## IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 제안하는 시뮬레이터의 시뮬레이션 환경에 대해 설명하며, 설정한 파라미터를 이용하여 시

뮬레이션을 진행하고 결과를 분석한다. 우선 시뮬레이션 수행을 위해 시뮬레이션에 사용된 파라미터를 요약하여 설명하고, 시뮬레이션 시나리오를 설명한다. 시뮬레이션을 통해 ABS 주기와 CRE 바이어스 크기 변화에 따른 소형 셀의 수율 분포를 도출하였다. 그림 5는 시뮬레이터를 실제 구동한 초기 화면 모습이다.

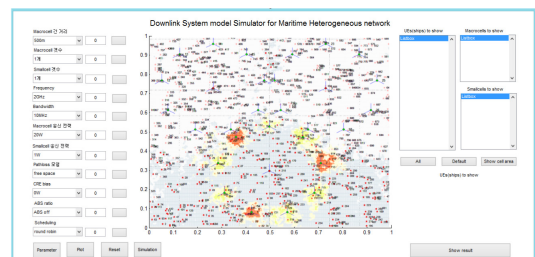


그림 5. 제안하는 시뮬레이터의 그래픽 유저 인터페이스  
Fig. 5. GUI of the developed simulator

### 4.1 시뮬레이션 환경

기본적인 시뮬레이션 환경은 그림 6에서 보이는 것과 같이, 7개의 매크로 셀에 소형 셀을 배치한 해양 이종 네트워크로 구성하였다. 이때 소형 셀은 매크로 셀의 섹터 당 3개 씩 배치하였으며, 소형 셀의 위치는 간섭 영향을 크게 받는 지역에 설치하기 위해 매크로 셀 경계에 배치하였다<sup>[10]</sup>. 매크로 셀은 3GPP TR

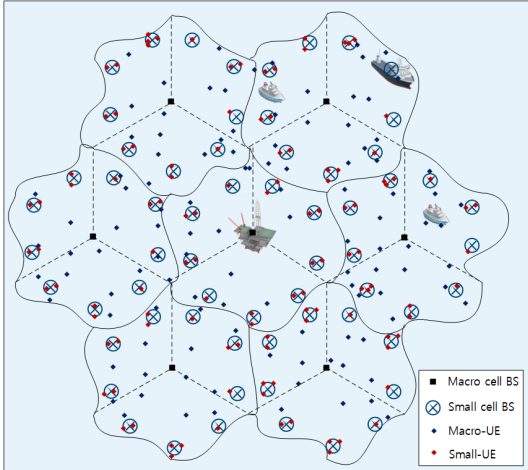


그림 6. 해양 이종 네트워크 토폴로지  
Fig. 6. Maritime heterogeneous networks topology

36.814에 정의된 3dB 방위각 폭이 65°이고 최대 감쇄가 20 dB인 지향성 안테나를 사용하고<sup>[11]</sup>, 소형 셀은 전방향 안테나를 사용한다. 또한 매크로 셀 간 거리는 500m로 결정하였고 그 외에 중요한 시뮬레이션 파라미터는 표 1에 요약하였다.

#### 4.2 시뮬레이션 결과

본 절에서는 표 1에 나타난 파라미터를 사용하여 얻은 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 또한 ABS 주기와 CRE 바이어스 크기를 달리하며 해양 이종 네트워크의 시스템 성능 결과를 얻고 그 결과를 분석하였다. 그림 7과 8은 표 1의 파라미터를 시뮬레이터에 적용하였을 때 얻어진 신호 대 간섭 및 잡음 비 지도를 도시한 것으로, 시뮬레이터 관리자가 설정한 네트워크

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value	Unit
Tx power of a macro cell BS	43	dBm
Tx power of a small cell BS	30	dBm
UE (ship) placement	Uniformly distributed	-
Carrier frequency	2	GHz
System bandwidth	10	MHz
Noise density	-174	dBm/Hz
Antenna pattern	Macro cell BS: 3GPP TR 36.814 Small cell BS: omnidirectional	-
Traffic models	Full buffer	-
Shadow fading standard deviation, $\sigma$	6	dB
Packet scheduling	Proportional fair	-
Serving cell attachment	RSRP	-

