

이종 네트워크에서 적응변조 사용시 주파수 공유에 따른 데이터 전송률 분석

*

Overall Cell Data Rates Analysis for Heterogenous Network Under Adaptive Modulation

Tae-Hoon Kwon*

요약 이종 네트워크 기술은 5G 핵심 기술 중 하나로, 하나의 셀을 여러 개의 소형셀로 나눠서 운영하는 기술이다. 하나의 셀을 여러 개의 셀로 나눠서 운영하는 것은 필연적으로 셀 경계 지역을 증가시키게 되기 때문에, 셀간 간섭의 영향이 더욱 커지게 된다. 이를 해결하기 위해서는 셀간 서로 다른 주파수를 할당하여 간섭을 원천적으로 봉쇄하는 것이 좋으나, 이 경우는 스펙트럼 효율이 떨어지게 된다. 따라서, 이종 네트워크의 장점을 최대화하기 위해서는 스펙트럼 공유시 스펙트럼 효율 증가로 인한 성능 이득과 간섭으로 인한 성능 손해를 상호 고려한 시스템 성능 분석이 우선되어야 한다. 또한, 적응 변조 기법은 채널 상황에 맞추어, 전송량을 조정하는 기법으로, 대부분의 상용 통신 시스템의 표준으로 채택되어 적용되고 있다. 따라서, 성능 분석을 실제 시스템에 적용하기 위해서는 적응 변조가 고려되어야 한다. 본 논문에서는 적응 변조 기법을 사용하는 이종 네트워크 시스템에서 주파수 공유에 따른 스펙트럼 효율과 간섭을 고려하여, 전체 시스템 데이터 전송률을 분석하였다. 분석 결과는 몬테카를로 모의 실험을 통해 정확성을 입증하였다.

Abstract A heterogenous network is the one of key technologies for 5G, where one cell is divided into small cells in order to extend coverage and support high data rates. Divided cells aggravates the intercell interference problem as the cell edge increases. In order to avoid the intercell interference, it is the best to allocate the different spectrum for each cells. However, it also decreases the spectral efficiency. Therefore, the trade-off between the spectral efficiency gain and the signal quality loss by the interference should be considered for an efficient spectrum sharing in the heterogenous network. The adaptive modulation is the method to change the transmitted bit according to the channel quality, which is adopted as the standard in the most practical communication systems. It should be considered to applied the performance analysis into the practical systems. In this paper, the overall cell data rates is analyzed for the heterogenous network under the adaptive modulation. The Monte Carlo simulation results verify the correctness of the analysis.

Key Words : adaptive modulation, frequency sharing, heterogenous network, interference, resource allocation

1.

5G 시대의 도래와 함께, 5G 기술의 핵심 기술중 하나인 이종 네트워크 기술에 대한 관심이 증가하고 있다. 5G 기술의 핵심 목표인 광대역폭 주파수를 활용한 초저전력,

초연결성, 20 Gbps 이상의 초고속 데이터 전송을 위해서는 하나의 대형기지국이 셀 전체를 담당하는 구조로는 원하는 성능을 만족시키기 어렵기 때문이다 [1]. 특히, 5G에서는 가용 주파수 대역 확보를 위해 고주파수 대역

This Paper was supported by Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI) in 2018.

*Data Analysis Platform Center, Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI)

Received August 13, 2018

Revised August 14, 2018

Accepted August 22, 2018

(6GHz) 이상을 사용할 것으로 예상되기 때문에, 신호감쇄로 인한 전파 도달 거리가 짧아져, 기존 통신 시스템보다 밀집된 많은 수의 기지국을 요구된다 [1].

이중 네트워크 (Heterogenous Network) 기술은 두 개 이상의 기지국을 혼용하여 하나의 셀을 여러개의 셀로 나눠서 운영하는 기술이다 [1][2].

