Smart Media Journal / Vol.9, No.2 / ISSN:2287-132216
https://dx.doi.org/10.30693/SMJ.2020.9.2.16

시뮬레이션 기반 5G 통신 환경에서 성능향상을 위한 스몰셀 기술 적용 분석

(Analysis of Small Cell Technology Application for Performance Improvement in Simulation-based 5G Communication Environment)

김윤환*, 김태연**, 이대영***, 배상현****

(Yoon Hwan Kim, Tae Yeun Kim, Dae Young Lee, Sang Hyun Bae)

요 약

최근 스마트 폰의 보급과 컨텐츠 이용에 있어서 주요 트래픽이 IoT 데이터 및 실시간 미디어 데이터로 옮겨감에 따라 모바일 트래픽은 기하급수적으로 증가 중이다. 기존 LTE 시스템에서의 한계를 극복하기 위한 5세대 이동통신기술(5G)은 4G LTE 시스템 대비 1000배의 데이터 트래픽 수용률, 연결 디바이스의 수용, 저지연, 고 에너지 효율, 비용을 충족하는 기술이나 높은 주파수 영역의 사용에 따른 경로손실이 매우 높아 기존 4G LTE 시스템에 비하여 서비스 제공이 어려울 수 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 스몰셀이나 단말간통신(D2D)등 여러 가지 기술들이 연구중에 있다. 본 논문에서는 5세대 이동통신시스템의 시스템 성능향상을 위한 기술로 스몰셀 기술을 소개한다. 이후 스몰셀 기술 적용 분석과 매크로 통신과 스몰셀 통신에 대한 결정, 전력제어에 대한 제안하는 알고리즘 적용의 결과의 비교로 성능을 분석한다. 분석결과를 통하여 5세대 이동통신 시스템에서 스몰셀 기술을 이용하면 음영지역 개선 및 밀리미터파의 경로손실 문제를 크게 감소하는 효과를 얻을 수 있음을 보인다.

■ 중심어 : 이동통신 ; 스몰셀 ; 5세대이동통신 ; 5G ; 4G

Abstract

Recently, mobile traffic is increasing exponentially as major traffic is transferred to IoT and visual media data in the dissemination of mobile communication terminals and contents use. In order to overcome the limitations of the existing LTE system, 5G mobile communication technology (5G) is a technology that meets 1000 times data traffic capacity, 4G LTE system acceptance, low latency, high energy efficiency, and high cost compared to 4G LTE system. The path loss due to the use of the frequency domain is very high, so it may be difficult to provide a service compared to the existing 4G LTE system. To overcome these shortcomings, various techniques are under study. In this paper, small cell technology is introduced to improve the system performance of 5G mobile communication systems. The performance is analyzed by comparing the results of small cell technology application, macro communication and small cell communication, and the results of the proposed algorithm application for power control. The analysis results show that the use of small cell technology in the 5th generation mobile communication system can significantly reduce the shadow area and reduce the millimeter wave path loss problem.

■ keywords : Mobile communication ; small cell ; 5G ; 4G

Ⅰ. 서 론

최근 스마트 폰의 보급과 발달로 인하여 모바일 데이터 트래픽의 주요 사용이 IoT 데이터 및 실시간 미디어 데이터로 옮겨감에 따라 데이터 트래픽이 폭발적으로 늘어나는 것에 비하여 한정된 셀룰러 시스템용량 때문에 포화상태에 이르고 있어 이를 해결하기 위한 연구를 지속하고 있다[1-3].

