

Mobile WiMAX 기반 TICN의 시스템 레벨 성능평가

윤주희¹, 김재권^{1*}

¹연세대학교 원주캠퍼스 컴퓨터정보통신공학부

System Level Performance Evaluation of TICN Based on Mobile WiMAX

Ju-Hee Yun¹, Jaekwon Kim^{1*}

¹Division of Computer and Telecom. Engineering, Yonsei University

요약 본 논문에서는 Mobile WiMAX 기반 군전술정보통신네트워크 (TICN)의 성능을 시스템 레벨에서 평가한다. 전시에 정지상태의 기지국 (BS: Base Station)들이 불규칙적으로 분포되어 있는 환경에서 이동 기지국 (BS-OTM)이 투입되었을 때 인접 기지국 및 가입자 (SS: Subscriber Station)가 받는 영향을 분석한다. 이동기지국이 추가적으로 사용되었을 때 서비스를 제공하는 기지국이 변함없는 가입자 관점에서는 간섭이 증가하여 CINR(Carrier To Interference and Noise Ratio)이 감소하고 이동 기지국에 의해 가입자가 두 기지국으로 분산되어 다중사용자 다이버시티가 감소하는 단점이 있음을 밝힌다. 그러나 통신 환경이 열악했던 가입자 주변에서 이동 기지국이 작동하게 되어 새롭게 서비스 받게 되는 가입자들은 큰 CINR 이득을 얻게 되며, 셀 전체적인 수율관점에서는 이동기지국에 의해 성능이 크게 향상된다. 또한, 반송파주파수, 이동기지국의 이동속도 및 위치에 따른 성능을 평가한다.

Abstract This study analyzed the system level performance of the Mobile WiMAX-based TICN, and the effects of the use of BS-OTM in terms of the throughput of individual users as well as the overall system, assuming that other stationary BSs are distributed randomly. When BS-OTM is used, the CINRs decrease due to the additional interference from the BS-OTM from the perspective of SSs that are served by the same BS as when OTM BS is not used. On the other hand, from the perspective of SSs that had low CINRs, the CINRs increase significantly due to the new service from BS-OTM. Considering both effects, the cell throughput can be increased using BS-OTM. The CINR distribution and throughput of the overall system, changing the carrier frequency, position and velocity of the BS-OTM were also evaluated.

Key Words : Base Station On The Move (BS-OTM), Cell throughput, Mobile-WiMAX system, System Level simulation(SLS), Tactical Information Communication Network(TICN)

1. 서론

우리나라는 미래 전투 환경인 네트워크중심전 (NCW; Network Centric Warfare)에서 군사적 임무수행능력을 획기적으로 개선하기 위해 정보통신기능을 도입하여 정보통신지원능력을 향상하기 위해 노력하고 있다. 정보통신 지원능력의 중추적인 역할을 담당할 차기 전술 통신

체계가 TICN (Tactical Information Communication Network)이며, TICN은 현재 육군이 사용하고 있는 SPIDER에 비해 대용량 전송능력과 기동성을 제공하므로 TICN을 가능하게 하는 통신기반기술로 주목을 받고 있다[1].

시스템 레벨 모의실험 (SLS: System Level Simulation)에서는 기지국과 가입자간 특성, 대규모페이딩 및 소규

*Corresponding Author : Jaekwon Kim(Yonsei Univ.)

Tel: +82-10-6269-9634 email: jaekwon@yonsei.ac.kr

Received July 4, 2014

Revised August 5, 2014

Accepted August 7, 2014

[Table 1] Simulation Environment for System Level Simulation

Parameter	Value
system bandwidth	10 MHz (effective BW: 8.75 MHz)
carrier frequency	2.3 GHz
frequency reuse	3 FAIDs, 3 sector (OTM BS: 1 sector)
no. of OFDMA symbols per frame	42 (symbol time: 115.2 μ sec)
no. of sub-carriers	1024
subchannelization	PUSC
no. of data subcarrier per subchannel	48
no. of used subchannel	1
large scale fading model	COST231 Hata model
Shadow fading	$\sqrt{(0.5)} x_{cell} + \sqrt{(0.5)} x_{sector}$ [5] standard deviation: 10 dB
small scale fading model	Jakes model
PDP	ITU-R Ped. A
no. of base stations	29 and one OTB BS
transmit power of BSs	8 Watt
height of BSs	30 m
no. of MSs	20
transmit power of MSs	3 Watt
height of MSs	Uniform(1, 10)
no. of generations of MS positions	10
no. of packets for a distribution of MSs	100
antenna pattern	$A(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right]$ $\theta_{3dB} = 70^\circ, A_m = 20dB$ [6]
Hybrid-ARQ	chase combining(no. of retransmission:4)
Traffic model	full buffer
scheduling method	proportional fair (PF)
CQI(Channel Quality Indicator) delay	2 frames