일반적으로 소형셀은 작은 반경을 가지기 때문에, 신호 감쇄가 작으므로, 저전력으로 높은 품질의 신호 전송이 가능하며, 특정 지역에 쉽게 설치되어 운영이 가능하다 [2]. 따라서, 기존의 매크로 셀 내에 음영지역이나, 트래픽이 대량으로 발생하는 hot-spot 등을 중심으로 다수의 소형셀을 설치 운영하면, 단위 면적당 네트워크 용량을 증대시킬 수 있다 [1-7].

특히, 5G에서는 요구 성능 조건을 만족시키기 위해 기존 4G보다도 더 많은 소형셀을 밀집시킨 초밀집 네트워크(Ultra Dense Network, UDN)구조를 이용하려는 노력이 활발히 진행되고 있다 [1].

하지만, 매크로셀과 소형셀, 혹은 소형셀간에 주파수 효율을 위해 같은 주파수를 사용시 셀 경계 지역이 증가하기 때문에 셀 간 간섭이 증가할 수 밖에 없다 [1-8]. 특히, 소형셀은 셀 간 거리가 짧기 때문에 거리에 따른 간섭의 감쇄효과가 감소되어 셀 간섭의 영향을 더욱 크게 받게 된다 [1].

이를 해결하기 위한 직접적인 해결책은 이중 네트워크 안에서 셀간 서로 다른 주파수를 할당하여 셀간 간섭을 원천적으로 봉쇄하는 것이다 [2][6][7]. 하지만, 주파수 자원은 한정되어 있게 때문에, 매 셀마다 서로 다른 주파수를 할당하기가 쉽지 않다. 더구나, 전체 주파수 자원을 나눠서, 매크로셀과 각 소형셀에 배타적으로 할당할 경우, 하나의 셀에 할당되는 주파수 대역이 작아지게 된다. 데이터 전송률은 주파수 대역폭에 비례하기 때문에, 경우에 따라서는 전체 시스템의 성능이 열화될 수 있다. 따라서, 이중 네트워크의 장점을 최대화하기 위해서는, 주파수 공유에 따른 성능 분석이 우선되어야 한다 [2][3].

적응 변조 기법 (adaptive modulation, AM)은 채널 상황에 맞추어, 사전에 지정된 임계 성능을 만족시키는 최대의 변조차수를 사용하여 변조하는 기법이다 [2][8]. 이 적응 변조 기법은 비교적 적은 연산량으로 효율적으로 전체 네트워크의 스펙트럼 효율성을 향상시킬 수 있기 때

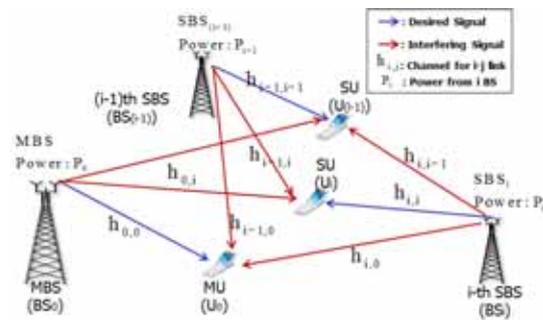
문에 WIFI, LTE를 비롯한 실제 상용 통신 시스템의 표준으로 채택되어 적용되고 있다 [2][8][9].

최근 저자는 1명의 매크로셀 유저와 1명의 스몰셀 유저만이 존재하는 제한적인 경우에 대해서 주파수 공유시 데이터 전송률에 대한 분석을 발표하였다 [2]. 하지만, 실제 시스템에서는 다수의 스몰셀이 존재할 수 있다. 이를 반영할 경우 간섭의 확률 분포가 달라져서 분석 자체가 달라지며 훨씬 복잡한 문제가 되지만, 실제 시스템에 활용을 위해서는 꼭 반영되어야 한다.

따라서, 본 논문에서는 다수의 스몰셀이 존재하는 이중 네트워크 구조에서 적응 변조 기법을 사용시 주파수 공유 상황에 따른 전체 시스템 데이터 전송률을 분석하였다.

2.

그림 1은 본 논문에서 고려하는 하향링크(downlink)의 이중 네트워크 셀구조를 도식적으로 보여준다. 기지국의 전송 파워가 단말에 비해서 매우 크기 때문에, 기지국에서 단말로 데이터를 전송하는 하향링크시 기지국에 의한 간섭을 주로 고려하였다.



