

## 차세대 네트워크에서 모바일 액세스 계층의 성능 평가

노재성\*, 문일영\*\*

### 요약

본 논문에서는 레일리 페이딩 채널에서 다중접속 간섭의 제거와 시스템 채널 용량의 증가를 위해 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 모바일 액세스 계층에 대한 성능을 평가하였다. 전통적으로 무선통신에서 다중경로는 불필요한 요소로 여겨졌다. 따라서 다이버시티와 적응 어레이 방식이 다중경로를 제거하기 위하여 제안되었다. 최근에는 스펙트럼 효율과 링크의 신뢰도를 증가하기 위하여 다중경로를 이용하는 MIMO 방식이 제안되었다. 특히, MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널 용량이  $E_b/N_0$ ,  $M_c$ ,  $\rho$ 에 따라서 평가되었다. 결과로부터 채널용량을 개선하기 위해서는 신호의 요소들은 서로 무상관이어야 하며 만약 부적당한 공간과 상호 결합 효과에 의하여 경로 사이가 상관이 이루어지면 MIMO-MC/CDMA 16 QAM 시스템의 채널 용량은 상당히 감소하게 된다.

## Performance Evaluation of Mobile Access Layer in Next Generation Network

Jae-Sung Roh\*, Il-Young Moon\*\*

### Abstract

In this paper, performance evaluation of mobile access layer for multiple-input multiple-output (MIMO) MultiCarrier(MC)/CDMA 16 QAM system is considered to mitigate multiple access interference and enhance system channel capacity in Rayleigh wireless fading channel. Traditionally, multi-path is viewed as an undesirable feature of wireless communications. Therefore, diversity and adaptive array schemes are proposed to mitigate its effects. Recently, to increase the spectrum efficiency and the link reliability, MIMO scheme is devised to exploit multi-path in a scattering wireless channel. In particular, the channel capacity of MIMO-MC/CDMA 16 QAM system is evaluated according to  $E_b/N_0$ ,  $M_c$ ,  $\rho$ . From the results, in order to improve the channel capacity, the signals at various elements must be uncorrelated. And if the paths are correlated due to inappropriate spacing or mutual coupling effects, the channel capacity of MIMO-MC/CDMA 16 QAM system becomes substantially smaller.

Key words : MIMO, MC/CDMA, 16QAM 시스템, 레일리 페이딩, 채널용량

### 1. 서론

차세대 통합 네트워크는 유/무선 통신이 방송과 융합된 복합서비스를 멀티미디어 통신단말기와 정보가전 기반의 디지털 홈 네트워크 등 다양한 환경에서 언제 어디서나 안전하고 일관성 있게 이용할 수 있는 통합된 형태의 네트워크라고 정의할 수 있다[1],[2].

차세대 네트워크는 통합 구조(Convergence)로 유선 네트워크 및 무선 네트워크에서 All-IP 등의 통합기술을 이용하여 음성과 데이터가 공존하는 패킷 네트워크로 발전하고, 유/무선 패킷 네트워크 기반의 단일 통신 구조로 진화하여 유/무선 통합 서비스가 실현되면 다른

사업자의 자원 및 가입자 정보 등을 공유하는 통합 네트워크 관리가 가능하게 된다.

차세대 네트워크의 품질보장은 다양한 QoS 및 트래픽 제어가 요구되는 음성, 데이터, 멀티미디어 서비스를 지원하기 위하여 MPLS 등 품질보장형 패킷 전달기술을 적용하여 이 기종 통신 네트워크사이의 상이한 QoS 제어정보의 변환 및 복구능력에 대해 연동함으로써 가능하게 된다 [3],[4].