토폴로지와 인접 셀 간 간섭 영향을 눈으로 확인할 수 있도록 구성하였다. 그림 7과 8은 각각 ABS 적용 유무에 따른 신호 대 간섭 및 잡음 비 결과이다. ABS가 적용된 그림 8에서 소형 셀의 신호 대 간섭 및 잡음 비를 보면, ABS가 적용되지 않은 그림 7에서 소형 셀의 신호 대 간섭 및 잡음 비 결과와 비교하여 소형 셀이 매크로 셀의 간섭을 받지 않아 셀 반경 내 신호 대 간섭 및 잡음 비가 크게 증가한 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 CRE 바이어스를 4 dB로 고정한 뒤 ABS

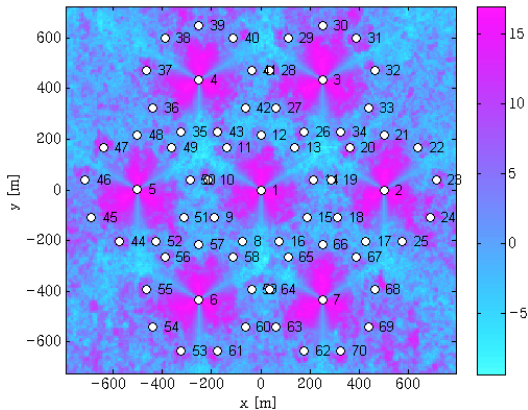


그림 7. ABS가 적용되지 않은 프레임에서 SINR 지도  
Fig. 7. SINR map without ABS

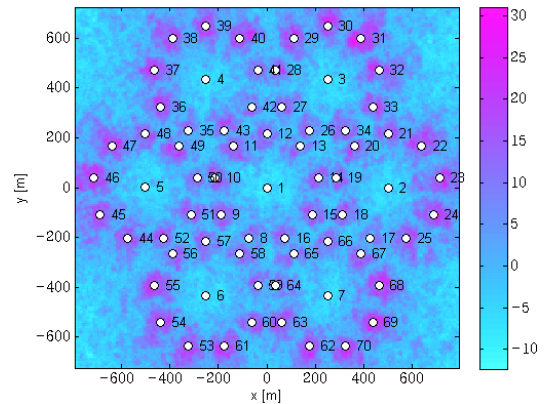


그림 8. ABS가 적용된 프레임에서 SINR 지도  
Fig. 8. SINR map with ABS

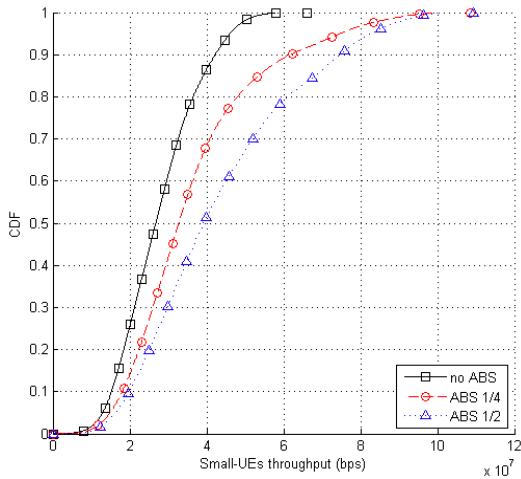


그림 9. ABS 주기에 따른 소형 셀에 있는 선박 수율 누적분포함수  
 Fig. 9. CDFs of small-UEs throughput according to the ratio of ABS

주기를 0, 1/4, 1/2로 바꿔가며 얻은 소형 셀에 있는 선박에서의 수율 결과를 누적분포함수로 나타낸 것이다. 0부터 1에 가까워질수록 ABS 구간 주기가 증가하므로 매크로 셀이 간섭을 미치지 않는 프레임이 증가하여 소형 셀에 있는 선박 수율은 증가한다<sup>[12]</sup>. 또한 ABS를 적용하지 않은 경우와 적용한 경우를 비교해보면, ABS를 적용하지 않은 경우 매 프레임마다 소형 셀에 있는 선박은 매크로 셀의 간섭 영향을 받는 반면에, ABS를 적용한 경우 소형 셀에 있는 선박은 매크로 셀로부터 간섭을 받지 않는 프레임이 생기므로 소형 셀에 있는 선박이 받을 수 있는 최대 수율은 ABS를 적용하지 않은 결과보다 크다. 또한 ABS를 적용했을 때 ABS 적용 주기가 늘어날수록 같은 이유로 높은 수율을 갖는 선박이 증가하여 누적분포함수의 기울기가 점차 낮아지는 양상을 보이며, 이는 [13]과 동일한 결과임을 확인하였다.