1. Fig. 1. The downlink system model for hierarchical cell structure

한 기지국에서 한 서브밴드에는 한 유저만을 할당하는 것을 고려한다. 분할방식 각 기지국은 BS_i 로, 각 유저 단말은 U_i 로 표현한다. 매크로 기지국과 매크로 기지국에 접속된 유저 단말은 각각 BS_0, U_0 로 표현한다. 따라서, 각각의 스몰셀 기지국과 여기에 접속된 유저 단말은 $i \neq 0$ 인 BS_i, U_i 로 표현된다. 이 때 기지국 i 와 단말 j 의 무선 링크의 채널은 $h_{i,j}$ 로 표현한다. 각 링크의 신호

대 잡음비 (signal to noise ratio, SNR)는 평균값 $\overline{\gamma_{i,j}}$ 을 가지는 $\gamma_{i,j}$ 로 표현하며, 기지국 i 와 단말 j 간의 간섭까지 포함한 신호 대 간섭 잡음비 (signal to interference and noise ratio, SINR) 평균값 $\overline{\Gamma_{i,j}}$ 을 가지는 $\Gamma_{i,j}$ 로 표현한다.

채널은 직접파 등이 건물 등에 가려서 잘 도달하지 않고, 주로 반사파들이 여러 다중경로에 의해 수신측에 도달하여 생기는 Rayleigh 페이딩 채널을 가정한다. 또한, 적응 변조 기법 사용을 가정한다.

3.

3.1

(cumulative distribution function, CDF)

단말 j 가 기지국 i 에 접속해 있을 때, 신호 대 간섭 잡음비는 다음과 같이 표현 된다.

$$\Gamma_{i,j} = \frac{\gamma_{i,j}}{\overline{\Gamma_{i,j}} + 1} \quad (1)$$

여기서 $I_{i,j}$ 는 간섭의 영향을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$I_{i,j} = \sum_{t \neq i, t \in B_j} \gamma_{t,j} \quad (2)$$

여기서 B_j 는 단말 j 에 할당된 주파수를 공유하여 사용하는 기지국 인덱스 집합이다. 채널 계수들은 Rayleigh 페이딩 채널을 가정하여 모델링 하였으므로, 각 링크의 신호 대 잡음비 $\gamma_{i,j}$ 는 지수 확률 분포를 가지며, 확률 밀도 함수 (probability density function, PDF)는 $f_{\gamma_{i,j}}(\gamma) = 1/\overline{\gamma_{i,j}} \exp(-\gamma/\overline{\gamma_{i,j}})$ 로 표현된다 [10][12]. 독립적인 지수 확률 분포를 가지는 확률 변수의 합은 하이포지수분포(hypoexponential distribution)를 가지는 확률 변수로 모델링이 가능하다 [11]. 따라서, 다음과 같이 $I_{i,j}$ 의 확률밀도함수를 이를 이용하여 유도할 수 있다.

$$f_{I_{i,j}}(I_{i,j}) = \sum_{t \neq i, t \in B_j} \frac{\exp(-\frac{I_{i,j}}{\overline{\gamma_{t,j}}})}{\overline{\gamma_{t,j}}} \cdot \prod_{l \neq i, l \neq t, l \in B_j} \frac{\overline{\gamma_{t,j}}}{\overline{\gamma_{t,j}} - \overline{\gamma_{l,j}}} \quad (3)$$