모페이딩 채널모델, 주파수 할당 등과 같은 시스템의 현실적인 요소를 고려하기 때문에 TICN을 포함한 다양한 이동통신 시스템의 전체적인 성능을 평가하는데 적합하다[1]. 시스템 레벨의 성능 평가는 한정된 통신 자원과 그에 따른 다수 개의 링크연결에 대한 운용을 평가하기 때문에, 시스템레벨 성능평가를 위해서는 링크레벨의 성능 측정이 필요하다. 시스템레벨 모의실험을 수행할 때 링크레벨 성능측정을 동시에 수행하기 위해서는 실시간으로 막대한 양의 연산을 수행해야하기 때문에 일반적으로 해당 무선 통신환경의 가정된 채널부호화(CC: Channel Coding), 변조기법, 다이버시티 기법 등을 고려한 링크레벨의 성능을 구해 미리 데이터베이스화하여 정보를 활용한다[2]. Mobile WiMAX 시스템과 같이 직교주파수분할 다중화 (OFDM; Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조방식을 사용하는 시스템을 위한 시스템레벨 모의실험 방식이 [2]에 정리되어 있으며, 표준화 과정에서는 [3]와 같은 평가기준을 사용하였다. 참고문헌 [4]에서는 Mobile WiMAX를 사용하여 시스템레벨모의

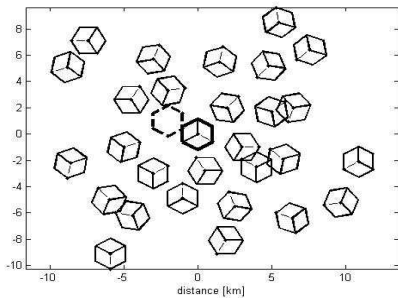
실험을 수행하는 구체적인 절차의 한 예를 기술하고 있으며, 기존 고정된 기지국들을 기반으로 하는 시스템레벨 성능을 분석하였다. 본 논문에서는, Mobile WiMAX 시스템을 TICN에 적용했을 경우의 시스템레벨성능을 평가한다. 특히 전시에 기지국들이 불규칙적으로 분포되어 있으며, 이동 기지국이 새롭게 등장하여 단말에 서비스를 제공하는 시나리오에 대해 단말관점의 성능분석 및 셀 전체적인 성능분석을 위해 모의실험을 수행하여 장단점 및 성능이득을 정량화 한다.

2. 시스템 레벨 성능평가 환경

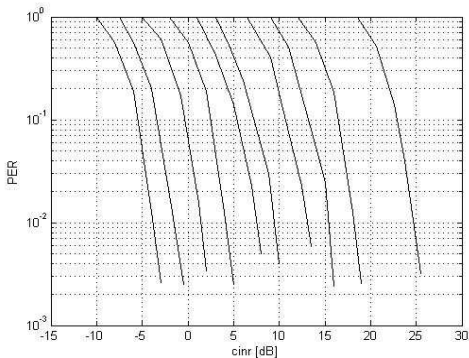
본 장에서는 TCIN의 기본적인 모의실험 환경을 기술한다. 본 논문의 성능분석 대상은 중심 기지국(home BS)의 중심 섹터(home sector)와 중심 섹터로부터 서비스 받는 가입자들, 이동기지국 (BS-OTM), 이동기지국으로부터 서비스 받는 가입자들이다. 본 논문에서 가정된 기

지국 분포는 다음의 Fig. 1과 같다. 총 29개의 고정된 지국들이 불규칙적으로 분포하고 있으며, 한 개의 이동 지국이 이동하고 있는 시나리오를 나타낸다. Fig. 1에서 굵은 실선으로 표시된 지국이 중심 지국임, 중심 지국 내부의 중간 굵기로 표시된 곳이 중심 섹터를 나타낸다. 굵은 점선으로 표시된 지국은 이동 지국으로 (-2, 1)의 좌표에 위치하고 있는 상태를 나타내며, 이동지국은 섹터의 구분이 없다고 가정한다. 그 밖의 시스템 레벨 모의실험을 수행하는 환경은 Table 1에 정리하였다.