개방형 구조는 각 네트워크 요소 및 애플리케이션의 인터페이스를 표준화하여 활발한 신규서비스 창출 및 새로운 사업자의 활성화를 유도할 수 있으며, 보안(Security)는 복합 보안 구조 및 보안 프로토콜을 통하여 네트워크 보안 및 사용자의 개인정보(Primacy) 보호가 가능하며, 인터넷 주소자원(Ipv6)을 적용하여 정보가

\* 제1저자(First Author) : 노재성

접수일 : 2005년 4월 3일, 완료일 : 2004년 4월 22일

\* 서울대학 정보통신전공 조교수

jsroh@seoil.ac.kr

\*\* 한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부 전임강사

\* 본 연구는 서울대학의 연구비로 수행되었음.

전, 이동 단말 등 모든 단말에 주소를 부여할 수 있는 Ipv6 인터넷 주소체계를 가지게 된다. 그림 1은 이러한 차세대 통신 네트워크의 주요 계층별 구성도를 나타낸다.

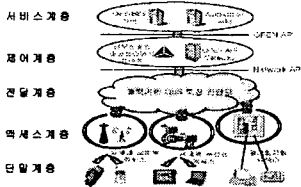


그림 1. 차세대 통신 네트워크의 계층별 구성도

차세대 네트워크는 유·무선 인터넷과 WLAN을 대상으로 IP를 기반으로 통합되어야 하며 네트워크 서비스의 공급이 활성화 될 수 있도록 모듈화된 구조를 갖추어야 한다. 그리고 차세대 통합 네트워크의 QoS는 서비스 특성별로 차별화하여 제공되어야 한다. 그림 2에서는 차세대 통신 네트워크의 서비스 예를 제시하고 있다.

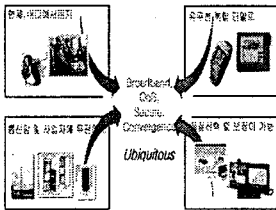


그림 2. 차세대 통신 네트워크의 서비스

본 연구에서는 국내외 차세대 네트워크의 서비스 현황과 기술 개발방안 및 표준화의 분석을 위한 차세대 네트워크에서 핵심 부분인 모바일 액세스 계층의 시스템 모델 제시 및 성능 평가를 수행한다.

## 2. 모바일 액세스계층의 채널 및 시스템 모델

언제, 어디서든 고속으로 인터넷을 자유롭게 사용하고자 하는 수요는 빠르게 증가하고 있으며, 이에 따라 향후 이동 통신 사업자들은 다양한 형태의 도전에 직면해 있다. 이미 여러 종류의 차세대 이동/무선 네트워크들이 시범 전개 단계에 있다. 특히 IP기반의 이동/무선 네트워크들은 보다 다양하고 향상된 서비스들을 제공할 수 있을 것으로 기대되고 있다 [5]-[7].

본 논문에서는 4세대라고 불리는 차세대 모바일 네트워크의 액세스 계층을 소개하고, 성공적인 4G 네트워크의 모바일 액세스 계층의 구현을 위해 필수적인 서비스 품질에 대한 문제를 해결하기 위한 방안으로 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 MIMO-MC/CDMA 시스템 모델을 제시하고 이의 성능 평가를 수행하고자 한다.

그림 3은 MIMO 무선 채널 및 시스템 모델을 나타내고 있다.

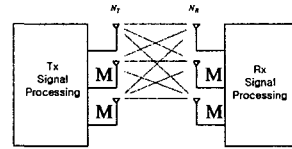


그림 3. MIMO 무선 채널 및 시스템 모델

### 2.1 무선 페이딩 채널 모델

수신된 신호가 직접적인 LOS 성분이 포함되지 않고 다중 경로 성분만으로 구성된 경우, 수신된 신호의 진폭은 레일리 분포를 한다. 수신된 신호의 진폭을  $r$ 이라고 할 경우, 레일리 분포의 확률 밀도 함수는 다음과 같다 [8]-[10].

$$p_A(r) = 2r e^{-r^2} \quad (1)$$

여기서  $r$ 은 수신된 신호의 순시 진폭이다.