5세대 이동통신 시스템(5G)는 4세대 LTE 시스템 대비 1000배의 데이터 트래픽 수용과 연결 디바이스의 수용 규모, 저지연, 높은 에너지 효율, 비용을 충족하는 기술이다. 5G시스템의 경우 주파수 3GHz의 기존 4G와 비슷한 대역을 기본적으로 사용하며 한국의 경우 3개 통신사(SK, KT, LG)가 3.6~3.7, 3.5~3.6,

* 준회원, 조선대학교 컴퓨터통계학과 대학원생
** 정회원, 조선대학교 SW융합교육원 교수
*** 준회원, 광주광역시청 시민소통기획관실 사무관
**** 정회원, 조선대학교 컴퓨터통계학과 교수
이 논문은 조선대학교 연구지원금의 지원을 받아 연구되었음(2019학년도)

접수일자 : 2020년 02월 17일
게재확정일 : 2020년 06월 04일
교신저자 : 배상현, e-mail : shbae@chosun.ac.kr

3.42~3.5의 대역을 사용하여 2019년 4월부터 서비스중에 있다[4].

5G 시스템의 궁극적인 목표는 고주파수 대역을 사용하는 것에 있으며 SKT는 28.1~28.9GHz, KT는 26.5~27.3GHz, LGU+는 27.3~28.1GHz를 사용할 계획에 있다.

밀리미터파를 사용하는데 있어 가장 큰 문제는 전파수신에 대한 경로손실이 크다는 것이다. 국내 통신사가 채용한 약 28GHz의 경우 공기중의 수분, 벽돌, 벽, 코팅된 창문 등의 매질에 대하여 20~50dB의 매우 큰 손실이 발생하는 것을 그림 1에서 확인할 수 있다.

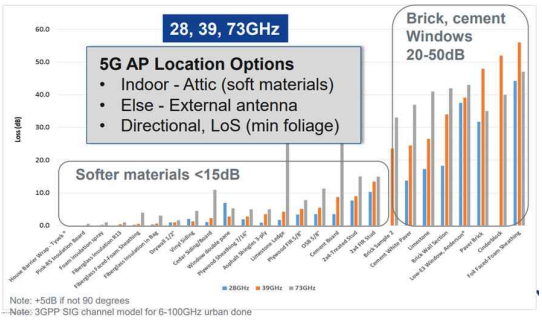

그림 1. 밀리미터파의 매질에 따른 신호감쇄[4]

이를 통하여 일반적인 기지국에서의 송신된 신호를 실내에서 사용하는 것과 4G 시스템과 비교하여 비교적으로 높은 주파수 이용에 따른 각 기지국의 커버리지가 낮음을 알 수가 있다[5,8].

이런 단점을 극복하기 위하여 4G 기지국 대비 규모가 작은 5G 기지국의 특성을 이용하여 기지국의 개수를 늘리는 방법이 주요하다. 스몰셀 기술은 기존 LTE-시스템에서도 커버리지 확장 및 주파수 재이용을 이용한 시스템 성능 향상을 시킬 수 있는 기술로 5G 밀리미터파의 사용에 따른 해결방안으로 제시 할 수 있는 기술이다[6].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 기술을 살펴보고 3장에서는 시스템 모델을 제시, 4장에서는 제안한 기법의 성능을 매트랩을 이용한 몬테칼로 시뮬레이션에 기반하여 분석한 후 5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 기술

1. 스몰셀 기술

스몰셀(Small Cell)은 10W급 이하의 소출력 기지국장비로 피코셀과 펨토셀 등을 통칭하여 스몰셀이라 한다. 3GPP에서는 출력 파워에 따라 펨토셀(21dBm), 피코셀(24dBm), 마이크로셀(38dBm)으로 구분한다.[7]

그림2와 같이 스몰셀은 매크로기지국내에 배치된 저전력 소형기지국이며 셀룰러 시스템에서 여러 무선 AP로 구성하여 실내에 설치 시 음영지역을 해소하여 QoS 및 전송용량 증대를 기대할 수 있는 기술이다. 5G 시스템 내에서 스몰셀을 일정 공간에 배치하여 주파수 재사용을 하여 시스템 성능향상을 할 수 있다. 5G 시스템에서는 높은 주파수로 인한 큰 간섭으로 인하여 외부에서 내부로의 전파수신에 대하여 품질을 보장하지 못하는 현상이 있어 스몰셀 기술은 5G의 한계를 극복하는데 있어 주요한 기술이다.[6-7]

