

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.1.47>

IIBC 2018-1-8

## 매크로-펨토셀의 에너지 효율 향상

### Energy Efficiency Enhancement of Macro-Femto Cell Tier

김정수\*, 이문호\*\*

Jeong-Su Kim\*, Moon-Ho Lee\*\*

**요약** 이기종 셀룰러 네트워크 (HCN)는 미래 5 세대 (5 세대) 무선 네트워크의 핵심 기술로서 가장 중요하다. 고려된 이기종 네트워크는 펨토셀 기지국 (BS)으로 중첩된 임의의 매크로 셀 기지국 (MBS)으로 구성된다. 확률적 기하학은 무선 ad hoc, 센서 네트워크 및 다중 계층 셀룰러 네트워크와 같은 무작위 토폴로지를 사용하여 네트워크를 모델링, 분석 및 설계하는 매우 강력한 도구이다. HCN은 미래의 5G 무선 네트워크를 위한 기술 중 하나에 중점을 두어 다른 네트워크에 속한 다양한 BS를 배치함으로써 에너지 효율적으로 설계될 수 있다. 본 논문에서는 능동 / 슬립 모드를 도입하여 셀룰러 네트워크의 BS가 효율적으로 전력을 소비할 수 있도록 해주는 시스템을 끄고 켜는 방법을 제안한다. 이 모드는 MBS 및 FBS의 간섭 및 전력 소모를 개별적으로 줄일 수 있다. 잘 셀룰러 네트워크의 에너지 효율성을 향상시킬 수 있다. 펨토 기지국 BS 밀도에 따라 Karush Kuhn Tucker (KKT) 조건을 해결할 수 있는 처리량 정지 제약 조건 하에서 에너지 효율을 최대화하기 위한 최적화 문제뿐만 아니라 MBS 및 FBS에 대한 전력 소모 최소화를 공식화한다. 우리는 또한 커버리지 홀을 피하기 위해 코디네이트된 멀티 포인트 (CoMP)가 있거나 없는 HCN 시나리오에서 커버리지 확률과 에너지 효율의 식을 제안하고 기종 알고리즘과 비교한다.

**Abstract** The heterogeneous cellular network (HCN) is most significant as a key technology for future fifth generation (5G) wireless networks. The heterogeneous network considered consists of randomly macrocell base stations (MBSs) overlaid with femtocell base stations (BSs). The stochastic geometry has been shown to be a very powerful tool to model, analyze, and design networks with random topologies such as wireless ad hoc, sensor networks, and multi-tier cellular networks. The HCNs can be energy-efficiently designed by deploying various BSs belonging to different networks, which has drawn significant attention to one of the technologies for future 5G wireless networks. In this paper, we propose switching off/on systems enabling the BSs in the cellular networks to efficiently consume the power by introducing active/sleep modes, which is able to reduce the interference and power consumption in the MBSs and FBSs on an individual basis as well as improve the energy efficiency of the cellular networks. We formulate the minimization of the power consumption for the MBSs and FBSs as well as an optimization problem to maximize the energy efficiency subject to throughput outage constraints, which can be solved the Karush Kuhn Tucker (KKT) conditions according to the femto tier BS density. We also formulate and compare the coverage probability and the energy efficiency in HCNs scenarios with and without coordinated multi-point (CoMP) to avoid coverage holes.

**Key Words** : Macro-Femto Cell, Energy Efficiency, CoMP

\*정희원, 숭실사이버대학교 컴퓨터정보통신학과

\*\*정희원, 전북대학교 전자공학부

접수일자: 2017년 4월 28일, 수정완료: 2018년 1월 16일

게재확정일자: 2018년 2월 9일

Received: 28 April, 2017 / Revised: 16 January, 2018

Accepted: 9 February, 2018

\*Corresponding Author: moonho@jbnu.ac.kr

Division of Electronic Engineering, Chonbuk National University, Korea

## I. 서 론

2020년을 앞두고 모바일 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있다. 기존의 셀룰러 네트워크는 높은 데이터 전송률, 탁월한 엔드 투 엔드 성능, 지연 시간이 짧은 에너지 소비 및 정보 전송 당 비용이 많은 혼잡 한 지역에서의 사용자 커버리지와 같은 몇 가지 기본적인 문제를 겪고 있다.

5G 셀룰러 네트워크는 이러한 문제를 극복하기 위해 계획되었다. 5G 시스템은 매크로 셀, 다양한 종류의 소형 셀, 릴레이 및 D2D(Device-to-Device) 네트워크로 구성된 다중 티어 아키텍처를 채택하여 에너지 효율적으로 다양한 서비스 품질을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 5G 무선 통신 기술은 단위 면적당 모바일 데이터 용량이 1000배 증가, 연결 장치 수가 10,100배 증가, 배터리 수명이 10배 증가, 사용자 데이터 속도가 5배 증가, 대기 시간이 5배 단축될 것으로 기대된다. 5G 네트워크의 핵심 속성은 예상되는 셀 데이터 전송률이 10Gb/s인데, 단일 4G 네트워크의 평균 데이터 전송률은 1Gb/s이다. 따라서, 이러한 이기종 셀룰러 네트워크 아키텍처는 중요한 관심을 끌었으며 향후 5G 무선 네트워크의 주요 기술로 인식되고 있다.

K 티어로 구성된 HCN이 고려되며, 각 티어는 펌토 셀, 피코 셀, 마이크로 셀 또는 매크로 셀과 같은 특정 클래스의 기지국(BS)을 모델링한다. 소규모 셀 네트워크의 에너지 효율(Energy Efficiency : EE)은 BS 밀도가 크게 증가함에 따라 큰 관심사이다.

또 다른 중요한 과제는 펌토 기지국(FBS)의 고밀도 및 무작위 배치 때문에 HCN의 에너지 소비가 증가한다는 것이다. 친환경 무선 네트워크의 측면을 실현하려면 에너지 효율이 중요한 도구이다. 무선 시스템의 점유율이 증가함에 따라 통신 및 네트워킹 시스템에서 소비되는 총 에너지가 중요하게 취급된다. 전 세계 이산화탄소 배출 총량은 정보 통신 기술(ICT)에서 기인하며, 무선 및 이동 통신의 방출량의 9% 이상을 차지한다고 보고됐다 [1-6,14].

본 연구는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은, 에너지 효율을 향상시키고 그로 인한 커버리지 홀 문제를 해결한 5G 다중 티어 셀룰러 네트워크를 제공함에 있다.

상기 목적을 달성하기 위한 본 연구는 셀룰러 네트워

크는, 액티브 모드와 슬립 모드를 스위칭하는 제1 타입의 기지국; 제1 타입의 기지국과 커버리지가 중첩되며, 액티브 모드와 슬립 모드를 스위칭하는 제2 타입의 기지국;을 포함한다.

그리고, 제1 타입의 기지국과 제2 타입의 기지국은, 처리량 중단 제약 조건(throughput outage constraints)에 따라 제어될 수 있다.

또한, 제1 타입의 기지국과 제2 타입의 기지국은, 이기종 셀룰러 네트워크를 구성하는 기지국들일 수 있다.

그리고, 제1 타입의 기지국은, 매크로 셀 기지국(Macrocell Base Station)일 수 있다.

또한, 제2 타입의 기지국은, 펌토셀 기지국(Femtocell Base Station)일 수 있다.

그리고, 처리량 중단 제약 조건은, 펌토 티어의 BS 밀도에 따른 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건일 수 있다.