만약, 수신된 신호가 다중 경로 성분과 직접적인 Line-Of-Sight (LOS) 성분으로 구성된 경우, 다중 경로 성분과 LOS 성분이 합쳐진 신호의 진폭은 라이시안 분포를 한다. 수신된 신호의 진폭을  $r$ 이라고 할 경우 라이시안 분포의 확률 밀도 함수는 다음과 같다.

$$p_B(r) = 2r(1+K_R) e^{-(K_R+r^2(1+K_R))} \cdot I_0(2r\sqrt{K_R(K_R+1)}) \quad (2)$$

여기서  $K_R$ 은 라이시안 페이딩 파라미터로서 직접 성분 대 산란된 다중 경로 성분의 전력비를 나타낸다. 레일리 및 라이시안 분포의 확률 밀도 함수를 그래프로 나타내면 그림 4와 같다. 그림 4에서  $K_R$ 의 값이 증가함에 따라서 가우스 잡음의 확률 밀도 함수로 접근하고,  $K_R=0$ 인 경우는 직접파 신호 성분이 존재하지 않는 레일리 분포를 의미한다.

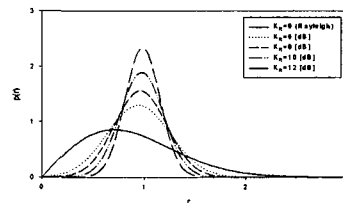


그림 4. 레일리 및 라이시안 분포의 확률밀도함수

2.2 MIMO 시스템의 채널 용량

MIMO 채널을 대상으로 하는 시스템의 채널 용량을 lower bound로 나타내면 다음과 같다.

$$C_{N_T N_R} > \sum_{k=N_T-N_R+1}^{N_T} \log_2 \left( 1 + \frac{\gamma}{N_T} \cdot \chi_{2k}^2 \right) \quad (3)$$

$$N_T \geq N_R$$

여기서  $\chi_{2k}^2$ 는  $2k$ 의 자유도를 가지는 chi-square 변수,  $\gamma$ 는 수신단에서의 신호전력 대 잡음 전력비, 그리고  $N_T$ 와  $N_R$ 는 각각 송신 안테나와 수신 안테나의 수이다. 위 식에서  $N_T=N_R$ 이고  $N_T$ 나  $N_R$ 이 큰 경우에는 용량 공식의 lower bound는 다음과 같이 근사화되며 신호전력 대 잡음 전력비  $\gamma$ 가 증가함에 따라서 채널용량 또한 증가함을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} C_{N_T N_T} &= C_{N_R N_R} \\ &> N_T \left[ \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right) \log_2(1 + \gamma) - \log_2 e \right] \\ &= N_R \left[ \left( 1 + \frac{1}{\gamma} \right) \log_2(1 + \gamma) - \log_2 e \right] \end{aligned} \quad (4)$$

또한  $N_T=N_R$ 이고  $H=I_{N_T}$ 인 병렬전송인 경우의 채널 용량은 위 식 (4)를 변형하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$C_{N_T N_R} = N_T \log_2 \left( 1 + \frac{\gamma}{N_T} \right) \quad (5)$$

그리고 2개의 수신된 채널 사이에 상관  $\rho$ 가 존재하게 된다면 채널 용량의 수식은 다음과 같이 얻어진다.

$$\begin{aligned} C_{N_R N_R} &= N_T \log_2 \left( 1 + \frac{\gamma(1-\rho)}{N_T} \right) \\ &+ N_T \log_2 \left( 1 + \frac{\gamma N_T \rho}{N_T + \gamma(1-\rho)} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

2.3 Multi-Carrier CDMA

그림 5는 일반적인 Multi-Carrier CDMA 시스템의 송신기 구조를 나타낸다. m번째 사용자의 k번째 정보 심볼은  $M_c$ 번 복사되고 각각의 PN 부호( $C_m(M_c-1)$ )와 곱해진 후 변조된다. 모든 Multi-Carrier 변조된 신호는 합쳐진 후 증폭기를 거쳐서 안테나로 전달되며 무선 공간으로 방사된다.