본 논문의 시스템 레벨 모의실험을 위해 사용한 MCS (Modulation and Coding Scheme) 레벨 별 패킷 오류율 (PER: Packet Error Rate) 성능곡선은 Fig. 2와 같으며, Mobile WiMAX 표준에 부합하도록 총 10개의 MCS 레벨이 존재함을 알 수 있다.



[Fig. 1] Random BSs (solid line) and OTM BS (dotted line)



[Fig. 2] Packet error performance of 10 MCS levels

3. TICN 성능분석

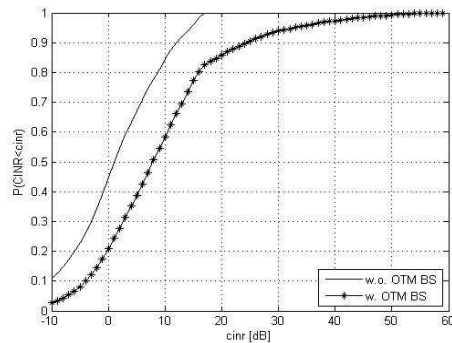
본 장에서는 2장에서 기술한 모의실험 환경을 기반으로 수행할 시스템레벨 모의실험의 세부적인 절차를 기술한다. 시스템레벨 모의실험의 구체적인 절차를 Table 2로 정리하였다.

[Table 2] System Level Simulation Procedure for TICN

1	i=0;
2	while (i < MAX_MS_COUNT)
3	decide locations of MS[i]
4	receive power calculation of MS[i] from BSs
5	if (maximum power sector == target sector)
6	i++;
7	end if
8	if (exist OTM BS?)
9	MS[i].serviceBS = (maximum power sector == OTM BS) ?
10	OTM BS = target sector;
11	else
12	MS[i].serviceBS = target sector;
13	end if
14	end while
15	while (packet exist to transmit?)
16	CINR calculation for all MS[i] considering small scale fading
17	PF scheduling
18	packet error check and H-ARQ
19	throughput calculation
20	end while

3.1 이동지국의 사용여부에 따른 성능비교

2장의 TICN 환경 및 Table 2의 모의실험 절차에 따라 수행한 시스템레벨 모의실험 결과 도출한 CINR 곡선은 Fig. 3과 같다. Fig. 3은 이동지국이 존재할 경우와 존재하지 않을 경우의 CINR 분포곡선을 비교한다. 이 때 이동지국의 위치는 Fig. 1에 점선으로 표시한 위치를 가정으로 한다.

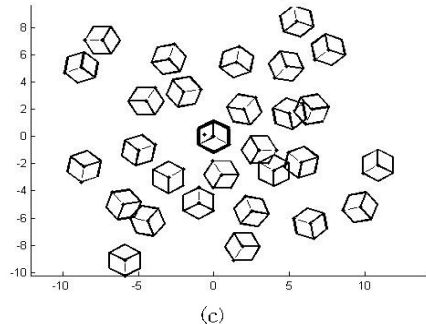
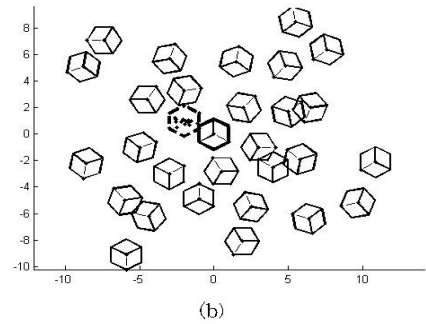
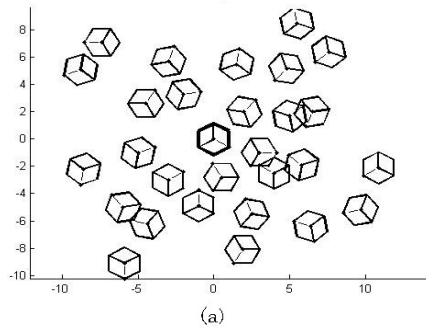


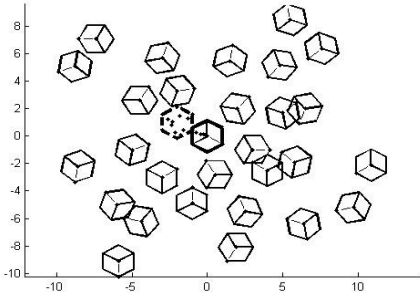
[Fig. 3] CINR distribution with and without using OTM BS