그림 10은 ABS 주기를 1/4로 고정한 뒤 CRE 바이어스를 0 dB, 3 dB, 6 dB, 9 dB로 바꿔가며 얻은 소형 셀에 있는 선박 수율 결과를 누적분포함수로 나타낸 것으로, CRE 바이어스가 증가함에 따라 소형 셀에 있는 선박 수율이 점차 나빠지는 것을 확인할 수 있다. 이는 하향 링크에서 셀 반경 확장 기술을 적용하면 신호 대 간섭 및 잡음 비가 낮은 지역에 있는 선박이 소형 셀에 할당되기 때문이다<sup>[12]</sup>. 실제로 시뮬레이션 결과를 보면 CRE 바이어스가 증가함에 따라 낮은 수율 분포에서 함수의 기울기가 증가하는 것을 알 수 있으며 이는 [13]의 결과 유형과 동일함을 확인하였다.

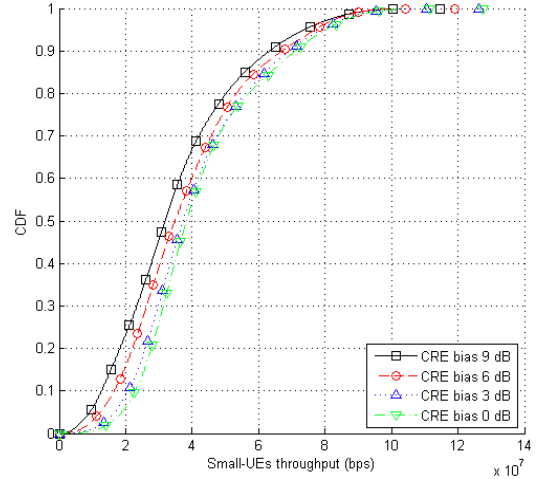


그림 10. CRE 바이어스에 따른 소형 셀에 있는 선박 수율 누적분포함수  
 Fig. 10. CDFs of small-UEs throughput according to the CRE bias

## V. 결론

본 논문은 해양 이중 네트워크에서 인접 셀 간섭 제어를 적용한 하향링크 시스템 레벨 시뮬레이터를 소개하였다. 특히 기존 시뮬레이터와 달리, 본 논문에서 제안하는 시뮬레이터는 해양 이중 네트워크에 3GPP가 발표한 eICIC 기술 표준을 적용하였으며 시스템 관리자가 시뮬레이션 파라미터를 직접 설정할 수 있도록 GUI 화면을 구성하였다. 또한 시뮬레이터를 모듈 형태로 구성하여 표준 규격 적용 및 평가에 용이하도록 하였다. 해상에서 발생하는 데이터 사용량이 증가되고 있는 현실에서, 해상 이중 네트워크는 증가하는 무선 데이터 요구를 해결하는 방안이 될 수 있다. 본 논문은 해상 이중 네트워크 환경에서 인접 기지국 간의 간섭을 고려하여 해상 셀을 설계하고 선박에서의 데이터 수율을 확인할 수 있는 GUI 기반의 시뮬레이터 개발 방법 및 개발 결과를 제공하였다. 본 시뮬레이터에 다양한 간섭 제어 관련 연구 내용을 접목하여 확장한다면 후후 해양 이중 네트워크 연구 분야에 기여할 수 있을 것이다.