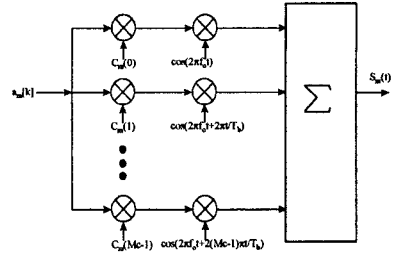


그림 5. Multi-Carrier CDMA 시스템의 송신기 구조

그림에서  $a_m[k]$ 는 송신단에 입력되는 데이터 열을, m은 사용자를, k는 입력 데이터 심볼의 순서를 나타내며 전송되는 m번째 사용자의 k번째 Multi-Carrier CDMA 신호는 다음과 같다.

$$s_m(t) = \sum_{k=0}^{M_c-1} a_m(k) C_m(k) e^{j2\pi(f_0 + k/T_s)t} \quad (7)$$

여기서  $f_0$ 는 반송파 주파수를 나타내며 시스템의 최대 용량에 해당되는  $M_c$ 명의 사용자가 동시에 사용할 경우 전송되는 Multi-Carrier CDMA 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} S(t) &= \sum_{m=0}^{M_c-1} s_m(t) \\ &= \sum_{m=0}^{M_c-1} \sum_{k=0}^{M_c-1} a_m[k] C_m(k) e^{j2\pi(f_0 + k/T_s)t} \end{aligned} \quad (8)$$

MC/CDMA를 적용한 시스템에서 등가 신호 대 전계 잡음 전력비  $\gamma_{eq}$ 는 다음과 같다.

$$\gamma_{eq} = \frac{1}{\frac{U-1}{2M_c^2 \pi^2} \left\{ \left[ \sum_{n=1}^{M_c} \sum_{i=1}^{M_c} \frac{3n^2 + i^2}{(n^2 - i^2)^2} \right] + \frac{2\pi^2}{3} \right\} + \frac{N_0}{2E_b}} \quad (9)$$

여기서  $E_b$ 는 하나의 심볼 구간  $T_s$  동안에 전송되는 신호의 에너지이고,  $U$ 는 다중 사용자의 수,  $M_c$ 는 Multi-Carrier의 수이다.

3. MIMO-MC/CDMA 네트워크에서 모바일 액세스 계층의 채널 용량 분석

레이리 페이딩 채널에서 MIMO-MC/CDMA 시스템의 채널 용량은 다음과 같이 AWGN 채널에서의 채널 용량식과 레이리 페이딩 채널의 확률밀도함수를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \overline{C_{N_T N_R}(\rho)} &= \int_0^\infty C_{N_T N_R}(\rho) \cdot p(\gamma, m_f, \gamma_{eq}) d\gamma \\ &= \int_0^\infty \left[ N_T \log_2 \left( 1 + \frac{\gamma}{N_T} (1-\rho) \right) \right. \\ &\quad \left. + N_T \log_2 \left( 1 + \frac{\gamma N_T \rho}{N_T + \gamma(1-\rho)} \right) \right] \\ &\quad \cdot \frac{1}{\gamma_{eq}} \exp\left(-\frac{\gamma}{\gamma_{eq}}\right) d\gamma \end{aligned} \quad (10)$$

여기서,  $\rho$ 는 2개의 수신된 채널 사이에 상관계수를 나타낸다. 식 (10)을 이용하여 MIMO- MC/CDMA 시스템의 채널 용량을 결과 그림으로 나타내었다.