또한, 제1 타입의 기지국과 제2 타입의 기지국은, CoMP(Coordinated Multi-Point) 전송을 수행할 수 있다.

그리고, CoMP(Coordinated Multi-Point) 전송은, 목표 SINR에 도달할 수 없는 경우 커버리지 홀을 피하기 위해 수행할 수 있다.

한편, 본 연구의 다른 실시예에 따르면, 셀룰러 네트워크 운용 방법은, 제1 타입의 기지국이 액티브 모드와 슬립 모드를 스위칭하는 단계; 제1 타입의 기지국과 커버리지가 중첩되는 제2 타입의 기지국이, 액티브 모드와 슬립 모드를 스위칭하는 단계;를 포함한다.

이상 논술한 바와 같이, 본 연구의 실시예들에 따르면, 미래의 5G 무선 네트워크를 위한 기술 중 하나로 중대한 관심을 끌었던 HCN에 속한 다양한 BS들에 슬립 모드를 운용하여 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

또한, 본 연구의 실시예들에 따르면, CoMP(Coordinated Multi-Point)을 통해 슬립 모드 상태에 있는 BS에 의해 야기되는 커버리지 홀을 제거할 수 있게 된다<sup>[7-14]</sup>.

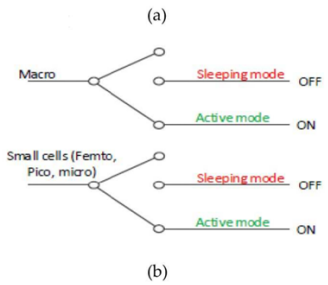
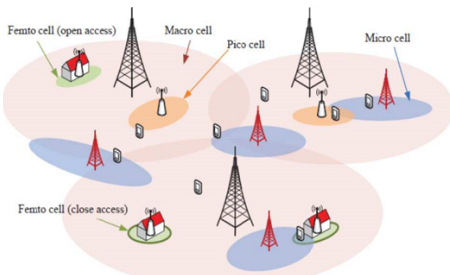


그림 1. 이기종 셀룰러 네트워크 및 교환 시스템  
 Fig. 1. Heterogeneous cellular networks

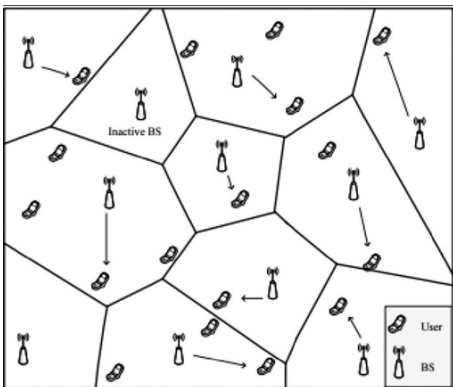


그림 2. 보로노이 테셀레이션(Voronoi tessellation) 형성 결과  
 Fig 2. Voronoi Tessellation

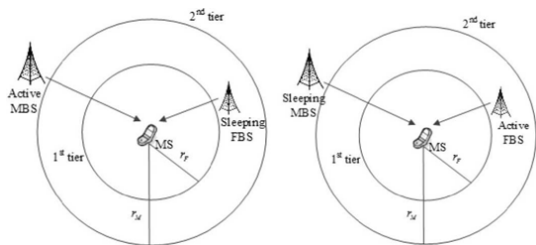


그림 3. BS의 활동 수준과 사용자 위치  
 Fig. 3. The activity level of BSs and location of users

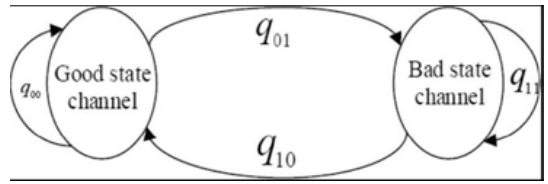


그림 4. 2 상태 마르코비안 무선 채널의 상태 전이 다이어그램  
 Fig. 4. Stat transition diagram of two state Markovian wireless channel

표 1. 수치 검증을 위한 네트워크 파라미터 값  
 Table 1. Network Parameter Values

Symbol	Description	Value
$B$	Bandwidth	180 kHz
$\alpha$	Path loss exponent	4
$T_M$	SINR threshold for macro	8 dB
$T_F$	SINR threshold for femto	5 dB
$P_{MBS}$	Macro BS transmit power	20 W
$P_{FBS}$	Femto BS transmit power	2 W
$r_M$	Macro range	300 m
$r_F$	Femto range	15 m
$P_{MO}$	Static power MBS	130 W
$P_{FO}$	Static power FBS	4.8 W
$\Delta_M$	Slope of MBS	4.7
$\Delta_F$	Slope of FBS	8
$P_{M-slep}$	Sleeping power MBS	75 W
$P_{F-slep}$	Sleeping power FBS	5 W
$\lambda_M$	Density of MBS	$1 \times 10^{-4} \text{ m}^{-2}$
$\lambda_F$	Density of FBS	$1 \times 10^{-2} \text{ m}^{-2}$

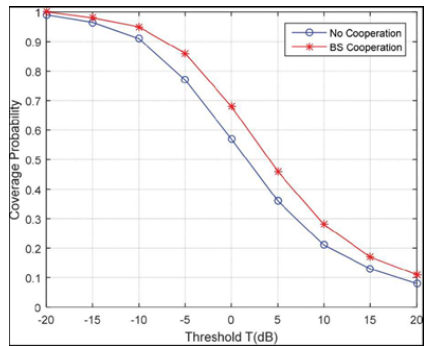


그림 5. 커버리지 확률에 대한 SINR 문턱 값 T의 영향  
 Fig. 5. Comparison of the coverage probabilities for BS cooperation and no cooperation against the threshold in dB.

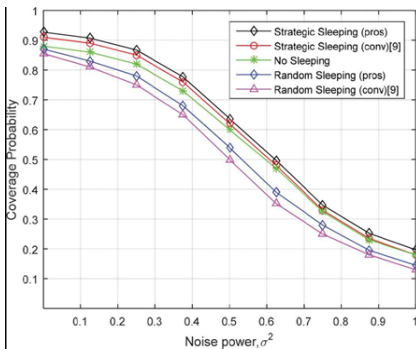


그림 6. 다른 슬립 전략에 대한 커버리지 확률 대 잡음  
Fig. 6. Coverage probabilities for different sleeping strategies.

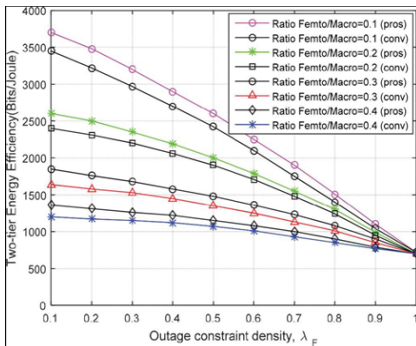


그림 7. 최대 2 티어 에너지 효율 대 밀도  
Fig. 7. Two tier network energy efficiency versus outage density

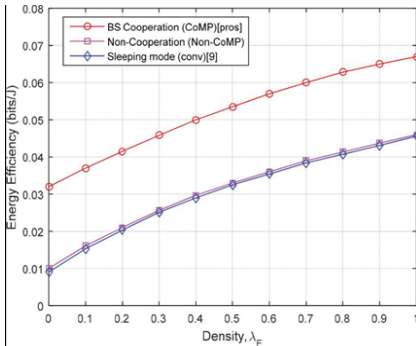


그림 8. 밀도 대비 CoMP 및 비 CoMP 체계의 에너지 효율  
Fig. 8. Density & CoMP and CoMP of the energy Efficiency

본 논문의 실험개요는 다음과 같다.