Fig. 3에서 확인할 수 있듯이 이동기지국이 작동함에 따라, 15dB 이상의 CINR을 갖는 경우가 약 10% 증가하였으며 서비스불능사용자는 8% 가량 감소하였다. 이동기지국보다 중심 섹터에 가까이 위치해 평균적으로 충분히 높은 CINR을 갖는 가입자에 대해서는 이동기지국이 간섭으로 작용하여 CINR이 감소하지만, CINR이 낮은 섹터 경계 부분과 중심섹터로부터 멀리 떨어져 있으며 이동기지국으로부터 더 가까운 거리에 위치한 가입자들은 이동기지국으로부터 새롭게 서비스를 받게 되어 CINR이 증가한다. 특히 이동기지국의 중심에 가까운 가입자들은 CINR이 크게 증가하기 때문에 초기에 중심 섹터로부터 서비스를 받던 전체 가입자 관점에서는 이동기지국에 의해 이득이 있는 것으로 분석된다. 이러한 이동기지국에 따른 CINR 분포의 변화를 Fig. 4에서 확인할 수 있다. Fig. 4는 시스템레벨 모의실험에서 가입자들의 위치 갱신 절차에서 100번째 패킷에 대한 CINR 및 이에 따른 MCS레벨의 분포를 도시한 것이다. Fig. 4(a), Fig. 4(b)는 CINR이 24.8dB이상이 되어 가장 높은 MCS 레벨인 MCS 10으로 고속 데이터 전송이 가능한 가입자들의 분포를 나타내며, Fig. 4(k), Fig. 4(l)은 CINR이 -3.95dB 이하가 되어 서비스불능가입자들의 분포를 나타내며, Fig. 4(c)~Fig. 4(j)는 각각 다른 MCS 레벨로 서비스를 제공받는 가입자들의 분포를 나타낸다. Fig. 4(a), Fig. 4(c), Fig. 4(e), Fig. 4(g), Fig. 4(i), Fig. 4(k)은 이동기지국이 작동하기 이전을, Fig. 4(b), Fig. 4(d), Fig. 4(f), Fig. 4(j), Fig. 4(l)은 이동기지국이 작동하였을 경우를 나타낸다.

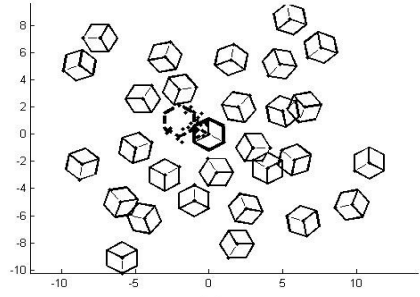
Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)에서 확인할 수 있듯이, 이동기지국이 사용된 경우에 MCS 레벨 10의 가입자가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이는 중심섹터로부터 멀리 떨어진 가입자들이 이동기지국의 중심 쪽에 위치하게 되면서 CINR이 크게 증가했기 때문이다. Fig. 4(e), Fig. 4(f)에서는 중심섹터 안쪽의 가입자들에 대해 이동기지국이 간섭으로 작용해 이동기지국이 없는 경우에 비해 소폭 MCS 레벨 6의 가입자가 감소함을 확인할 수 있다. Fig. 4(g)에서 Fig. 4(j)까지의 그림에서는, CINR이 7.6 이하로 낮은 중심섹터 경계 및 바깥쪽에 분포하는 가입자들에 대해 이동기지국에 의해 상당수가 높은 CINR로 이동했음을 확인할 수 있고, 두 기지국으로부터 동시에 멀리 떨어진 가입자들은 여전히 낮은 CINR을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 한 개의 PUSC 부채널에 대해 수율을 계산했을 때, 전체 가입자의 수율을 고려한 셀수율은 Table 3과 같다.

이동기지국이 없는 경우, 가입자가 모두 중심섹터로 부터 서비스 받기 때문에 기지국 입장에서 가입자의 유실이 없다. 따라서 이동기지국이 사용된 경우에 비해 다중 사용자 다이버시티 이득이 있으며, 또한 간섭이 없기 때문에 CINR이 감소하지 않아 수율이 상대적으로 높다. 이동기지국이 사용된 경우에는 중심 섹터와 이동기지국이 서로 간섭으로 작용해 CINR이 감소하며 가입자가 분산 되어 수율이 3.3kbps 감소하였다.