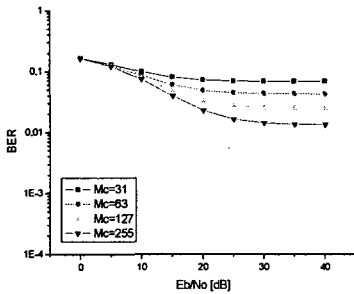


그림 6. 레일리 페이딩 채널에서 MIMO- MC/CDMA 16QAM 시스템의 BER 성능(다중접속 사용자의 수는 10명)

그림 6은 레일리 페이딩 무선 채널에서 MIMO- MC/CDMA 16QAM 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 10명이고 신호 전력 대 잡음 전력비와 다중 반송파의 변화에 따른 성능 변화를 보여준다. 다중 반송파의 수가 31에서 255까지 증가함에 따라서 BER 성능은 0.1에서 0.01로 10배 만큼 개선됨을 알 수 있다. 그리고 신호 전력 대 잡음 전력비가 큰 경우인 약 25 dB 이상에서는 BER의 변화는 무시할 정도로 적어짐을 확인할 수 있다.

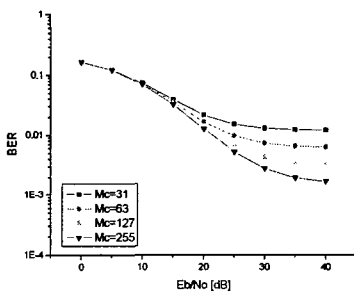


그림 7. 레일리 페이딩 채널에서 MIMO- MC/CDMA 16QAM 시스템의 BER 성능(다중접속 사용자의 수 2명)

그림 7은 레일리 페이딩 무선 채널에서 MIMO- MC/CDMA 16QAM 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 2명이고 신호 전력 대 잡음 전

력비와 다중 반송파의 변화에 따른 성능 변화를 보여 준다. 그림 1과 비교하여 다중접속 사용자의 수가 감소함에 따라서 간섭의 양이 줄어들고 BER 성능은 개선됨을 확인할 수 있다. 다중 반송파의 수가 31에서 255까지 증가함에 따라서 BER 성능은 약 0.01에서 약 0.001로 10배 만큼 개선됨을 알 수 있다. 그리고 신호 전력 대 잡음 전력비가 큰 경우인 약 30 dB 이상에서는 BER의 변화는 무시할 정도로 적어짐을 확인할 수 있다.

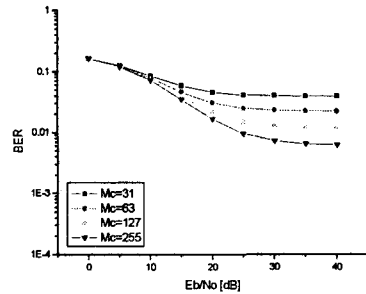


그림 8. 레일리 페이딩 채널에서 MIMO- MC/CDMA 16QAM 시스템의 BER 성능(다중접속 사용자의 수 5명)

그림 8은 레일리 페이딩 무선 채널에서 MIMO- MC/CDMA 16QAM 시스템의 BER 성능을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 5명이고 신호 전력 대 잡음 전력비와 다중 반송파의 변화에 따른 성능 변화를 보여 준다. 그림 1, 그림 2와 비교하여 다중접속 사용자의 수는 중간정도인 환경이다. 결과 BER의 분포도 동일한 파라미터인 경우에 그림 6과 그림 7사이에 존재함을 알 수 있다.

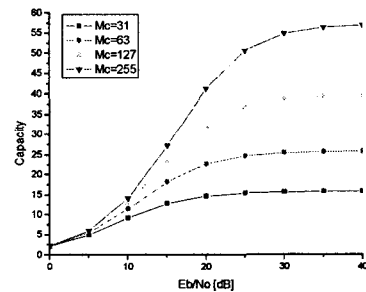


그림 9. 레일리 페이딩 채널에서 MIMO- MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널 용량 (다중접속 사용자의 수 10명, 채널 상관 0.4)

그림 9는 레일리 페이딩 무선 채널에서 MIMO- MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 10명이고 MIMO 송·수신 채널의 수는 30개, 채널간의 상관정도는 0.4인 환경이다. 신

호 전력 대 잡음 전력비와 다중 반송파의 변화에 따른 채널용량 변화를 보여준다. 신호 전력 대 잡음 전력비가 40 dB 정도로 큰 경우, 다중 반송파의 수가 31에서 255까지 증가함에 따라서 채널용량은 약 16에서 약 60 정도로 증가함을 알 수 있다. 또한 레일리 페이딩 무선 채널에서 신호 전력 대 잡음 전력비가 큰 경우에 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량은 포화됨을 보여준다.