$I_{i,j}$ 는 음의 값을 가질 수 없기 때문에, $\Gamma_{i,j}$ 의 누적분포함수는 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \Pr(\Gamma_{i,j} < \theta_m) \\ &= \int_0^\infty \Pr(\gamma_{i,j} < (I_{i,j} + 1)\theta_m | I_{i,j}) f_{I_{i,j}}(I_{i,j}) dI_{i,j} \\ &= \int_0^\infty (1 - \exp(-\frac{(I_{i,j} + 1)\theta_m}{\overline{\gamma_{i,j}}})) \\ & \quad \cdot \sum_{t \neq i, t \in B_j} \frac{\exp(-\frac{I_{i,j}}{\overline{\gamma_{t,j}}})}{\overline{\gamma_{t,j}}} \prod_{l \neq i, l \neq t, l \in B_j} \frac{\overline{\gamma_{t,j}}}{\overline{\gamma_{t,j}} - \overline{\gamma_{l,j}}} dI_{i,j} \\ &= \sum_{t \neq i, t \in B_j} \left(\prod_{l \neq i, l \neq t, l \in B_j} \frac{\overline{\gamma_{t,j}}}{\overline{\gamma_{t,j}} - \overline{\gamma_{l,j}}} \frac{1}{\overline{\gamma_{t,j}}} \right) \\ & \quad \cdot \int_0^\infty \exp(-\frac{I_{i,j}}{\overline{\gamma_{t,j}}}) (1 - \exp(-\frac{I_{i,j}\theta_m}{\overline{\gamma_{i,j}}})) dI_{i,j} \\ &= \sum_{t \neq i, t \in B_j} \left(\prod_{l \neq i, l \neq t, l \in B_j} \frac{\overline{\gamma_{t,j}}}{\overline{\gamma_{t,j}} - \overline{\gamma_{l,j}}} \left(1 - \frac{1}{\frac{\overline{\gamma_{t,j}}\theta_m}{\overline{\gamma_{i,j}}} + 1} \exp(-\frac{\theta_m}{\overline{\gamma_{i,j}}})\right) \right) \end{aligned} \quad (4)$$

따라서 (1)의 신호 대 간섭 잡음비가 특정 범위안에 들어올 확률은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \Pr(\theta_m \leq \Gamma_{i,j} < \theta_{m+1}) \\ &= \Pr(\Gamma_{i,j} < \theta_{m+1}) - \Pr(\Gamma_{i,j} < \theta_m) \\ &= \sum_{t \neq i, t \in B_j} \prod_{l \neq i, l \neq t, l \in B_j} \frac{\overline{\gamma_{t,j}}}{\overline{\gamma_{t,j}} - \overline{\gamma_{l,j}}} \\ & \quad \cdot \left(\frac{1}{\frac{\overline{\gamma_{t,j}}\theta_m}{\overline{\gamma_{i,j}}} + 1} \exp(-\frac{\theta_m}{\overline{\gamma_{i,j}}}) \right. \\ & \quad \left. - \frac{1}{\frac{\overline{\gamma_{t,j}}\theta_{m+1}}{\overline{\gamma_{i,j}}} + 1} \exp(-\frac{\theta_{m+1}}{\overline{\gamma_{i,j}}}) \right) \end{aligned} \quad (5)$$

3.2

적응 변조 기법은 채널 링크 상황에 맞춰 목표 비트 에러율을 만족시키도록 변조율을 적응적으로 변화시키는 기

법으로 채널 환경이 안 좋으면 낮은 차수의 변조를 하고, 채널 환경이 좋으면 높은 차수의 변조를 함으로서 데이터 전송률을 증대시키는 기법이다 [2][8]. 즉, 만약 채널의 링크 환경의 신호 대 간섭 잡음비 (signal to interference and noise ratio, SINR)가 특정 변조차수 선택 임계값 (switching threshold) θ_m 와 θ_{m+1} 의 사이에 존재하면, m번째 변조 모드가 선택된다. m번째 변조 모드 선택을 위한 임계값은 해당 변조 모드에서 주어진 비트 에러율 (bit error rate, BER)을 만족시키는 최소 신호 대 간섭 잡음 비 값을 선택한다. 직교 진폭 변조(quadrature amplitude modulation, QAM)에 대한 변조 차수 2^k 에 대한 임계값은 신호대 잡음비에 대한 직교 진폭 변조의 비트 에러율 성능식을 역으로 비트 에러율에 대한 신호 대 간섭 잡음비에 대한 식으로 유도하여 정리하면 다음과 같이 구할 수 있다 [8][12].

$$\theta_m = \begin{cases} 0.5(Q^{-1}(E_B))^2, k=1 \\ (Q^{-1}(E_B))^2, k=2 \\ \frac{2^k-1}{3}(Q^{-1}(kE_B))^2, 3 \leq k \leq K_{MAX} \end{cases} \quad (6)$$

여기서 $2^{K_{MAX}}$ 는 사전에 설정된 최대 변조 차수이며, E_B 는 시스템의 목표 비트 에러율이다. 또한, $Q^{-1}(\cdot)$ 의 Q함수의 역함수로서 Q함수는 다음과 같이 정의된다 [12].