2 티어 이중 네트워크의 최적의 에너지 효율은 서로 다른 배치에 대한 커버리지 성능 제약 하에서 매크로 셀과 다수의 작은 셀로 구성된다.

슬립 모드에서는 몇 가지 주요 이슈들을 고려했다. BS가 꺼지면 무선 서비스 지역 및 QoS가 보장했다. BS가 조밀하게 배치되면, 잠자는 BS 커버리지의 사용자는 BS 송신 전력을 약간 증가시켜 인접 액티브 BS에 의해 서비스될 수 있다. 슬립 모드 동작의 경우, 작은 셀은 항상 운영자가 관리할 수 있다.

현재, BS를 위한 슬립 모드의 도입으로 셀룰러 네트워크의 절전에 대한 노력이 이루어지고 있다. 매크로 BS의 에너지 절감을 위해, 저 트래픽에서 슬립 모드를 사용하여 전력 소모를 줄인다. 다중 링크가 동일한 무선 스펙트럼을 공유하는 무선 네트워크에서, 임의의 수신기에서의 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR)는 송신 노드의 위치 및 동일한 채널을 사용하는 송신기의 송신 전력의 함수이다. 따라서 네트워크 토폴로지는 무선 네트워크의 성능에 근본적인 영향을 미친다.

네트워크 운영자가 트래픽 사용 패턴에 대한 정보를 가지고 있다고 가정하면 특정 MBS가 차단되는 조정된 절전 모드를 사용할 수 있으며, 다른 일부는 통신 커버리지를 늘릴 수 있다.

따라서, 본 연구의 실시예에서는, 다운 링크 HCN에서 BS 협력 기법을 위해, 확률적 기하학 기반 모델을 제시하는데, 이 모델은 각각의 티어이 상이한 밀도 및 전력을 특징으로 하고 커버리지 확률의 성능을 개발하는 2개의 BS에 위치한다.

아울러, 본 연구의 실시예에서는, HCN에서 MBS 및 FBS를 끄고 켜 때 에너지 절약 기법을 제시한다. 나아가, 본 논문의 실시예에서는, 다른 슬립 정책 하에서 2 티어 HCN을 유도하고 MBS 및 FBS에 대한 전력 소비 최소화를 공식화한다. 최적화 문제는 처리량 정지 제약 조건 (throughput outage constraints)에 따라 에너지 효율을 최대화하고 펌프 기지국 BS 밀도 면에서 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건에 의해 해결되도록 공식화한다.

슬립 모드 상태에 있는 BS는 커버리지 홀을 야기할 수 있는데, 이는 네트워크의 연결성, HCN에서 에너지 효율을 위한 BS 슬립 기법의 결합에 부정적 영향을 미친다. 두 가지 상태의 마르코비안(Markovian) 무선 채널 모델을 기반으로 한 에너지 효율 성능을 제시한다.

본 논문 2장은 시스템 모델, 3장은 커버리지 확률, 4장은 기지국 슬립모드 전략 제시, 5장은 CoMP전송 및 BS 슬립의 조합, 6장은 Markov 무선 네트워크, 7장은 시뮬레이션 결과, 8장은 결론을 맺는다.

## II. 시스템모델

그림 1에 도시된 바와 같이 서로 다른 배치 밀도와 전송 파워를 가진 BS의 K 독립 네트워크 티어에 의해 구성된 HCN을 고려한다. i 번째 티어의 BS들은 밀도  $\lambda_i$ 의 PPP(Poisson Point Process)  $\varphi$ 가 전력  $P_i$ 에서 송신되고 임계 T의 SINR 목표를 갖는 것으로 공간적으로 분포된다고 가정한다. 두 티어에서 BS의 위치는 밀도  $\lambda_M$  및  $\lambda_F$ 에서 각각  $\phi_M$  및  $\phi_F$ 로 정의되는  $\mathbb{R}^2$  유클리드 공간에서 두 개의 공간 PPP로 배포된다. 확률 밀도 함수(probability density function : pdf)는

$$f(r) = 2\pi\lambda r \exp(-\lambda\pi r^2). \text{로 주어진다.}$$

본 연구의 실시예에서는, 전형적인 사용자 위치에 초점을 맞추고 모바일이 가장 가까운 BS와 연결을 시도한 가장 가까운 BS 연결 모델을 고려할 때 전체 태그 집합의 하위 집합이 태그가 지정된 수신기에 공동으로 메시지를 전송함으로써 협력한다고 가정한다. 이것은 BS 위치에 대응하는 평면의 보로노이 테셀레이션(Voronoi tessellation)을 초래한다. 이 경우, BS의 서비스 영역은 그와 관련된 보로노이 셀이다(그림 2).

팜토셀이 폐쇄형 액세스 모드로 동작할 때, 등록된 팜토셀 사용자만이 FBS에 접촉하도록 허용될 수 있다. 반면에 오픈 액세스 모드에서는 매크로 셀 사용자와 등록되지 않은 팜토셀 사용자가 모두 FBS에 접속할 수 있으며, FBS의 서비스 지역에는 그림 3과 같이 팜토셀 사용자와 팜토셀에 연결되는 매크로 셀 사용자가 포함된다.  $r_M$ 과  $r_F$ 는 사용자로부터의 MBS와 FBS의 거리임을 알 수 있다. 본 연구의 실시예에서는, FBS가 슬립 모드에 있을 때, 사용자는 활성 MBS와 통신한다. 반대로 사용자 단말은 그림 3과 같이 활성 FBS와 통신한다.

### 1. 신호 대 간섭 및 잡음 비율

(Signal to interference plus noise ratio)

사용자가 원점 0에 있는 동안, 그 위치에 의해 BS를 나타낸다. 전형적인 사용자 0에 대한 MBS의 다운 링크 전송을 위해, 매크로 셀 사용자에게 의해 경험되는 SINR은 다음과 같이 주어진다:

$$SINR = \frac{P_i h_i r^{-\alpha}}{\sum_{i=1, i \neq j} P_j h_j |r_i|^{-\alpha} + \sigma^2} \quad (1)$$

여기서, h는 채널이고, 배경 잡음은 분산  $\sigma^2$ 를 갖는 부가적인 백색 가우시안이며,  $\alpha$ 는 경로 손실 지수이다.

### 2. 전력 소비

i 번째 티어의 각 기지국에서 슬립 모드를 사용하지 않으면, i 번째 티어의 이기종 네트워크의 평균 전력 소비는 다음과 같다.

$$P_{Het,i} = \lambda_i (P_{i0} + \Delta_i \beta P_i). \quad (2)$$

2 티어 셀룰러 네트워크에서 총 전력 소비는 다음과 같이 표현되는 매크로 셀 티어 및 팜토 셀 티어에서 발생한다.

$$P_{total} = \lambda_M (P_{M0} + \Delta M \beta P_{MBS}) + \pi r_M^2 \lambda_F (P_{F0} + \Delta F \beta P_{FBS}) \quad (3)$$

여기서  $P_{M0}$ 과  $P_{F0}$ 은 MBS와 FBS의 정적 전력 소비이고,  $\Delta M$ 과  $\Delta F$ 는 각각 MBS와 FBS의 부하 종속 전력 소비의 기율기이다.  $\beta$ 는 MBS 및 FBS의 전력 제어 계수이다.  $P_{MBS}$  및  $P_{FBS}$ 는 각각 MBS 및 FBS의 송신 전력이다.