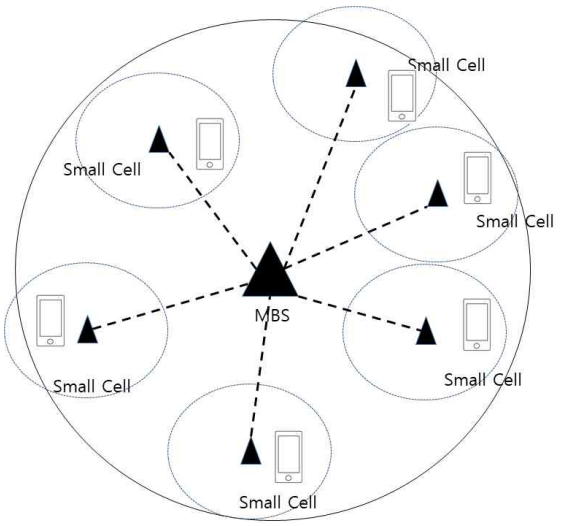

그림 2. 스몰셀 망 구조

2. 5G 통신 기술

5세대 이동통신은 2017년 12월 3GPP 릴리스 15에서 정의하고 있는 기술로 고주파 대역을 이용한 기존시스템 대비 더 많은 디바이스의 수용, 저지연 및 더 빠른 속도를 추구하는 기술이다.

5세대 이동통신 네트워크의 구축에 있어 밀리미터파(3.6GHz, 24-86GHz)를 고려하며 밀리미터파 이용에 따른 높은 경로손실이 발생하며 가시거리가 아닌 비 가시거리 환경에서는 서비스 제공이 불가능한 상황이 많이 발생 할 수 있다[8].

가. 고주파 대역의 경로손실

밀리미터파를 이용함에 따른 경로손실은 상대적으로 짧은 파장과 넓은 대역폭의 사용에 따라 발생하며 다음 식과 같이 일반적으로 수신 신호의 전력 Prx는 다음 식과 같이 송신 신호 전력 Ptx에 대하여 주파수의 제곱에 해당하는 경로손실을 겪게 된다.

$$P_{rx} = P_{tx} G_{tx} G_{rx} (\frac{\lambda}{4\pi R})^2 = P_{tx} G_{tx} G_{rx} (\frac{c^2}{4\pi * f^2})(\frac{1}{4\pi R^2}) \quad (1)$$

Gtx는 송신안테나 이득, Grx는 수신안테나 이득이며 R은 송수신기 사이의 거리이다. 경로손실 값은 2.8GHz 대역과 28GHz를 비교하여보면 각각 -41.4dB, -61.4dB로 고주파 대역을 사용하는 경우 경로손실 값이 매우 큰 것을 알 수가 있다 [12-14].

나. 주파수 대역

5G 시스템은 3GHz의 저주파수 영역과 28GHz의 주파수 대역을 사용한다. 3GHz의 최대 대역폭은 50/100/200MHz이며, 28GHz는 200/400MHz이다. 4G LTE에서는 FDD(Frequency Division Duplex) 방식으로 업로드 대역과 다운로드 대역을 나눠서 사용하여야 하는 반면에 5G 시스템에서는 TDD(Time Division Duplex) 방식으로 대역폭의 일부를 시간에 따라 나누어 사용 할 수 있어 많은 수의 디바이스의 연결을 수용 할 수 있다[10].

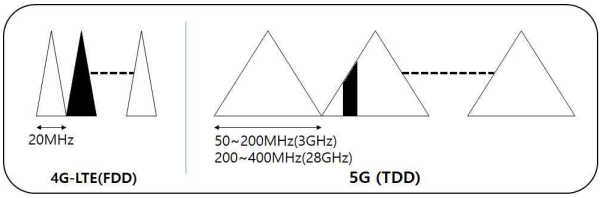

그림 2. FDD방식과 TDD방식의 비교[10]

III. 시스템 모델

1. 5G 시스템에서의 스몰셀 기술

중앙에 메인 기지국(MBS)이 존재하고 주변에 6개의 기지국이 배치, 메인 기지국의 반경은 1km이다. 스마트폰들이 랜덤하게 존재하며 스몰셀이 무작위로 배치된다. 대역폭은 TDD 방식으로 할당하며 스몰셀 연결의 조건은 10m 이내로 한다.