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt \quad (7)$$

적용 변조 모드를 사용시 기지국 i와 단말 j 사이의 평균 전송 데이터 비트수는 기지국 i에 단말 j가 접속해 있을 때만 의미를 가지므로 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$R_{i,j} = \begin{cases} \sum_{m=0}^{M_{Max}} k_m \Pr(\theta_m \leq \Gamma_{i,j} < \theta_{m+1}), & \text{if } j \in A_i \\ 0, & \text{if } j \notin A_i \end{cases} \quad (8)$$

여기서 A_i 은 기지국 i에 접속해 있는 단말 인덱스 집합을 의미하며, k_m 은 m번째 차수의 변조 선택으로 전송되는 비트수를, $\Pr(\theta_m \leq \Gamma_{i,j} < \theta_{m+1})$ 은 기지국 i와 단말 j사이의 신호대 간섭 잡음비가 m번째 차수의 변조 선택을 위한 임계값사이에 있을 확률을 의미한다.

3.3

계층적 셀구조내에 전체 N_U 개의 단말들이 존재할 경우, 전체 N_U 개의 단말 중 n개의 단말이 특정 주파수 대역 f를 공유할 경우의 수 T_n^f 는 다음과 같이 표현된다.

$$T_n^f = {}_{N_U}C_n = \frac{N_U!}{(N_U-n)!n!} \quad (9)$$

이 ${}_{N_U}C_n$ 개의 경우 중 q번째 경우를 Case (n,q)로 정의하고, Case (n,q)에서 동일한 주파수를 사용하는 단말 인덱스 집합을 Φ_n^q 라 정의한다. 예를 들어 $N=3$, $n=2$ 일 경우, $T_2^f = 3$ 에 대한 단말 인덱스 집합은 단말 0과 1이 같은 주파수를 사용하는 Case(2,1)에 대한 단말 인덱스 집합 $\Phi_2^1=(0,1)$, 단말 0과 2가 같은 주파수를 사용하는 Case(2,2)에 대한 단말 인덱스 집합 $\Phi_2^2=(0,2)$, 단말 1과 2가 같은 주파수를 사용하는 Case(2,3)에 대한 단말 인덱스 집합 $\Phi_2^3=(1,2)$ 로 정의한다.

이 경우 Case(n,q)에 대한 전체 시스템 데이터 평균 전송률은 다음과 같이 유도할 수 있다. 즉, n개의 단말이 공유하여 사용할 경우의 특정 서브 밴드 f에 대한 시스템 데이터 전송량은 다음과 같다.

$$R_f(n,q) = \sum_{i=0}^{N_B-1} \sum_{j \in \Phi_n^q} R_{i,j} \quad (10)$$

여기서 N_B 는 전체 기지국수를 의미한다. $R_{i,j}$ 는 식 (2)에 정의되어 있는 기지국 i와 단말 j사이의 전송 데이터 전송률을 의미한다.

따라서, n개의 단말이 공유하여 사용할 경우, 전체 시스템 데이터 전송률은 다음과 같다.

$$R \quad (11)$$

N_F 는 시스템에 할당된 전체 서브밴드를 의미한다.

4.