### 3. 네트워크 에너지 효율

처리량 중단 확률은 매크로(팜토) 티어의 사용자가 다음과 같이 특정 최소 목표 처리량을 달성 할 수 없는 확률로 정의된다:

$$\epsilon_M(\lambda_F) = 1 - P(B_M \ln(1 + SINR_M) > T_M) \\ \epsilon_F(\lambda_F) = 1 - P(B_F \ln(1 + SINR_F) > T_F) \quad (4)$$

네트워크 에너지 효율은 총 처리량과 네트워크에서 총 전력 소비의 비율로 정의할 수 있다. 에너지 효율(Energy Efficiency : EE) 함수는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$EE = \frac{\lambda_M C_M + \lambda_F \pi r_M^2 C_F}{P_M + \pi r_M^2 P_F} \\ = \frac{\lambda_M (1 - \epsilon_M) \log_2(1 + SINR_M) + \lambda_F \pi r_M^2 (1 - \epsilon_F) \log_2(1 + SINR_F)}{\lambda_M (P_{M0} + \Delta M P_M) + \lambda_F \pi r_M^2 (P_{F0} + \Delta F P_F)} \quad (5)$$

여기서 C는 처리량이고  $\epsilon$ 는 매크로 및 팜토 사용자의 수용 가능 확률이다.

## III. 커버리지 확률 (Coverage probability)

이하에서는 서로 다른 할당 전략 하에서 MBS와 FBS

시스템의 커버리지 성능을 분석하기 위해 확률론적 기하 이론을 사용한다. 직교 배치에서 MBS 및 FBS에 대한 스펙트럼 할당은 직각이어서 크로스 티어 간섭은 발생하지 않는다. 셀 경계에 위치한 매크로-모바일 단말(MS)의 수신된 SINR은 다음과 같이 주어진다:

$$SINR_M = \frac{P_{Mtr} h_{M^*M}^{-\alpha}}{\sigma^2} \quad (6)$$

매크로 셀의 커버리지 성능을 보장하기 위해, 매크로 셀 에지에서 MS의 수신된 SINR은 다음 등식을 만족해야 한다:

$$P[SINR_M \geq T_M] = P\left[\frac{P_{Mtr} h_{M^*M}^{-\alpha}}{\sigma^2} \geq T_M\right]. \quad (7)$$

펨토셀에는 간섭 조정이 없다. 따라서 펨토셀에서는 티어 간 간섭이 발생한다. 펨토셀 에지에서 수신된 MS의 SINR은 다음과 같이 쓰여진다.

$$SINR_F = \frac{P_{Ftr} h_{F^*F}^{-\alpha}}{I_F + \sigma^2} \quad (8)$$

유사한 방식으로, 펨토셀 에지에서 수신된 MS의 SINR은 다음 식을 만족해야 한다.

$$\begin{aligned} P[SINR_F \geq T_F] &= P\left[\frac{P_{Ftr} h_{F^*F}^{-\alpha}}{I_F} + \sigma^2 \geq T_F\right] \\ &= P[h_F \geq \frac{T_F^\alpha}{P_{Ftr}} (I_F + \sigma^2)]. \quad (9) \end{aligned}$$

전형적인 사용자로부터 거리  $r$ 에 있는 가장 가까운 BS에 컨디셔닝 하면, 평면에 대해 평균화된 커버리지 확률은 다음과 같이 작성된다:

$$\begin{aligned} P_C(T, \lambda, \alpha) &= E_r[P[SINR > T|r]] \\ &= \int_{r>0} P[SINR > T|r] f_r(r) dr \\ &= \int_{r>0} P\left[\frac{h_{F^*F}^{-\alpha}}{\sigma^2 + I_F + I_M} > T|r\right] e^{-\lambda\pi r^2} 2\pi\lambda r dr \\ &= \int_{r>0} e^{-\lambda\pi r^2} P[h_{F^*F}^{-\alpha} > T_F(\sigma^2 + I_F + I_M)|r] 2\pi\lambda r dr \\ &= \int_{r>0} e^{-\lambda\pi r^2} P[h > T r^\alpha (\sigma^2 + I_F + I_M)|r] 2\pi\lambda r dr \quad (10) \end{aligned}$$

$h \approx \exp(\mu)$ 라는 사실을 이용하면, 커버리지 확률은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} P[h > T r^\alpha (\sigma^2 + I_F + I_M)|r] \\ &= E_{I_\phi}[P[h > T r^\alpha (\sigma^2 + I_F + I_M)|r, I_\phi]] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= E_r[\exp(-\mu T r^\alpha (\sigma^2 + I_F + I_M))|r] \\ &= e^{-\mu T r^\alpha \sigma^2} \mathcal{L}_{I_\phi}(\mu T r^\alpha) \mathcal{L}_{I_M}(\mu T r^\alpha), \quad (11) \end{aligned}$$

여기서  $\mathcal{L}_{I_\phi}(s)$ 와  $\mathcal{L}_{I_M}(s)$ 는 원점에서 가장 가까운 BS까지의 거리에서 평가된 확률 변수  $I_\phi$ 의 라플라스 변환이다. 이는 다음과 같은 커버리지 표현식을 제공한다.

$$\begin{aligned} p_c(T, \lambda, \alpha) &= \int_{r>0} e^{-\lambda\pi r^2} e^{-\mu T r^\alpha \sigma^2} \\ &\quad \mathcal{L}_{I_\phi}(\mu T r^\alpha) \mathcal{L}_{I_M}(\mu T r^\alpha) 2\pi\lambda r dr. \quad (12) \end{aligned}$$

라플라스 변환 결과는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{I_\phi}(s) &= E_{I_\phi}[e^{-s I_\phi}] = E_{I_\phi}[\exp(-s \sum_i g_i R_i^{-\alpha})] \\ &= E_{I_\phi}(\prod_i \exp(-s g_i R_i^{-\alpha})) = E_{I_\phi}[\prod_i E_g[\exp(-s g_i R_i^{-\alpha})]] \\ &= \exp(-2\pi\lambda \int_r^\infty (1 - E_g[\exp(-s g_i R_i^{-\alpha})]) v dv). \quad (13) \end{aligned}$$

이에 따라, 다음 식을 얻는다.

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{I_\phi}(s) &= E_{\Phi, \{g_i\}}[\prod_{i \in \Phi} [\exp(-s g_i R_i^{-\alpha})]] \\ &= E_{\Phi}[\prod_{i \in \Phi} \frac{\mu}{\mu + s R_i^{-\alpha}}] \\ &= \exp(-2\pi\lambda \int_r^\infty (1 - \frac{\mu}{\mu + s v^{-\alpha}}) v dv). \quad (14) \end{aligned}$$

$g_i \approx \exp(\mu)$ 이고  $s = \mu T r^\alpha$ 라 하면 다음과 같다.

$$\mathcal{L}_{I_\phi} m(\mu T r^\alpha) = \exp(-2\pi\lambda \int_r^\infty \frac{T}{T + (r/v)^\alpha} v dv), \quad (15)$$

다시,  $u = (v/r T^{1/\alpha})^2$ 라 하면, 다음을 얻는다.