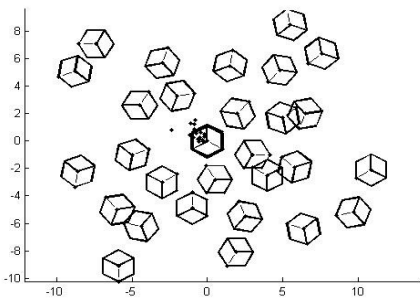




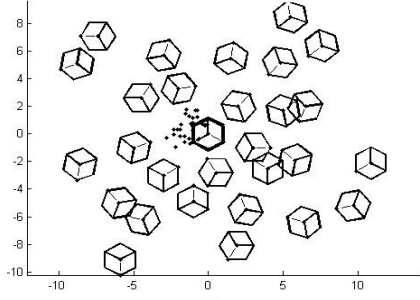
(d)



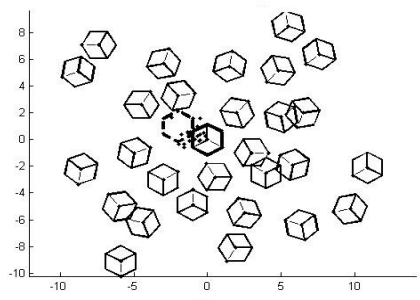
(h)



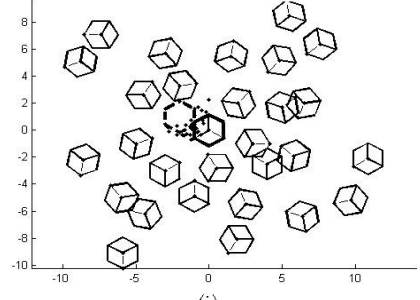
(e)



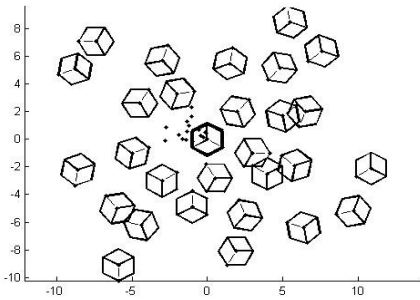
(i)



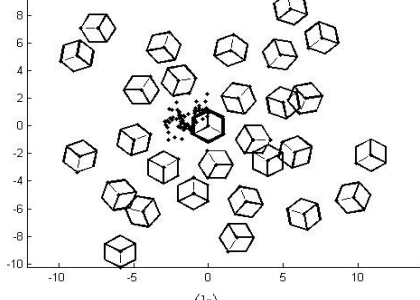
(f)



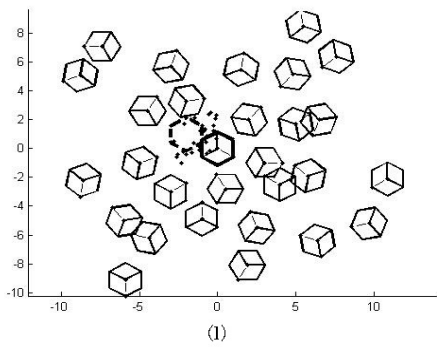
(j)



(g)



(k)



[Fig. 4] Distribution of MSs of various MCS levels with and without OTM BS
 (a)MCS level 10 w/o OTM BS (b)MCS level 10 w/ OTM BS (c)MCS level 8 w/o OTM BS (d)MCS level 8 w/ OTM BS (e)MCS level 6 w/o OTM BS (f)MCS level 6 w/ OTM BS (g)MCS level 4 w/o OTM BS (h)MCS level 4 w/ OTM BS (i)MCS level 2 w/o OTM BS (j)MCS level 2 w/ OTM BS (k)Outage w/o OTM BS (l)Outage w/ OTM BS

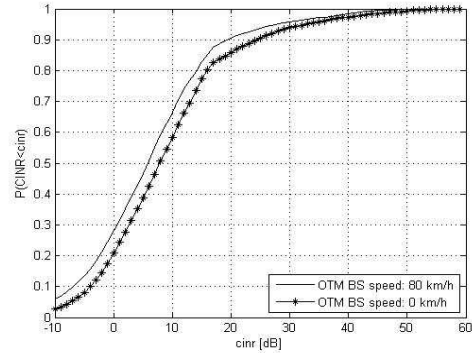
[Table 3] Throughputs Depending on With and Without Using OTM BS

Scenario	Target Sector	OTM BS Sector
w/o OTM BS	22.8 kbps	n/a
w/ OTM BS	19.5 kbps	33.5 kbps