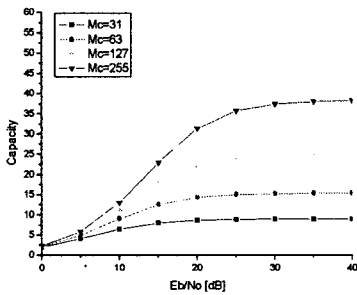


그림 10. 레일리 페이딩 채널에서 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널 용량 (다중접속 사용자의 수 20명, 채널 상관 0.4)

그림 10은 레일리 페이딩 무선 채널에서 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량을 나타낸다. 그림 4와 비교하여 다중접속 사용자의 수가 20명으로 증가된 경우이고 MIMO 송·수신 채널의 수는 30개, 채널간의 상관정도는 0.4인 환경이다. 신호 전력 대 잡음 전력비와 다중 반송파의 변화에 따른 채널용량에서 그림 4와 비교하여 감소됨을 알 수 있다. 그리고 신호 전력 대 잡음 전력비가 커짐에 따라서 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량 변화는 미미함을 알 수 있다.

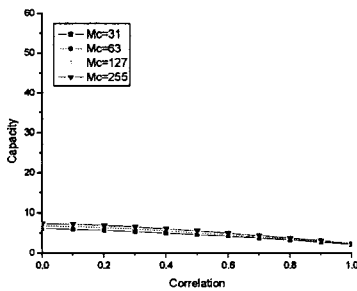


그림 11. 다중 반송파 수의 변화와 채널간의 상관정도 변화에 따른 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량 (다중접속 사용자의 수 10명, 신호 전력 대 잡음 전력비 5 dB)

그림 11은 레일리 페이딩 무선 채널에서 신호 전력 대 잡음 전력비가 5 dB이고 다중 반송파 수의 변화와

채널간의 상관정도 변화에 따른 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 10명, MIMO 송·수신 채널의 수는 30개인 환경이다. 결과 그래프에서 신호 전력 대 잡음 전력비가 5 dB로 작은 환경에서는 다중 반송파의 수가 31에서 255까지 증가함에도 불구하고 채널용량의 변화는 크지 않음을 보여준다.

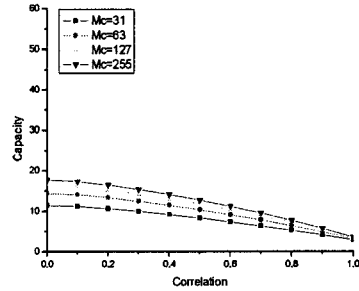


그림 12. 다중 반송파 수의 변화와 채널간의 상관정도 변화에 따른 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량 (다중접속 사용자의 수 10명, 신호 전력 대 잡음 전력비 10 dB)

그림 12는 레일리 페이딩 무선 채널에서 신호 전력 대 잡음 전력비가 10 dB이고 다중 반송파 수의 변화와 채널간의 상관정도 변화에 따른 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 10명, MIMO 송·수신 채널의 수는 30개인 환경이다. 그림 11과 비교하여 신호 전력 대 잡음 전력비가 10dB로 증가함에 따라서 채널용량 증가 효과가 있으며 다중 반송파의 수에 따른 변화도 확인할 수 있다.