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_{I_\phi}(\mu T r^\alpha) &= \exp(-2\pi\lambda T^{2/\alpha} \int_{T^{-2/\alpha}}^\infty \frac{1}{1 + u^{\alpha/2}} du \\ &= \exp(-2\pi\lambda \rho(T, \alpha)), \quad (16) \end{aligned}$$

여기서,  $\rho(T, \alpha) = T^{2/\alpha} \int_{T^{-2/\alpha}}^\infty \frac{1}{1 + u^{\alpha/2}} du$ .

다음, (12)에 (16)을 넣으면 원하는 결과가 나온다.

#### IV. 기지국 슬립 모드 전략 제시

커버리지 확률은 슬립 모드와 무관하다. 그러나 도 1

과 도 3에서와 같이 전력 제어 소형 셀을 통해 MBS에서 슬립 모드를 구현할 때 셀룰러 네트워크의 커버리지를 유지해야 한다.

본 연구의 실시예에서는, 매크로 셀 및 펌토 셀 tier으로 구성된 HCN을 고려하여, MBS 및 FBS에서 액티브/슬립 모드를 도입하는 셀룰러 네트워크의 BS에서 효율적인 전력 소비를 위해 시스템을 끄고 켜는 방법을 제시한다. 액티브/슬립 모드는 간섭 및 전력 소비를 줄이고 셀룰러 네트워크의 에너지 효율을 향상시킨다.

나아가, MBS와 FBS를 위한 전력 소비 최소화를 공식화 할 뿐만 아니라 다른 슬립 정책 하에서 2 티어 HCN을 도출한다.

최적화 문제는 처리량 정지 제약 조건에 따른 에너지 효율을 최대화하고 펌토 기지국 BS 밀도면에서 KKT 조건에 의해 해결되도록 공식화된다. 따라서, 매크로 및 펌토 tier에서 각 기지국이 소비하는 총 전력은 다음과 같이 모델링된다.

$$P_M = \begin{cases} P_{M0} + \Delta M\beta P_{MBS} & \text{for active mode} \\ 0_M & \text{for sleeping mode} \end{cases}$$

$$P_F = \begin{cases} P_{F0} + \Delta F\beta P_{FBS} & \text{for active mode} \\ 0_F & \text{for sleeping mode.} \end{cases} \quad (17)$$

(17)에서, MBS와 FBS는 액티브 모드이고 최대 전력은 BS에 의해 소비됨을 알 수 있다. 그렇지 않으면 슬립 모드에 있을 때 전력 소비가 0이다.

## 1. 랜덤 슬립

랜덤 슬립 전략에서, 각 BS는 확률  $q$ 로 액티브하고 매크로 및 펌토 기지국에 대해 독립적으로 확률  $1-q$ 로 슬립한다. 그러면, 기지국과 사용자 간의 거리에 따라 다른 기지국의 슬립 모드가 결정된다. 랜덤 슬립 전략에서 전력 소비는 다음과 같이 공식화된다.

$$P_{RS}(MBS) = \lambda_M q_M (P_{M0} + \Delta M\beta P_{MBS}) + \lambda_M (1 - q_M) P_{sleep} \quad (18)$$

$$P_{RS}(FBS) = \lambda_F q_F (P_{F0} + \Delta F\beta P_{FBS}) + \lambda_F (1 - q_F) P_{sleep} \quad (19)$$

전력은 액티브 및 슬립 모드에서 동작할 때 매크로 tier 및 펌토 tier BS에서 소비되고, 총 평균 전력은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{total} = \underbrace{\lambda_M q_M (P_{M0} + \Delta M\beta P_{MBS}) + \lambda_M (1 - q_M) P_{sleep}}_{macro-tier} + \pi r_M^2 \underbrace{\lambda_F (P_{F0} + \Delta F\beta P_{FBS}) + \lambda_F (1 - q_F) P_{sleep}}_{femto-tier} \quad (20)$$

따라서, 랜덤 슬립을 위한 네트워크의 에너지 효율은 다음과 같이 주어진다.

$$EE = \frac{\lambda_M (1 - \epsilon_M) \log_2(1 + SINR_M) + \pi r_M^2 \lambda_F (1 - \epsilon_F) \log_2(1 + SINR_F)}{\lambda_M q_M (P_{M0} + \Delta M\beta P_{MBS}) + \lambda_M (1 - q_M) P_{sleep} + \pi r_M^2 \lambda_F (P_{F0} + \Delta F\beta P_{FBS}) + \lambda (1 - q_F) P_{sleep}} \quad (21)$$

네트워크 에너지 효율은 nats/Joule 단위로 표시된다. 식 (21)의 분자는 2 티어 네트워크의 모든 사용자에게 의해 달성된 총 평균 처리량이고, 분모는 식 (19) 및 (20)의 총 전력 소비 사용량이다.

## 2. 전략적인 슬립

슬립 모드 전략은 부하 인식 정책(load-aware policy)으로 간주 될 수 있으며 트래픽 프로파일을 최적화 문제에 통합할 수 있다. 전략적 슬립을 적용하면, 평균 전력 소비량을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$P_{SS}(MBS) = \lambda_M (E\{s\} (P_{M0} + \Delta M\beta P_{MBS}) + \lambda_M (1 - E\{s\}) P_{sleep}), \quad (22)$$

$$P_{SS}(FBS) = \lambda_F (E\{s\} (P_{F0} + \Delta F\beta P_{FBS}) + \lambda_F (1 - E\{s\}) P_{sleep}). \quad (23)$$

랜덤 슬립 모드의 경우, 하루 동안 변동하는 활동 수준에 적응하는 네트워크가 개발된다. 전략적인 슬립 모드는 한 걸음 더 나아갈 수 있다. 위치 내에서 변동하는 활동 레벨에 적응할 수 있는 네트워크를 모델링 할 수 있다. 또한 전략적 슬립 모델은 MBS 간의 협력 효과를 측정할 수 있다. 전략적 슬립을 위한 네트워크의 에너지 효율은 다음과 같다.

$$EE = \frac{\lambda_M (1 - \epsilon_M) \log_2(1 + SINR_M) + \lambda_F \pi r_M^2 (1 - \epsilon_F) \log_2(1 + SINR_F)}{\underbrace{\lambda_M (E\{s\} P_{M0} + \Delta M\beta P_{MBS}) + \lambda_M (1 - E\{s\}) P_{sleep}}_{macro-tier} + \underbrace{\pi r_M^2 (\lambda_F (E\{s\} (P_{F0} + \Delta F\beta P_{FBS}) + \lambda_F (1 - E\{s\}) P_{sleep}))}_{femto-tier}} \quad (24)$$

비슷한 방법으로, 네트워크 에너지 효율은 2 티어 네트워크에서 모든 사용자에게 의해 달성된 평균 처리량인 식 (24)의 분자와 식 (23)의 전체 전력 소비 사용의 분모로 표현된다.