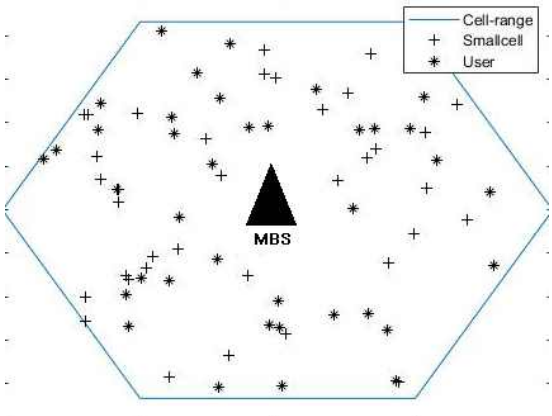

그림 3. 5G-스몰셀 시스템 모델

2. 5G 시스템과 4G시스템의 비교

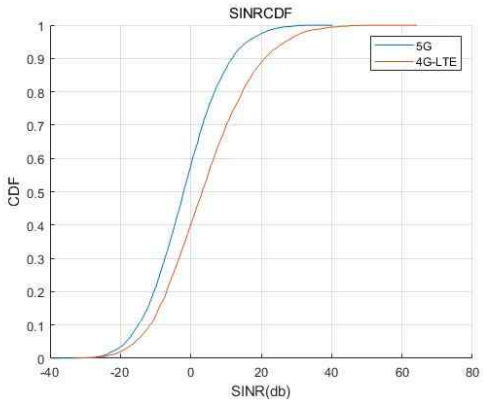

그림 4. 5G, 4G SINR CDF

그림4는 5G(3.2GHz)와 4G-LTE 시스템에 대한 SINR의 CDF를 나타낸 그래프이다. 최저 통신서비스 가능한 값(-10dB)를 기준으로 5G의 outage는 20%, 4G-LTE의 outage는 10%로 5G의 outage가 4G-LTE 대비 두 배 더 높음을 그래프로 알 수가 있으며 전반적으로 LTE 통신과 비교하여 5G의 높은 주파수 사용에 따른 성능 하락을 관찰 할 수 있었다.

3. 통신거리에 따른 스몰셀 오수신확률(outage)

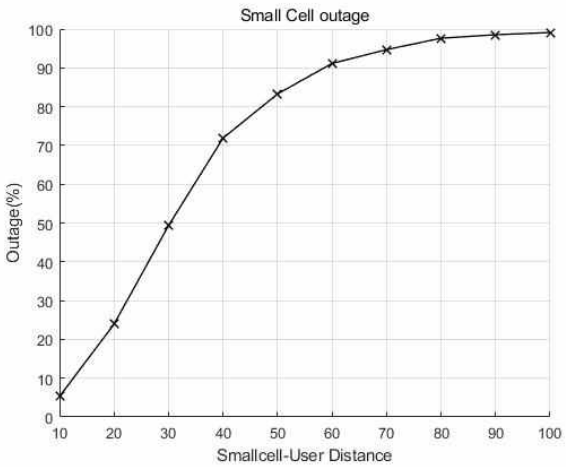

그림 5. 스몰셀과 유저간 거리에 따른 Outage

그림5는 스몰셀 통신 거리에 대한 outage 비율을 보인다. 스몰셀에 대한 연결 디바이스의 경우 스몰셀 기지국(SBS)의 전송파워가 메인기지국(MBS)에 비하여 낮으므로 거리에 따라 outage가 급격하게 달라지는 양상을 보인다.