3.2 이동기지국 이동속도에 따른 성능

본 절에서는 3.1절과 동일한 모의실험 환경에서 이동기지국의 이동속도가 가입자들에게 미치는 영향을 관찰한다. 본 모의실험에서 비교한 이동기지국의 이동속도는 각각 80km/h와 0km/h이며, 결과적인 CINR 분포곡선은 Fig. 5와 같다. 이동기지국이 정지한 경우에는 약 15dB 이상의 CINR을 갖는 경우가 전체의 23%인 반면 이동기지국이 80km/h로 이동하는 경우에는 18%로 결과적으로 5% 감소한다. 서비스불능 가입자들의 분포의 경우 정지 시 10%와 이동 시 15%로 결과적으로 5% 가량 증가하였다. 셀 전체적인 수율은 Table 4와 같으며 중심섹터의 수율은 0.3kbps 증가하였다. 이동기지국이 정지했을 때에 비해 이동시에는 가입자들에게 낮은 수신 전력을 제공하게 되고, 이동기지국으로부터 서비스를 받는 가입자의 수가 줄어든다. 따라서, 중심섹터 관점에서는 가입자의 유실이 줄어 다중사용자 다이버시티손실이 줄어든다. 이

동기지국 관점에서는 정지 시에 비해 80km/h의 속도로 이동했을 때 중심섹터와 다르게 수율이 11.4kbps 감소한다. 이는 이동기지국의 가입자 수가 줄고, 정지 시에 비해 낮은 수신 전력을 제공하기 때문인 것으로 분석된다.



[Fig. 5] CINR distribution for different moving speed of OTM BS.

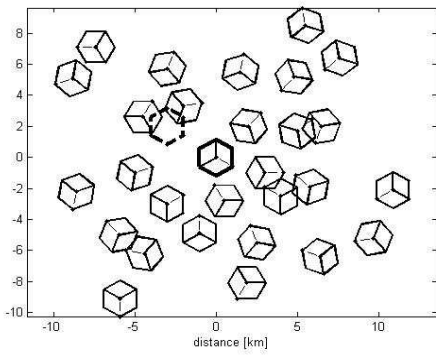
[Table 4] Throughputs Depending on Moving Speed of OTM BS

OTM BS Moving Speed	Target Sector	OTM BS Sector
0 km/h	19.5 kbps	33.5 kbps
80 km/h	19.8 kbps	21.9 kbps

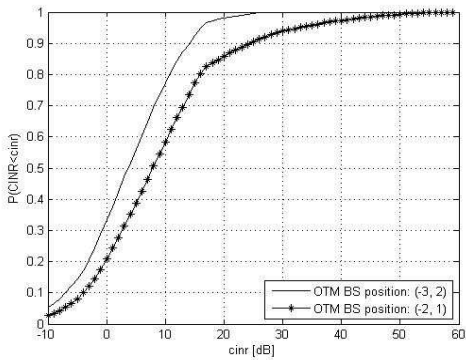
3.3 이동기지국의 위치에 따른 성능

본 절에서는 이동기지국의 위치에 따른 중심 섹터로부터 서비스 받던 가입자들에게 미치는 영향을 관찰한다. 본 모의실험에서 가정한 이동기지국의 위치는 (-2, 1)과 (-3, 2)이며 Fig. 6의 점선으로 표현된 위치가 (-3, 2)이다. 모의실험을 통해 얻은 CINR 분포곡선은 Fig. 7과 같다. 이동기지국이 (-2, 1)에 위치해 있을 때는 평균적으로 약 15dB 이상의 CINR이 전체의 25% 정도였던 것에 비해 이동기지국의 위치가 (-3, 1)로 이동함에 따라 10% 이하로 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 서비스불능을 겪는 가입자의 수도 약 5% 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이동기지국이 중심섹터로부터 멀어지게 되면 중심섹터로부터 서비스 받았던 가입자들은 상대적으로 간섭의 크기가 줄지만, 이동기지국으로부터 서비스 받게 되는 중심섹터의 가입자 역시 줄어들게 되어 이동기지국이 간섭으로 작용하는 가입자의 수가 많아진다. 또한, 이동기지국