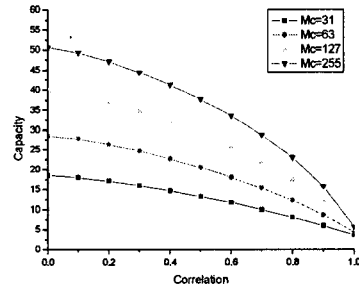


그림 12. 다중 반송파 수의 변화와 채널간의 상관정도 변화에 따른 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량 (다중접속 사용자의 수 10명, 신호 전력 대 잡음 전력비 20 dB)

그림 12는 신호 전력 대 잡음 전력비가 20 dB로 고정하고 다중 반송파 수의 변화와 채널간의 상관정도 변화에 따른 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량을 나타낸다. 다중접속 사용자의 수는 10명, MIMO 송·수신 채널의 수는 30개인 환경이다. 그림 10, 그림

11과 비교하여 많은 채널용량의 증가와 채널간의 상관 정도 변화에 따른 채널용량의 변화를 확인할 수 있다. 특히, 신호 전력 대 잡음 전력비와 다중 반송파의 수가 증가해도 채널간의 상관정도가 커짐에 따라서 채널용량은 감소하여 유사해짐을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 레일리 페이딩 채널에서 다중접속 간섭의 제거와 시스템 채널 용량의 증가를 위해 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 모바일 액세스 계층에 대한 채널 용량을 신호 전력 대 잡음전력비, 다중 반송파의 수, 채널간의 상관정도, MIMO 송·수신 채널의 수에 따라서 평가하였다. 분석 결과로부터 MIMO-MC/CDMA 16QAM 시스템의 채널용량은 신호 전력 대 잡음 전력비에 따라서 포화가 되는 특징이 있었으며 채널간의 상관정도에 따라서 MIMO-MC/CDMA 16 QAM 시스템의 채널 용량은 상당히 변화함을 알 수 있었다

#### 참고 문헌

- [1] C. K. Toh, Ad-Hoc Mobile Wireless Networks, Prentice Hall, 2002.
- [2] A. Azzam, N. Ransom, Broadband Access Technologies, McGraw-Hill, 1999.
- [3] J. P. Castro, The UMTS Network and Radio Access Technology, Wiley, 2001.
- [4] W. Stallings, Wireless Communications and Networks, Prentice Hall, 2002.
- [5] S. Sampei, Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications, Prentice Hall PTR, 1997.
- [6] G. J. Foschini, "Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," Bell Labs Tech. J., vol. 1, no. 2, pp. 41-59, Autumn, 1996.
- [7] K. Fazel and G. P. Fettweis, Multi-Carrier Spread-Spectrum, Kluwer Academic Publishers, 1997.
- [8] M. S. Alouini and A. Goldsmith, "A unified approach for calculating error rates of linearly modulated signals over generalized fading channels," IEEE Trans. Commun., vol. 47, pp. 1324-1334, Sept. 1999.
- [9] M. K. Simon and M. S. Alouini, Digital Communication Over Fading Channels, New York: Wiley, 2000.
- [10] G. Stuber, Principles of Mobile Communication, Kluwer Academic, 1996.

#### 노재성



2000년 8월 : 한국항공대학교 대학원  
항공통신정보공학과 졸업(공학박사)

1992년 3월-1997년 5월 : (주) 한화정보통신  
1999년 3월-2000년 8월 : 도립 강원전문대학  
정보통신과 전임강사  
2000년 9월-현재 : 서일대학 정보통신 전공 조교수  
관심분야 : 이동통신망 성능분석, 모바일 인터넷,  
멀티미디어 콘텐츠 응용

#### 문일영



2005년 2월:한국항공대학교 대학원  
정보통신공학과 졸업(공학박사)

2004년 12월-2005년 2월 : 한국정보문화진흥원  
선임연구원  
2005년 3월-현재 : 한국기술교육대학교  
인터넷미디어공학부 전임강사  
관심분야 : 무선 인터넷 응용, 모바일 프로그래밍