분석 결과의 정확도를 검증하기 위해 몬테카를로 실험을 수행하였다. 중앙에 위치하는 1개의 매크로 셀에 대해서 매크로 셀 반경내에서 임의의 위치에 소형셀을 생성하

였다. 매크로 유저는 매크로 반경내에서, 소형셀 유저는 소형셀 기지국을 중심으로 소형셀 반경내에서 임의로 생성하였다. 소형셀이 4개, 5개, 6개 존재하는 각각의 경우에 대해 분석과 몬테카를로 실험을 통해 측정된 데이터 전송률을 비교하였다. 실험에 사용된 환경 변수들은 표 2에 정리하였다.

2.

Table 2. The simulation parameters

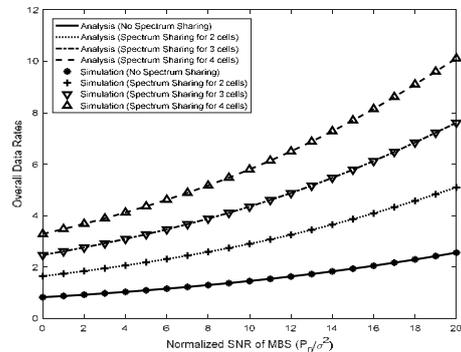
Parameters	Values
Channel Model	Rayleigh
Pathloss Exponent (PL)	1, 4
Target BER	0.001
Power of MBS	1
Power of SBS	0.5
Radius of Macrocell	10
Radius of Smallcell	2
Modulation for Adaptive Modulation Mode	0:No Tx., 1:BPSK, 2:QPSK, 3:16QAM, 4:64QAM

모든 결과에서 볼 수 있듯이 분석과 실험 결과가 정확히 일치함을 확인할 수 있다. 그림 3, 그림 4, 그림5의 실험 결과에서는 주파수를 공유하는 셀이 증가할수록, 전체 시스템 데이터 전송률이 증가함을 알 수 있다. 이는 신호 감쇄지수(Pathloss Exponent, PL)가 4일 경우는 인근 셀의 간섭 신호가 거리에 따라 빠르게 감소하므로, 실제 영향을 크게 주지 않기 때문이다. 따라서, 주파수 자원이 공유될수록 전체 데이터 전송률이 커지게 된다. 하지만, 그림 6, 그림 7, 그림 8에서 볼 수 있듯이 신호감쇄지수(Pathloss Exponent, PL)가 1일 경우 신호 대 잡음비가 높은 영역에서는 주파수 자원이 공유될수록 전체 데이터 전송률이 오히려 떨어지게 된다. 이는 거리에 따른 신호 감쇄율이 크지 않으므로 인근 셀의 간섭 신호가 크게 영향을 미치기 때문이다. PL이 1인 경우라도 신호 대 잡음비가 낮은 영역에서는 주파수 자원이 공유될수록 전체 데이터 전송률이 높은 경향을 보이는데, 이는 이 영역에서는 상대적으로 노이즈의 영향이 크므로, 간섭이 성능에 미치는 효과가 작게 나타나기 때문이다.

이는 Shanon의 정보이론식으로부터 쉽게 유도 가능한 낮은 신호 대 간섭 잡음비(간섭의 영향이 클 경우)에서는 간섭의 영향을 줄이기 위해 서로 다른 주파수 자원을

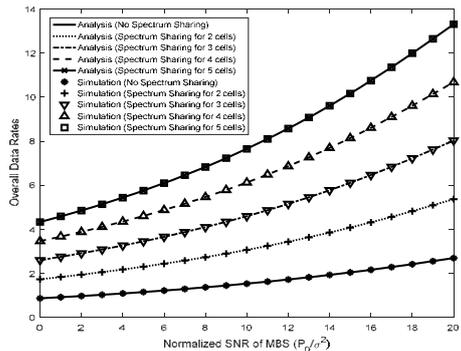
할당하는게 좋으며, 높은 신호 대 간섭 잡음비(간섭의 영향이 작을 경우)에서는 주파수 자원을 공유하는게 좋다는 결과와 유사하다[13].

일반적으로, 신호감쇄지수는 환경에 따라 다르다 [14]. 따라서, 본 논문의 분석식을 이용하면, 환경에 따른 가장 적합한 주파수 공유 시나리오를 추정할 수 있다. 본 실험에서는 대표적으로 신호 감쇄 지수와 정규화된 신호 대 잡음비에 대해서만 결과를 분석했으나, 유도된 분석식을 이용하면, 다른 변수들에 대해서도 최적의 주파수 공유 시나리오를 추정할 수 있을 것으로 예상된다.