### 3. 최적화 문제

다음과 같은 다중 목적 최적화 문제를 해결하려 한다.

$$\begin{aligned} & \max_{\lambda_F} EE(\lambda_F) \\ & \text{s.t.} \quad 1 - P(B_M \ln(1 + SINR_M) > T_M) \leq \epsilon_M \\ & \quad \quad 1 - P(B_F \ln(1 + SINR_F) > T_F) \leq \epsilon_F \quad (25) \end{aligned}$$

$\epsilon_M$ 과  $\epsilon_F$ 는 각각 매크로 및 펌토 티어의 각 사용자에게 대한 최소 목표 처리량을 보장하는 중단 목표를 나타낸다. 다운 링크 정지 제약을 받는 네트워크의 에너지 효율을 최대화하는 최적의 펌토 티어 BS 밀도  $\lambda_F^*$ 가 다음에 의해 주어진다.

$$\lambda_F^* = \begin{cases} \lambda_{EE,F} & \text{for } \mu_M^* = 0, \mu_F^* = 0 (\perp h \in \text{active}) \\ \lambda_M(1-q)\zeta^{-1} & \text{for } \mu_M^* > 0, \mu_F^* = 0 (\text{macro active and femto } \in \text{active}) \\ \lambda_F - \lambda_M \zeta^{-1} & \text{for } \mu_M^* = 0, \mu_F^* > 0 (\text{macro } \in \text{active and femto active}) \\ \lambda_F(1-q) & \text{for } \mu_M^* > 0, \mu_F^* > 0 (\perp h \in \text{active}) \end{cases} \quad (26)$$

여기서,  $\mu_M^*$ 와  $\mu_F^*$ 는 라그랑지 승수(Lagrange multipliers)이고,  $\zeta = (P_F/P_M)^{2/\alpha}$ 는 BS의 전력비이다. 식 (25)는 다음과 같은 KKT 조건을 만족시킴으로서 결정된다.

$$\begin{aligned} & \mathcal{L}(\lambda_{EE}, \mu_M, \mu_F, \lambda_F) \\ & = EE(\lambda_F) - \mu_M [1 - P(B_M \ln(1 + SINR_M) > T_M) - \epsilon_M] \\ & \quad - \mu_F [1 - P(B_F \ln(1 + SINR_F) > T_F) - \epsilon_F] \quad (27) \end{aligned}$$

KKT 조건은 다음과 같이 나열된다.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \mathcal{L}(\lambda_F^*)}{\partial \lambda_F} = 0, \\ & 1 - P(B_M \ln(1 + SINR_M) > T_M) \leq \epsilon_M \\ & 1 - P(B_F \ln(1 + SINR_F) > T_F) \leq \epsilon_F \\ & \mu_M^* [1 - P(B_M \ln(1 + SINR_M) > T_M) - \epsilon_M] = 0 \\ & \mu_F^* [1 - P(B_F \ln(1 + SINR_F) > T_F) - \epsilon_F] = 0 \\ & \mu_M^* > 0, \mu_F^* > 0 \quad (28) \end{aligned}$$

열거된 KKT 조건에 기초하여,  $\mu_M^*$ 와  $\mu_F^*$ 가 액티브 또는 비액티브인 각각의 가능한 시나리오를 평가하는 것은 최적의 펌토 층 BS 밀도  $\lambda_F^*$ 를 제공한다.

## V. CoMP(Coordinated Multi-Point) 전송 및 BS 슬립의 조합

이하에서, 2 티어 HCN에서의 CoMP 및 BS 슬립 기법의 조합에 대한 성능을 평가한다. 첫 번째 티어는 밀도가  $\lambda_M$ 인 MBS로 배포되고 두 번째 티어는 밀도가  $\lambda_F$ 인 FBS로 배포된다.

### 1. BS 협력

BS 슬립은 셀룰러 네트워크에서 에너지 소비를 절감하는 효과적인 기술이다. 그러나 슬립 모드 상태에 있는 BS는 네트워크의 연결성에 부정적인 영향을 주는 커버리지 홀을 야기할 수 있다. 에너지 효율성을 위해 제시된 HCN에서 CoMP 및 BS 슬립 기법의 결합에 대한 성능을 평가하기 위해 확률적 기하 분석을 수행한다. 목표 SINR에 도달할 수 없는 경우 커버리지 홀을 피하기 위해 CoMP를 적용한다.

확률적 기하학 도구를 적용하여 CoMP가 있거나 없는 HCN 시나리오에서 커버리지 확률과 에너지 효율을 공식화하고 비교한다. 협업 세트는 각 네트워크 티어에서 사용자에게 가장 가까운 BS로 구성된다. CoMP의 밀도는 가장 낮은 밀도를 가진 BS를 포함하는 티어와 동일하다. CoMP가 발생할 확률은 깨어있는 MBS  $q$ 의 확률과 동일하고 밀도는  $q\lambda_M$ 이다. 깨어있는 MBS가 FBS와 항상 협력하여  $n=K=2$ 가 되도록 전송할 수 있다고 가정한다. 여기서,  $n$ 은 셀 협력의 수이다. 다음의 보조 정리는 CoMP 및 BSs 결합된 슬립 제어의 커버리지 확률을 제공한다.

정리 : CoMP와 BS가 슬립 상태인 2 티어 HCN에서, 임의로 위치하는 사용자의 커버리지 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} p_{c, \text{CoMP}} & = 4\pi^2 q^2 \lambda_M \lambda_F \int \exp(-2\pi q \lambda_M s_1^{2/\alpha} F(r_1 s_1^{-1/\alpha})) \\ & \quad \times \exp(-2\pi q \lambda_F s_2^{2/\alpha} F(r_2 s_2^{-1/\alpha})) \\ & \quad \times \exp(-\pi q (\lambda_M r_1^2 + \lambda_F r_2^2)) r_1 r_2 dr_1 r_2, \quad (30) \end{aligned}$$

여기서,  $S_i = \frac{TP_i}{P_1 r_1^{-\alpha} + P_2 r_2^{-\alpha}}$ ,  $r_i \geq 0$ ,  $i = \{1, 2\}$ ,

$$F(x) = \int_x^\infty \frac{r}{1+r^\alpha} dr,$$

BS 협력을 위한 네트워크의 에너지 효율



$$EE = \frac{\lambda_{MPc} \log_2(1 + SINR_M) + \pi r_M^2 \lambda_{FPc} \log_2(1 + SINR_F)}{\lambda_{MM}(P_{M0} + \Delta M \beta P_M) + \lambda_M(1 - q_M) P_{sleep}} + \frac{\pi r_M^2 (\lambda_F(P_{F0} + \Delta F \beta P_F) + \lambda_F(1 - q_F) P_{sleep})}{femto-tier} \quad (31)$$

식 (31)에서, 에너지 효율이 전체 네트워크의 커버리지 확률 및 전력 소비와 관련되어 있음을 알 수 있다.

## 2. BS 비 협력

일반 사용자는 non-CoMP 시나리오의 첫 번째 티어에 속하는 가장 가까운 BS에만 연결한다. 그러면 BS 비협력의 경우 커버리지 확률은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{c, Non-CoMP} = \frac{1}{1 + T^{2/\alpha} F(T^{-1/\alpha}) + \frac{T^{2/\alpha}}{\sin c(2/\alpha)} \frac{q \lambda_F P_F^{2/\alpha}}{q \lambda_M P_M^{2/\alpha}}} \quad (32)$$

따라서 BS 비 협력의 경우 네트워크의 에너지 효율은 다음과 같이 주어진다.

$$EE = [\lambda_{MPc, Non-CoMP} \log_2(1 + SINR_M) + \pi r_M^2 \lambda_{FPc, Non-CoMP} \log_2(1 + SINR_F)] / \frac{\lambda_{MM}(P_{M0} + \Delta M \beta P_M) + \lambda_M(1 - q_M) P_{sleep}}{macro-tier} + \frac{[\pi r_M^2 (\lambda_F(P_{F0} + \Delta F \beta P_F) + \lambda_F(1 - q_F) P_{sleep})]}{femto-tier} \quad (33)$$

식 (30)과 (32)로부터, 커버리지 확률은 슬립 전략과 BS 밀도 비에 따라 결정된다는 것을 알 수 있다.