스몰셀-유저간 거리가 10m를 초과할 경우 Outage가 급격히 늘어남에 따라 시스템 시뮬레이션 진행은 10m를 기준으로 진행한다.

표 1. 시스템 파라미터

Parameter	Value
Cell radius	1km
MBS Power	20W
SBS Power	10W
UE Device	10~100
SBS	10
Distance between SBS-SBSUE	10m
Noise density	-174dBm/Hz
MBS height	25m
Distribution D2D Device	Random
Pathloss	MBS-MUE : $15.3+37.6\log_{10}D$ SBS-SBSUE : $38.46+20\log_{10}D$
Simulation count	500
Simulation Tool	Matlab 2016

4. 5G-스몰셀 적용 알고리즘

통신수행에 있어 매크로셀-유저(MBS통신), 스몰셀-유저(SBS통신)의 연결은 각 기지국에서 오는 신호와 간섭량을 고려하여 적절한 통신을 수행하여야 한다. 스몰셀은 면허대역을 공유하는 시스템으로 스몰셀이 무한정 늘어날 경우 간섭량이 커져 성능 저하가 있을 수 있다. 반대로 스몰셀이 늘어남에 따라 음영지역이나 매크로 통신이 약한 곳에서의 성능이 비약적으로 향상하는 경우도 있다. 이러한 특성이 복합적으로 일어나는 통신에서의 스몰셀 도입은 이러한 문제점들을 해결하여야 한다.

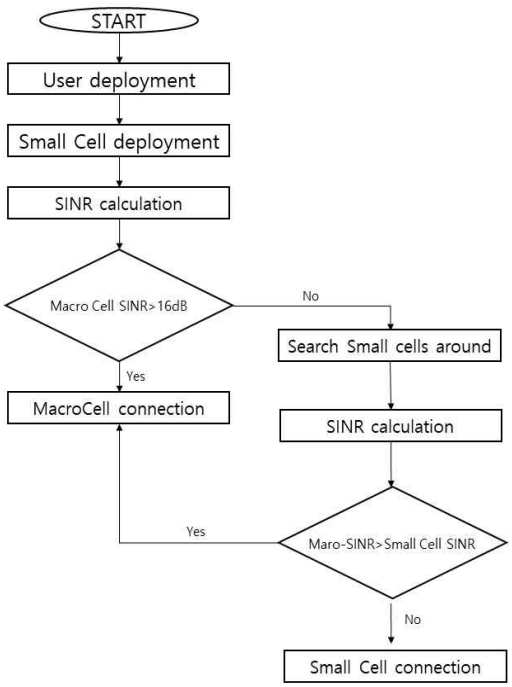

그림 6. 시나리오1 : 5G매크로 시스템 스몰셀 적용 알고리즘

본 논문에서는 5G 매크로시스템에 일반적인 스몰셀 도입과 제안하는 알고리즘의 적용을 통하여 매크로 시스템에서의 스몰셀 도입 시 보다 나은 성능향상을 위하여 다음과 같이 알고리즘을 제안한다.

그림6 은 일반적으로 5세대 이동통신시스템에서 스몰셀 기술 적용에 대한 사항이며 알고리즘은 다음과 같다. 1) 유저 디바이스 및 스몰셀 기지국을 배치 2) SINR 계산후 매크로셀 SINR이 목표값을 초과하는지 확인 3) SINR이 목표값을 초과하면 매크로셀로 연결하고 목표값을 초과하지 않으면 주변의 스몰셀 위치를 파악 4) SINR을 측정하여 매크로 SINR이 스몰셀 SINR보다 큰 값이면 매크로 셀 통신을 수행하며 그렇지 않으면 스몰셀 통신을 수행한다.