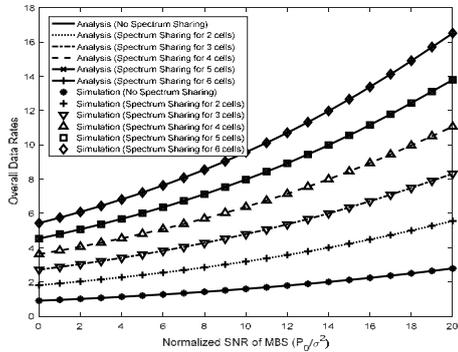
3. 1 3 (PL: 4)

Fig. 3. The overall data rates with respect to the normalized SNR of MBS for 1 macrocell and 3 smallcells (PL: 4)



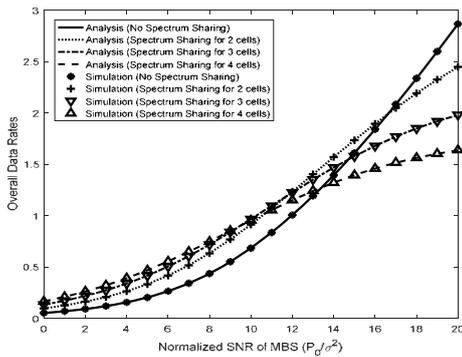
4. 1 4 (PL: 4)

Fig. 4. The overall data rates with respect to the normalized SNR of MBS for 1 macrocell and 4 smallcells (PL: 4)



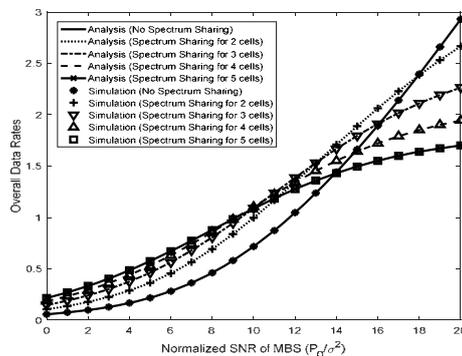
5. 1 5
(PL: 4)

Fig. 5. The overall data rates with respect to the normalized SNR of MBS for 1 macrocell and 5 smallcells (PL: 4)



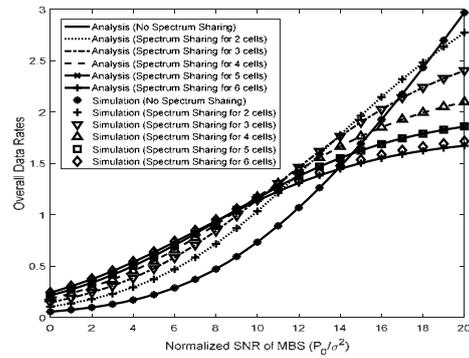
6. 1 3
(PL: 1)

Fig. 6. The overall data rates with respect to the normalized SNR of MBS for 1 macrocell and 3 smallcells (PL: 1)



7. 1 4
(PL: 1)

Fig. 7. The overall data rates with respect to the normalized SNR of MBS for 1 macrocell and 3 smallcells (PL: 1)



8. 1 5
(PL: 1)

Fig. 8. The overall data rates with respect to the normalized SNR of MBS for 1 macrocell and 5 smallcells (PL: 1)

5.

본 논문에서는 이중 네트워크 시스템에서 적응변조 사용 시 주파수 공유에 따른 데이터 전송률을 분석하기 위한 방법을 제시하였다. 우선, 이중 네트워크에서 다수의 셀이 존재하는 경우의 간섭을 고려하여 신호 대 간섭 잡음비의 확률 누적 분포 함수를 유도하였다. 다음으로는, 적응형 변조 방식을 고려하여 각 주파수 공유 상황에 따른 전체 시스템 데이터 전송률을 유도하였다. 몬테카를로 모의실험을 통해 분석의 정확성을 입증하였다. 실험결과를 통해, 간섭의 영향이 작을수록 주파수 공유를 하는 것이 전체 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 본 논문의 분석을 이용하면, 적응 변조를 사용하는 이중 네트워크 시스템의 데이터 전송률을 최대로 할 수 있는 주파수 공유 시나리오를 예측할 수 있다.