## VI. Markovian 무선 네트워크

BS는 ON 또는 OFF의 두 가지 작동 상태 중 하나에 있다: BS가 ON이면, 에너지 수확 속도에 따라 에너지가 증가하고 그 BS에 의해 서비스되는 사용자의 수에 따라 에너지가 감소한다. 그러나, BS가 OFF이면, 이는 어떠한 사용자에게도 서비스하지 않는다.

$$EE_{multicell} = \frac{\sum_{i=1}^K \left\{ \log_2 \left( 1 + \frac{P_i \|h_i^{good}\|_F^2}{\sigma_i^2 + \sum_{j=1, i \neq j}^K P_j \|h_{i,j}^{good}\|_F^2} \right) q_{00}^{(n)} + \log_2 \left( 1 + \frac{P_i \|h_i^{bad}\|_F^2}{\sigma_i^2 + \sum_{j=1, i \neq j}^K P_j \|h_{i,j}^{bad}\|_F^2} \right) q_{01}^{(n)} \right\}}{\sum_{i=1}^K P_i} \quad (36)$$

## 1. Uncoordinated

이러한 종류의 전략에서, 동작 상태(BS ON 또는 OFF)의 토글 결정, BS에 의해 다른 BS의 동작 상태와 독립적으로 행해진다.

## 2. Coordinated

이러한 종류의 전략에서, 특정 BS의 상태를 토글하는 결정은 다른 BS의 상태에 의존한다.

## 3. 2 셀 셀룰러 네트워크의 에너지 효율

2 셀 셀룰러 네트워크의 기본적인 에너지 효율 성능을 조사하기 위해, 2- 셀 셀룰러 네트워크의 사용자 채널은 채널 상태로 인해 좋고 나쁜 상태로 모델링된다. 또한, 도 4에 도시된 바와 같이, 한 상태에서 다음 상태로의 전이는 상태 공간  $\{0, 1\}$ 을 가진 현재 상태에만 의존하며, 여기서 '0'은 양호한 상태에 해당하고 '1'은 나쁜 상태에 해당한다. 마르코비안 프로세스의 특성에 기초하여, 채널 전이 확률 행렬은 다음과 같이 주어진다:

$$q_{i,j}^{(n)} = \begin{bmatrix} q_{00}^{(n)} & q_{01}^{(n)} \\ q_{10}^{(n)} & q_{11}^{(n)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_{00} & q_{01} \\ q_{10} & q_{11} \end{bmatrix}^{(n)} \quad (34)$$

$q_{i,j}$ 와  $j \in \{0,1\}$ 는 상태  $i$ 에서 상태  $j$ 로의 1 단계 전이 확률이고,  $q_{i,j}^{(n)}$ 와  $j \in \{0,1\}$ 는  $n$  단계 전이 후 초기 상태  $i$ 에서 상태  $j$ 로의 확률이다. 멀티 셀 셀룰러 네트워크의 에너지 효율은 다음과 같다.

$$EE_{multicell} = \sum_{i=1}^K \left( 1 + \frac{P_i \|h_i\|_F^2}{\sigma_i^2 + \sum_{j=1, i \neq j}^K P_j \|h_{i,j}\|_F^2} \right) / \sum_{i=1}^K P_i \quad (35)$$

다중 셀 셀룰러 네트워크의 무선 채널은 2 상태 마르코비안 무선 채널 모델의 무 기억 속성으로 인해 2 상태 마르코비안 무선 채널로 가정된다. 또한, 2 상태 마르코비안 무선 채널에서  $n$  단계 상태 전이 후, 멀티 셀 셀룰러 네트워크의 에너지 효율 모델은 다음과 같이 주어진다:

멀티 셀 셀룰러 네트워크의 에너지 효율에 대한 셀 번호의 영향 분석 양호한 상태 채널에 대해  $h_i^{good} = 0.9$  및  $h_{i,j}^{good} = 0.1$ ; 나쁜 상태 채널에 대해  $h_i^{bad} = 0.6$  및  $h_{i,j}^{bad} = 0.1$ ; 2 상태 마르코비안 채널의 전이 확률은  $P_{00}^{(n)} = 0.8$  및  $P_{01}^{(n)} = 0.2$ 로 고정되고 잡음은  $\sigma_i^2 = 0.1$ 이다. 또한, 2 상태 마르코비안 체인 채널의 초기 상태 전이 확률 행렬은 다음과 같이 표시된다.

$$q = \begin{bmatrix} q_{00} & q_{01} \\ q_{10} & q_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.8 & 0.2 \\ 0.6 & 0.4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4/5 & 1/5 \\ 3/5 & 2/5 \end{bmatrix}. \quad (37)$$

## VII. 시뮬레이션 결과

이하에서, 커버리지 확률 및 에너지 효율 성능에 대한 수치적 평가를 제시한다. 펌토 티어로 중첩된 매크로 티어로 구성된 두 개의 네트워크 티어에 중점을 둔다. 2 티어 HCN에 대해 가정된 매개 변수 값은 도 5에서 사용된 값을 기반으로 한다.  $\alpha = 4$ 를 가정하고 첫 번째 티어는 공간 강도  $\lambda_1 = (500^2\pi)^{-1}$ 와 가용 전력  $P_1 = 25$ 를 가지며 두 번째 티어는 공간 강도  $\lambda_2 = 5\lambda_1$ 와 가용 전력  $P_2 = P_1/25$ 를 갖는다고 가정한다.

그림 6은 커버리지 확률에 대한 SINR 문턱 값 T의 영향을 도시한다. 협력 체계의 성능을 비 협력 체계의 기준선과 비교함으로써, 약 0dB 협력은 비 협력에 비해 최대 약 30%의 적용 확률의 상대적 이득을 산출하는 것으로 나타났다. 커버리지 확률은 협력 BS들로부터 전형적인 수신기로의 에르고딕 통신 레이트에 직접적으로 관련될 수 있다.

그림 7은 다른 슬립 전략에 대한 커버리지 확률 대 잡음  $\alpha$ 를 나타낸다. 슬립 전략은 각각 0과 1로 모델링된다. 도 7에서 볼 수 있듯이 전략적 슬립 모드의 경우 수신 가능성은 슬립 모드 보다 조금 나아졌다. 전략적 슬립은  $\alpha \rightarrow 0$ 일 때 슬립을 행하지 않는 것보다 더 큰 여유가 있다고 말할 수 있다. 마지막으로, 슬립 중인 MBS 및 FBS의 동일한 비율에 대해 전략적 슬립이 항상 무작위 슬립을 하는 것보다 낫다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 최대 2 티어 에너지 효율 대 밀도를 보여준다. 2 티어 HCN에 대한 가정된 매개 변수 값은 도 5에서 사용된 값을 기반으로 한다. 일반적으로 최대 2 티어 에너지 효율은 밀도가 증가함에 따라 감소한다. 에 대한 점

에 근접한 에너지 효율 곡선을 보여준다. 목표를 만족시키면서 2 티어 에너지 효율을 극대화할 수 있는 능력에 대한 펌토 대 매크로 BS 전력 소비 요소의 영향을 도 8을 통해 알 수 있다.

그림 9는 밀도 대비 CoMP 및 비 CoMP 체계의 에너지 효율을 보여준다. 밀도에 따라 에너지 효율이 향상되는 것을 관찰할 수 있다. 본 연구의 실상에 따른 CoMP 및 BSs 슬립 모드의 기법은 non-CoMP 기법으로부터 에너지 효율의 2%만큼 증가한다. 수치 결과는 CoMP와 BS를 함께 사용하면 슬립을 취하는 것만으로 BSS를 구현할 때 보다 커버리지 확률을 증가시킬 뿐만 아니라 에너지 효율을 향상시킬 수 있음을 확인시켜 준다. 또한 non-CoMP의 성능은 매크로 BS가 슬립에만 있는 것과 거의 같다.