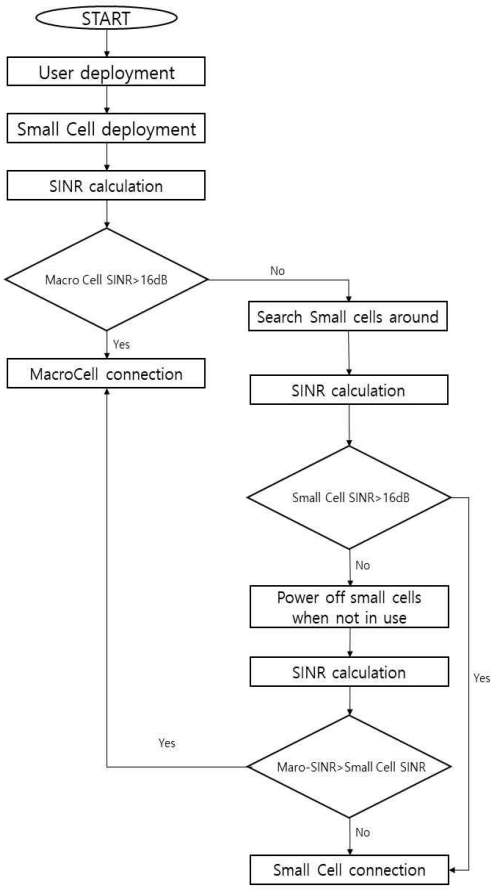

그림 7. 시나리오2 : 5G매크로 시스템 간섭제어 알고리즘

그림7 에서 제안하는 5세대 이동통신 시스템에서의 스몰셀 기술 적용 알고리즘은 다음과 같다. 1) 유저 디바이스 및 스몰셀 기지국을 배치 2) SINR 계산후 매크로셀 SINR이 목표값을 초과하는지 확인 3) SINR이 목표값을 초과하면 매크로셀로

연결하고 목표값을 초과하지 않으면 주변의 스몰셀 위치를 파악 4) SINR이 목표값을 초과하지 않는 경우 사용하지 않는 스몰셀을 끄고 SINR을 측정한다. 5) 매크로 SINR이 스몰셀 SINR보다 큰 값이면 매크로 셀 통신을 수행하며 그렇지 않으면 스몰셀로 연결하여 통신을 한다.

SINR 목표값에 대한 사항은 그림4에 대한 SINR의 측정결과에 따라 설정하였으며 모든 통신 연결에 대한 사항은 중앙기지국에서 통제함을 원칙으로 하며 스몰셀의 개수는 10개에서 100개까지 유동적으로 on/off를 통하여 통제한다. 시뮬레이션은 매트랩을 이용하여 수행하였다.

Ⅳ. 성능분석

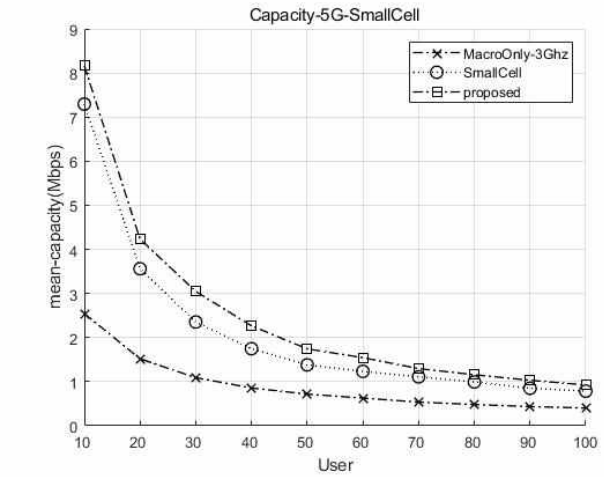

그림 7. 유저수증가에 따른 성능 비교

본 절에서는 두가지 시나리오에서 전체 유저 수의 증가에 따른 변화를 비교한다. 표 1은 성능분석을 위한 시스템 파라미터를 나타낸다. 유저수의 변화에 따라 각 시스템 부하가 다르기 때문에 User를 10명에서 100명까지 변화시키며 시뮬레이션을 진행한다. 그림7은 유저수 변화에 따른 각 시나리오에 대한 평균 capacity를 나타낸 그래프이다.