REFERENCES

[1] Hyegyong Jwa, Seunghyeon Kim, Jihyeon Na, "The Technical Trends for Intercell Interference

- Control including Small Cells”, Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 31, No. 5, pp.51-58, 2016
- [2] Taehoon Kwon, Song Hee Lee, Joon Woo Lee, “Efficient Spectrum Allocation to Maximize Overall System Throughput for Hierarchical Cell Structure”, Proceedings of the International Conference on Electronic, Information, and Communication (ICEIC) 2016, Jan. 27-30 2016
- [3] Hanho Wang, Yu Takki, Daesik Hong, “The Transmission Capacity of Smallcell and HetNet”, The journal of Korea Institute of Electronics Engineers, Vol. 41, No. 12, pp. 1093-1101, 2014
- [4] Vikram Chandrasekhar and Jeffrey G. Andrews, “Femtocell Networks : A Survey”, IEEE Communications Magazine, Vol. 46, pp. 59-67, 2008
- [5] Taehoon Kwon, Sungmook Lim, Youngju Kim, Daesik Hong, “Interference Management Schemes for Femtocell”, Korean Communication Society Journal (2009), Vol. 26, No. 11, pp. 36-43, 2009
- [6] Sungmook Lim, Taehoon Kwon, Daesik Hong, “Interference Mitigation and Avoidance Schemes for Femtocell”, Korean Communication Society Journal, Vol. 25, No. 12, pp. 41-48, 2008
- [7] Taehoon Kwon, Songhee Lee, Joonwoo Lee, “Power Allocation to Guarantee Tolerable Outage Probability of Macro-cell Mobile Station for Small-cell Base Station”, Proceedings of the 2015 Fall Conference of the Korea Information Processing Society (KIPS), October 30-31 2015
- [8] Bumsoo Lee, Dohoon Kim, and Chungyong Lee, “Performance Analysis of Adaptive Modulation Based Incremental Hop Selection Scheme for Multi-Hop Networks”, Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea Vol. 50, NO. 11, 2013
- [9] Kyuhee Lee, Jaekwon Kim, Sangkyun Yun, “A n MCS Level Adaptive Linear Receiver”, The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology”, Vol. 2, No. 1, pp.59-64, 2009.
- [10] Taehoon Kwon, Sungmook Lim, Sooyong Choi and Daesik Hong, “Optimal Duplex Mode for DF Relay in Terms of The Outage Probability”, IEEE Transactions On Vehicular Technology, Vol.59 ,Issue.7, Sept. 2010
- [11] Khaled Smaili, Therrar Kadri, Seifedine Kadry, “Hypoexponential Distribution with Different Parameters”, Applied Mathematics, Vol. 4, No. 4, pp. 624-631, 2013
- [12] John G. Proakis, Digital communications. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [13] Taehoon Kwon, Hyungjoon Song, Jaemin Lee, Youngju Kim, Jonghyuk Lee, “A Power Division Reuse Partitioning Scheme with Half Frequency Reuse Factor for OFDMA Downlink Systems”, Proceedings of the International Conference on Communications (ICC) 2008, May. 19-23 2008.
- [14] In-ho Yeo, Hyo Sik Yang, JongMyung Rhee, “Impacts of Radio Propagation Model on Mobile Ad-hoc Network (MANET) Performance in Group Mobility Environments”, The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, Vol. 3, No. 3, pp.62-72, 2010.

(Tae-Hoon Kwon)

[]



- 2004 2 :
()
- 2006 2 :
()
- 2010 8 :
()
- 2010 9 2013 7 :
- 2013 8 :

< >

NOMA, Full Duplex, Two-way Relay