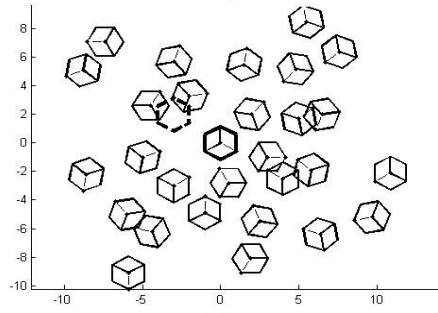
의 중심에 위치하여 큰 CINR 이득을 얻는 가입자 역시 줄어들게 되므로, 전체적으로 중심섹터의 가입자들은 이동기지국이 멀리 위치함에 따라 얻게 되는 CINR 이득이 줄어드는 것으로 분석된다. 이러한 경향을 Fig. 8에서 확인할 수 있다. MCS 레벨 10을 갖는 가입자는 없으며, MCS 레벨 8을 갖는 가입자 역시 이동기지국 측에는 없다. 또한 전반적으로 MCS 레벨 4이하의 가입자들이 이동기지국과 중심섹터에 다량 분포되어 있다. 셀 전체적인 수율은 다음의 Table 5와 같으며, 중심섹터의 수율은 이동기지국이 (-2, 1)에 위치한 경우에 비해 상대적으로 가입자의 유실이 적어 다중사용자 다이버시티를 얻게 됨에 따라 수율이 다소 증가하며, 이동기지국은 가입자의 수가 줄어들고 높은 CINR을 갖는 가입자의 수가 줄어들어 수율이 12.1kbps 감소하였다.



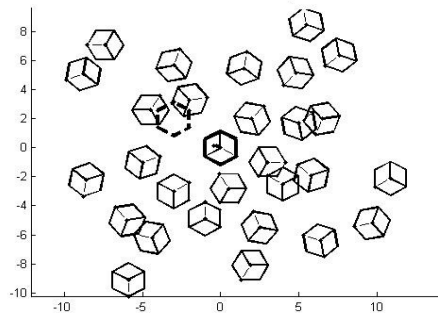
[Fig. 6] Location of OTM BS when it is far away from the target sector.



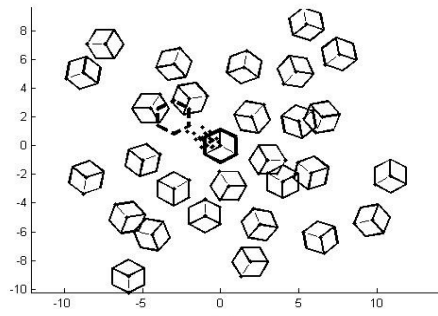
[Fig. 7] CINR distribution for different location of OTM BS



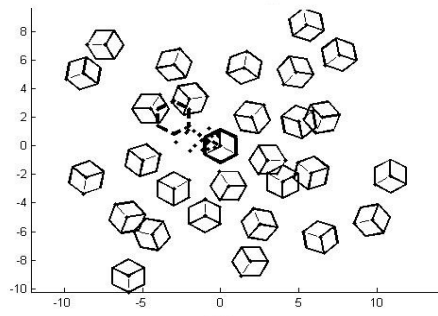
(a)



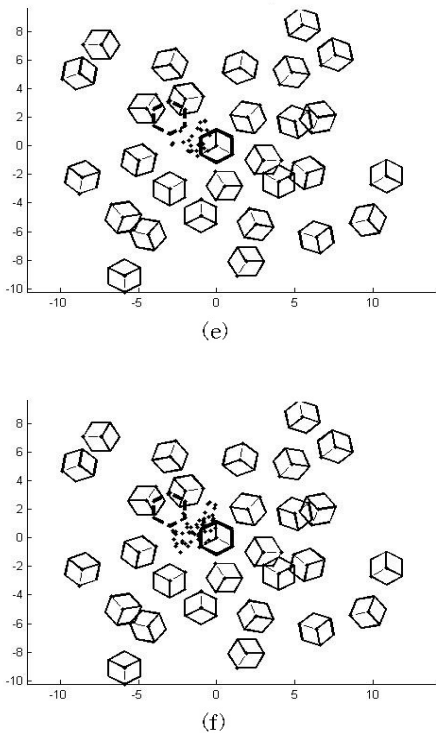
(b)



(c)



(d)



[Fig. 8] Distribution of MSs of various MCS levels for different locations of OTM BS
 (a)MCS level 10 (b)MCS level 8 (c)MCS level 6 (d)MCS level 4 (e)MCS level 2 (f)Outage