스몰셀 기술의 적용 없이 매크로 기지국에만 연결하여 서비스를 하였을 경우 셀의 경계 영역에 닿는 신호의 세기가 큰 경로손실을 겪고 주변 셀의 영향을 더 받기 때문에 전체 성능이 저하됨을 시뮬레이션 결과로 볼 수가 있다. 이러한 매크로 시스템에 시나리오1에 해당하는 스몰셀 기술을 적용할 경우 2.86배에서 1.94배가 차이나며, 스몰셀 기술이 적용되면서 셀 경계구역이나 기타 통신 성능이 낮은 곳에 대한 대처가 되었음을 확인 할 수 있다. 시나리오2에 해당하는 제안된 알고리즘 방식은 스몰셀만을 적용하였을 때와 비교하여 1.17배에서 1.11배 상승하였으며 이는 활성 스몰셀 기지국의 숫자를 유동적으로 조절하여 간섭조절이 된 결과인 것으로 분석된다.

그림 7은 유저 수 증가에 따른 5G 시스템에서 스몰셀 기술의 적용에 따른 성능분석을 나타낸 그래프로 매크로 통신만 수행하였을 경우와 스몰셀을 적용, 알고리즘 적용을 비교하였다.

성능분석결과 그래프 결과와 같이 기존 매크로 시스템에 스몰셀을 적용하면 유저수 증가에 따른 부하 시에도 성능이 더 높으며 알고리즘 적용에 따라 더 나은 시스템 성능향상을 할 수 있었다.

Ⅴ. 결론

본 논문에서는 먼저 최근에 도입된 5세대 이동통신 시스템에 대하여 소개하였다. 5세대 이동통신 시스템의 주요한 목적인 많은 수의 디바이스 수용, 저지연 및 더 빠른 속도를 위해서는 밀리미터파의 이용이 필수적이다. 하지만 고주파수 사용 시 경로손실이 크게 발생하며 서비스를 원활하게 하지 못하는 경우가 필수적으로 발생하게 된다. 이러한 문제를 극복하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있고 그 연구 중 하나인 스몰셀 시스템은 5G 시스템에서 중요한 기술 중 하나이다. 스몰셀 시스템은 커버리지 확장 및 시스템 성능향상에 큰 영향을 준다. 이러한 스몰셀 기술을 5G 시스템에 적용하여 시뮬레이션을 통하여 시스템 성능분석을 수행하였으며 매크로통신만을 하는 방식대비 성능향상을 관찰 할 수 있었다. 제안하는 알고리즘 적용에 대한 시스템 성능개선에 대하여 분석한 결과 매크로 시스템에 스몰셀을 적용할 경우 성능향상 부분을 확인할수 있었으며 스몰셀 on/off를 통한 간섭제어 기법을 활용한 결과 시스템 성능이 더욱 개선되었음을 알 수가 있었다.

밀리미터파를 이용하는 5세대 이동통신시스템에서 스몰셀 기술에 대한 적용은 필수적이며 본 논문에서 제시된 스몰셀 기술과 알고리즘 이외에도 좀 더 효과적인 간섭제어 방식이 5G 시스템의 성능향상 관련 연구 주제 중의 하나로서 이와 관련된 지속적인 후속 연구가 필요할 것으로 생각될 수 있을 것이다.

REFERENCES

[1] Intel, “Intel Paves Way for Service Providers to Quickly Monetize 5G with New Infrastructure Reference Design”, Intel, June 2018.

[2] Young cheon Lee, “Development of Cultural Content using a Markerless Tracking-based Augmented Reality,” *Smart Media Journal,* vol. 5, no. 4, pp. 90-95, 2016.