## References

[1] W. Tcha, G. Lee, Y. Nam, S. R. Lee, M. A. Jeong, and J. So, "A resource allocation scheme in spatial multiplexing marine communication systems considering channel

- characteristics,” *J. KICS*, vol. 39C, no. 7, pp. 528-537, Jul. 2014.
- [2] Y. Kim, S. R. Lee, and J. So, “Utility function-based scheduling in a multi-hop network with coordinated multi-point transmission,” *J. KICS*, vol. 39C, no. 7, pp. 538-545, Jul. 2014.
- [3] S. Kim, K. Kim, and E. K. Hong, “Analysis on interference control in heterogeneous networks,” *J. KICS*, vol. 38A, no. 3, pp. 268-276, Mar. 2013.
- [4] K. Pedersen, Y. Wang, B. Soret, and F. Frederiksen, “eICIC functionality and performance for LTE HetNet co-channel deployments,” in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, pp. 1-5, Quebec City, Canada, Sep. 2012.
- [5] S. Vasudevan, R. N. Pupala, and K. Sivanesan, “Dynamic eICIC - a proactive strategy for improving spectral efficiencies of heterogeneous LTE cellular network by leveraging user mobility and traffic dynamics,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 12, no. 10, pp. 4956-4969, Oct. 2013.
- [6] N. Lu, X. Zhu, Z. Jiang, X. Lu, F. Yang, and Q. Bi, “Performance of LTE-advanced macro-pico heterogeneous networks,” in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 545-550, Shanghai, China, Apr. 2013.
- [7] Y. Wang and K. I. Pedersen, “Performance analysis of enhanced inter-cell interference coordination in LTE-advanced heterogeneous networks,” in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, pp. 1-5, Yokohama, Japan, May 2012.
- [8] I. Güvenç, “Capacity and fairness analysis of heterogeneous networks with range expansion and interference coordination,” *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, no. 10, pp. 1084-1087, Nov. 2011.
- [9] H. Claussen, “Efficient modelling of channel maps with correlated shadow fading in mobile radio systems,” in *Proc. IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 512-516, Berlin, Germany, Sep. 2005.
- [10] H. Leem, J. Y. Kim, B. H. Jung, and D. K. Sung, “Spectral-, energy, & cost-efficient deployment of small cells in a HetNet topology,” in *Proc. IEEE International Conference on Communication (ICC)*, pp. 4042-4047, Sydney, Australia, Jun. 2014.
- [11] 3GPP TR 36.942, “Evolved universal terrestrial radio access (EUTRA): radio frequency (RF) system scenarios, Release 11”
- [12] D. L’opez-P’erez, I. Güvenç, G. de la Roche, M. Kountouris, T. Quek, and J. Zhang, “Enhanced intercell interference coordination challenges in heterogeneous networks,” *IEEE Wireless Commun. Mag.*, vol. 18, no. 3, pp. 22-30, Jun. 2011.
- [13] D. L’opez-P’erez and H. Claussen, “Duty cycles and load balancing in HetNets with eICIC almost blank subframes,” in *Proc. IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, pp. 173-178, London, England, Sep. 2013.

황 태 민 (Taemin Hwang)



2015년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사  
 2015년 3월~현재 : 서강대학교 전자공학과 석사과정  
 <관심분야> 이중 네트워크, 이동통신시스템

남 유 진 (Yujin Nam)



2009년 2월 : 서강대학교 전자공학과 학사  
 2012년 2월 : 서강대학교 전자공학과 석사  
 2012년 3월~현재 : 서강대학교 전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 공간다중분할시스템, 다중안테나시스템, 차량통신, 인지무선통신



정 민 아 (Min-A Jeong)



1992년 2월 : 전남대학교 이학사  
1994년 2월 : 전남대학교 이학 석사  
2002년 2월 : 전남대학교 이학 박사  
2002년 4월~2003년 2월 : 광주 과학기술원정보통신공학과 Post-Doc

2003년 4월~2005년 2월 : 전남대학교 전자통신기술 연구소 Post-Doc

2011년 9월~2013년 2월 : Cleveland Clinic Research

2005년 3월~현재 : 목포대학교 컴퓨터공학과 부교수  
<관심분야> 데이터베이스/데이터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야, 임베디드시스템

소 재 우 (Jaewoo So)



1997년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사  
1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
2002년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사  
2001년 6월~2005년 8월 : 아이피원, 책임연구원 / 수석연구원

2005년 9월~2007년 12월 : 삼성전자, 책임연구원

2007년 12월~2008년 8월 : Stanford University, 전기공학과 박사후연구원

2014년 8월~2015년 7월 : UIUC, ECE 방문교수

2008년 9월~현재 : 서강대학교 전자공학과 부교수  
<관심분야> 무선자원관리, 다중안테나시스템, 인지무선통신, 사물 인터넷