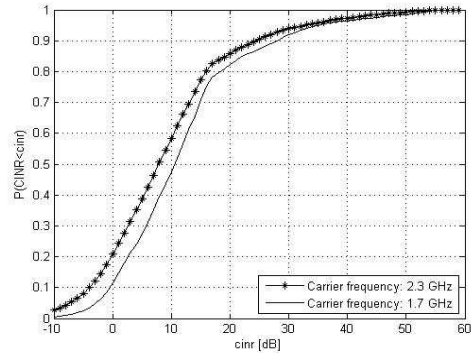
[Table 5] Throughputs Depending on Location of OTM BS

OTM BS Location	Target Sector	OTM BS Sector
(-2, 1)	19.5 kbps	33.5 kbps
(-3, 2)	20.9 kbps	21.4 kbps

3.4 반송파 주파수에 따른 성능

본 절에서는 Mobile WiMAX 시스템의 반송파 주파수에 따른 중심섹터 및 이동기지국의 성능 변화를 분석한다. 가정한 반송파 주파수는 2.3GHz와 1.7GHz이며 모의 실험 결과 얻은 CINR 분포곡선은 Fig. 9와 같다. 반송파 주파수가 낮아지면 경로손실이 줄어들기 때문에 CINR이 향상됨을 확인할 수 있다. 반송파 주파수 1.7GHz의 경우에는 15dB 이상 CINR을 갖는 경우가 전체의 약 30%였고, 반송파 주파수 2.3GHz의 경우에는 약 20%였다. CINR이 3.95dB 이하가 되어 서비스불능을 겪는 가입자

의 비율은 1.7GHz의 경우에는 0.5% 이하이지만, 2.3GHz의 경우에는 약 10% 임을 확인하였다. 셀 전체적인 수율은 다음의 Table 6과 같으며, 반송파 주파수 1.7GHz의 경우가 2.3GHz의 경우에 비해 중심섹터는 3.2kbps의 이득이 있었으며, 이동기지국은 1.1kbps의 이득이 있음을 확인할 수 있다.



[Fig. 9] CINR distribution for different carrier frequencies.

[Table 6] Throughputs Depending on Carrier Frequency of BSs

Carrier Frequency	Target Sector	OTM BS Sector
2.3 GHz	19.5 kbps	33.5 kbps
1.7 GHz	21.7 kbps	34.6 kbps

4. 결론

본 논문에서는 차세대 네트워크 중심전을 위한 TICN 환경에서 대용량 데이터전송 및 기동성을 확보하고 있어 무선통신 기술로 주목받고 있는 Mobile WiMAX 시스템을 도입했을 때 다양한 시나리오에 대한 시스템레벨 성능분석을 수행하였다. 일반적인 시스템레벨 모의실험과는 달리 무작위의 위치에 분포하는 고정기지국들을 가정하였으며, 한 개의 이동기지국의 사용여부, 이동기지국의 이동속도, 다양한 반송파주파수, 이동기지국의 위치에 대해 각각 모의실험을 통해 가입자 관전의 성능과 셀 전체적인 성능을 분석하였다.

References

- [1] TTAS.KO-06.0082/R1, "Specifications for 2.3GHz band portable internet service - physical layer and MAC layer," December 2005.
- [2] H. Lee and H. Jeong, "OFDM system level performance analysis method," J. KICS, vol. 24, no. 7, pp. 89-95, July 2007.
- [3] 3GPP TSG-RAN-1 Meeting #34, "Consideration on the system performance evaluation of HSDPA using OFDM modulation," (R1-030999), Oct. 6-10 2003.
- [4] S. Tiraspol'sky, A. Rubtsov, A. Maltsev, A. Davydov, "Mobile WiMAX-Deployment Scenarios Performance Analysis," *Proc. of ISWCS* 2006.

윤 주 희(Ju-Hee Yun)

[준회원]



- 2014년 2월 : 연세대학교 원주캠퍼스 학사 (정보통신공학)
- 2014년 2월 ~ 현재 : 연세대학교 원주캠퍼스 전산학과 석사 과정

<관심분야>

MIMO-OFDM 시스템, 오류정정기술

김 재 권(Jaekwon Kim)

[정회원]



- 1995년 8월 : 중앙대학교 전기공학과 학사
- 2000년 2월 : 중앙대학교 전기공학과 석사 (통신공학)
- 2004년 5월 : Ph.D, Dept. of ECE, The Univ. of Texas at Austin, Texas, USA
- 2004년 8월 ~ 2005년 8월 : 삼성 종합기술연구원 4G팀 전문연구원
- 2005년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 원주캠퍼스 컴퓨터정보통신공학부 조교수, 부교수

<관심분야>

MIMO-OFDM 시스템, UEP 무선 비디오 전송기술, 오류정정기술