[3] Hwan Park, Mi-sun Kim, Jae-hyun Seo, "Sensing Data Management System Using LoRa Based on Mobius Platform," *Smart Media Journal,* vol. 8, no. 4, pp.09-16, 2019.
[4] Yun-Jin Lee, Seong-Hee Lee, Seong-Hyung Lee, Seung-Hoon Hwang, "Comparison of Domestic and Foreign Trends on 5G System," *Korea Institute of communication Sciences*, pp. 272, Nov. 2014.
[5] Mark Cudak, "Towards Making 5G a Reality," *IEEE 5G Summit*, Nov. 2016.
[6] L.Dai et al., "Non-orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends," *IEEE Community Mag*, vol. 53, no. 9, pp. 74-81, Sept. 2015.
[7] Small Cell Forum, "Small Cells, what's the big idea?", *Tech. Rep.*, No. SCF030, Feb. 2014.
[8] Ahmed lyanda Sulyman, AlMuthanna T.Nassar, Mathew K. Samimi, George R. MacCartney Jr., Theodore S. Rappaport, and Abdulhameed Alsanie, "Radio Propagation Path Loss Model for 5G Cellular Networks in the 28GHz and 38GHz Millimeter-Wave Bands," *Communications Magazine IEEE*. vol. 52, no. 9, pp. 78-86, Sept. 2014.
[9] SCF, "Small Cells Market Status Report December 2017." Ioannis and Chochliouros, "Promoting Small Cells as a Service in Verticals: The "5G ESSENCE" Context," FITCE Workshop, Greece, Dec. 2017.
[10] Mohammad Patwary, Shree Krishna Sharma, Symeon Chatzinotas, Yunfei Chen, Mohamed Abdel-Maguid, Raed Abd-Alhameed, Jams Noras, and Bjorn Ottersten, "Universal Intelligent Small Cell(UnISCell) for next generation cellular networks," *ELSEVIER Digital Communications and Networks*, pp. 167-174, Apr. 2016.
[11] NR Physical Layer Design: Physical layer structure, numernology and frame stucture, *3GPP RAN Workshop*, Brussels, 24-25 Oct. 2018.
[12] Ahmed lyanda Sulyman, AlMuthanna T.Nassar, Mathew K. Samimi, George R. MacCartney Jr., Theodore S. Rappaport, and Abdulhameed Alsanie, "Radio Propagation Path Loss Model for 5G Cellular Networks in the 28GHz and 38GHz Millimeter-Wave Bands," *IEEE Communications Magazine,* vol. 52, no. 9, pp. 78-86, Sept. 2014.
[13] Woo-Ghee Chung, "Study on Effective 5G Network Deployment Method for 5G Mobile Communication Service," *The Journal of Korean institute of Electromagnetic Engineering and Science*, pp. 353-358, May 2018.
[14] Dong Hyeok An, "Text Line Segmentation of Handwritten Documents by Area Mapping," S*mart Media Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 38-43, 2015.

저 자 소 개

김윤환(준회원)

2013년 전남대학교 화학과 학사 졸업.
2013년~현재 기독간호대학교 재직.
2015년~현재 조선대학교 컴퓨터통계학과 석박사통합과정.

<주관심분야 : 이동통신, D2D, 인공지능, 정보보안 >

김태연(정회원)

2012년~2015년 신한시스템즈(주) 연구소장.
2012년~2017년 광주보건대학교 겸임교수.
2018년~현재 조선대학교 SW융합교육원 조교수.

<주관심분야 : 인공지능, 빅데이터, 감성공학, IoT>

이대영(정회원)

1999년 조선대학교 컴퓨터통계학과 학사 졸업.
2001년 조선대학교 컴퓨터통계학과 석사 졸업.
2006년 조선대학교 컴퓨터통계학과 박사 졸업.

<주관심분야 : 인공지능, 미디어>

배상현(정회원)

1982년 조선대학교 전기공학과 학사 졸업.
1984년 조선대학교 전기공학과 석사 졸업.
1988년 동경도립대학 정보과학과 박사 졸업.
1988년~현재 조선대학교 컴퓨터통계학과 교수

<주관심분야 : 인공지능, 멀티미디어시스템>