지금까지, 에너지 효율이 향상된 5G 다중 티어 셀룰러 네트워크에 대해 바람직한 실시예를 들어 상세히 설명하였다.

본 연구의 실시예에서는, 액티브/슬립 모드를 도입하여 셀룰러 네트워크의 BS가 효율적으로 전력을 소비할 수 있도록 해주는 시스템을 끄고 켜는 방법을 제시하였다. 이는 MBS 및 FBS의 간섭 및 전력 소모를 개별적으로 줄일 수 있어, 셀룰러 네트워크의 에너지 효율을 향상시킨다.

MBS 및 FBS의 전력 소비를 최소화하고 최적화 문제를 공식화하여 처리량 중단 제약 조건(throughput outage constraints)에 따라 에너지 효율성을 극대화하는 데, 펌토 티어의 BS 밀도에 따라 KKT(Karush-Kuhn-Tucker) 조건으로 해결할 수 있었다.

또한, 커버리지 홀(coverage holes)을 피하기 위해 CoMP(Coordinated Multi-Point)가 있거나 없는 HCN 시나리오에서 커버리지 확률과 에너지 효율성을 공식화하고 비교하였다.

한편, 본 실시예에 따른 장치와 방법의 기능을 수행하게 하는 컴퓨터 프로그램을 수록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에도 본 발명의 기술적 사상이 적용될 수 있음은 물론이다. 또한, 본 연구의 다양한 실시예에 따른 기술적 사상은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 기록된 컴퓨터로 읽을 수 있는 코드 형태로 구현될 수도 있다. 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체는 컴퓨터에 의해 읽을 수 있고 데이터를 저장할 수 있는 어떤 데이터 저장 장치 이더라도 가능하다. 예를 들어, 컴퓨터로 읽을 수 있는 기

록매체는 ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광디스크, 하드 디스크 드라이브, 등이 될 수 있음은 물론이다. 또한, 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 저장된 컴퓨터로 읽을 수 있는 코드 또는 프로그램은 컴퓨터간에 연결된 네트워크를 통해 전송될 수도 있다.

## VIII. 결 론

에너지 효율이 향상된 5G 다중 티어 셀룰러 네트워크가 제공된다. 본 논문의 실시예에 따른 셀룰러 네트워크는, 액티브 모드와 슬립 모드를 스위칭하는 제1 타입의 기지국, 제1 타입의 기지국과 커버리지가 중첩되며 액티브 모드와 슬립 모드를 스위칭하는 제2 타입의 기지국을 포함한다. 이에 의해, 미래의 5G 무선 네트워크를 위한 기술 중 하나로 증대한 관심을 끌었던 HCN 에 속한 다양한 BS 들에 슬립모드를 운용하여 에너지 효율을 향상시킬 수 있다.

## References

- [1] Hossain E., Rasti M., Tabassum H., Abdelnasser A. Evolution toward 5G multi-tier cellular wireless networks: An interference management perspective. *IEEE Wireless Communications*. 2014; pp. 118-127.
- [2] Metis. Scenarios, Requirements and KPIs for 5G Mobile and Wireless System. ICT- 317669, Metis Project. May 2013.
- [3] Dhillon D. S., Ganti R. K., Andrews J. G. Modelling and analysis of K-tier downlink heterogeneous cellular networks. *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*. April 2012; 30(3): pp. 550-560.  
DOI: 10.1109/JSAC.2012.120405
- [4] Liu C., Natarajan B., Xia H. Small cell base station sleep strategies for energy efficiency. *IEEE Transaction on Vehicular Technology*. March 2016; 65(3): pp. 1652-1661.  
DOI: 10.1109/TVT.2015.2413382
- [5] Zhang X., Su Z., Yan Z., Wang W. Energy efficiency study for two-tier heterogeneous networks under coverage performance constraints. *Mobile Networks and Applications*. August 2013; 18(4): pp. 567-577.  
DOI: 10.1007/s11036-013-0435-1
- [6] Kumar R., Mieritz L.. Conceptualizing green IT and data center power and cooling issues. Gartner Inc., Research paper, G00150322. September 2007.
- [7] Liu F., Korakis T., Tao Z., Panwar S.. A MAC-PHY cross layer protocol for wireless Ad-Hoc networks. In: *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*; March 31-April 3 2008; Las Vegas, NV. IEEE; 2008. p. 1792 - 1797.  
DOI: 10.1109/WCNC.2008.319
- [8] ElSawy H. M. M. M. Modeling, Analysis and Optimization of Random Wireless Networks: Stochastic Geometry Approach [thesis]. University of Manitoba: Winnipeg; 2014. 268 p. Available from: <http://hdl.handle.net/1993/23349>
- [9] Soh Y. S., Quek T. Q. S., Kountouris M., Shin H. Energy efficient heterogeneous cellular networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. May 2013; 31(5):pp. 840- 850.  
DOI: 10.1109/JSAC.2013.130503.
- [10] He A., Liu D., Chen Y., Zhang T. Stochastic geometry analysis of energy efficiency in HetNets with combined CoMP and BS sleeping. In: *IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*; 2-5 September 2014; Washington DC. IEEE; p. pp. 1798 - 1802.  
DOI: 10.1109/PIMRC.2014.7136461
- [11] Andrews J. G., Baccelli F., Ganti R. K. A tractable approach to coverage and rate in cellular networks. *IEEE Transaction on Communications*. 2011; 59(11):pp. 3122-3134.
- [12] Rao J. B., Fapojuwo A. O. An analytical framework for evaluating spectrum/energy efficiency of heterogeneous cellular networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*.

2016; 65(5): pp. 3568-3584.

DOI: 10.1109/TVT.2015.2448593

[13] Ge X., Cao C., Jo M., Chen M., Hu J., Humar I.  
Energy efficiency modelling and analysing based on multicell and multi-antenna cellular networks. Ksii Transactions on Internet and Information Systems. 2010; 4(4);pp. 560-574.

DOI: 10.3837/tiis.2010.08.007

[14] Moon Ho Lee, 5G Multi-tier Cellular Networks for Energy Efficiency Enhancement, Applied Korea Patent, No. 10-2017-0018440. 2017.02

**저자 소개**

**김 정 수(정회원)**



- 1998년 : 전북대학교 정보통신공학과 석사
- 2003년 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2002년 6월 ~ 현재 : 송실사이버대학교 컴퓨터정보통신학과 부교수  
<주관심분야 : 이동통신, IoT>

**이 문 호(정회원) 교신저자**



- 1984년 전남대학교 전기공학과 박사, 통신기술사
- 1985년~1986년 미국 미네소타 대학 전기과 포스트닥터
- 1990년 일본동경대학 정보통신공학과 박사
- 1970년~1980년 남양MBC 송신소장
- 1980년 10월~2010년 2월 전북대학교 전자공학부 교수
- 2010년 2월~2013 WCU-2 연구책임교수
- 2015 국가연구개발 우수성과 100선
- 현재 전북대학교 전자공학부 초빙교수  
<주관심분야 : Jacket행렬, 무선이동통신, Molecular communication>

※ 이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임  
(No.2015R1A2A1A05000977)