

논문 2008-45TC-11-5

# 이중대역 동작을 위한 멀티모드 시나리오에서 CDMA/TDD의 성능

(Performance of CDMA/TDD in Multimode Scenario for Dual-band Operation)

오형주\*, 황승훈\*\*

(Hyeong-Joo Oh and Seung-Hoon Hwang)

## 요약

본 논문에서는 외부지역에서 낮은 주파수 대역으로 FDD(Frequency Division Duplex)를 사용하고 내부지역에서 TDD(Time Division Duplex)를 사용하는 이중대역 동작을 하는 멀티모드 시나리오에서 내부지역의 CDMA/TDD의 용량을 조사하였다. 특히, 셀 반경, 데이터 전송률, 타임 슬롯 할당과 같은 다양한 시스템 파라미터의 영향을 분석하였다.

## Abstract

In this paper, we investigate the capacity of CDMA/TDD in the inner zone of multimode scenario with dual-band operation where high frequency band is used for TDD in the inner zone and lower frequency band is utilized for FDD in the outer zone. The effects of various system parameters such as cell radius, data rate, and time slot allocation are analyzed.

**Keywords :** Multimode Scenario, Dual-band Operation, CDMA/TDD

## I. 서론

미래의 통신시스템은 더욱더 높은 데이터 율에 대한 요구가 증가하고 있다. 4세대 이동통신 시스템에서는 100Mbps이상의 높은 데이터율의 제공을 기대하고 있다. 이를 위해 무선 데이터 전송에 있어 유연성 있고 효과적인 방법이 [1]에서 조사되었다. 또한 기존의 셀룰러 환경보다 넓은 사용지역과 높은 데이터율 서비스를 지원하기 위해 다중대역 이동통신시스템이 [2]와 [3]에 조사되었다. 일반적으로 단일 주파수 대역을 사용하는 시스템과 달리 다중대역 이동통신 시스템은 다중 주파수 대역을 사용한다. 이때, 사용되는 다중 주파수 대역들 사이는 전파 특성이 다를 정도로 충분히 이격되어 있

다. 예를 들어 5GHz와 60GHz 대역은 다중 주파수 대역의 집합이 될 수 있다. [4]에서는 4세대에서 거론되는 60GHz 대역에서 동작하는 무선 LAN 시스템과 무선 접속의 전개와 형태를 보여준다. 그림 1은 5GHz와 60GHz가 결합하여 동작하는 시스템을 보여준다.

광역에서 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서

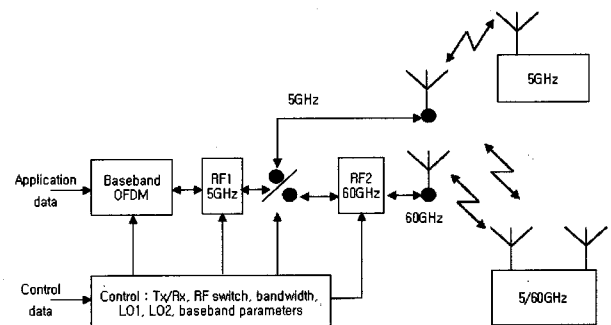


그림 1. 5/60GHz 무선 시스템  
Fig. 1. 5/60GHz radio system.

\* 학생회원, \*\* 정회원, 동국대학교 전자공학과  
(Dongguk University, Seoul, Korea)

접수일자: 2008년8월5일, 수정완료일: 2008년11월14일

TDD와 FDD의 장점을 결합시킨 멀티모드 시나리오는 매력적이다. 멀티모드 시나리오에서는 셀 지역과 사용자는 두 개의 내부지역과 외부지역으로 구분된다. 일반적으로 FDD는 광역의 셀룰러 환경에서 음성 서비스에 적합하고 TDD는 핫스팟에서 데이터 서비스에 알맞다. 이중대역 시스템에서 각 이중화 방식을 혼합하기 위해서 TDD는 상대적으로 높은 주파수 대역으로 내부지역에서 사용되고, FDD는 상대적으로 낮은 주파수 대역으로 외부지역에서 사용된다고 가정하였다. 이는 일반적으로 낮은 주파수의 셀 커버리지가 높은 주파수보다 넓기 때문이다.

본 논문에서는 이중대역 시스템에서 내부지역의 TDD 시스템에 초점을 맞추었다. 외부지역의 FDD 시스템에 대한 분석은 기존에 충분히 조사되었고 내부와 외부 지역은 이격된 다른 주파수가 할당되어 서로 간섭이 없기 때문이다. 또한 타임 슬롯 할당, 데이터 전송률, 셀 반경에 따른 CDMA/TDD 시스템의 용량을 분석하였다.

## II. 이중대역 시스템에서 멀티모드 시나리오

본 논문은 두 개의 인접한 셀을 고려하였다. 그림 2는 내부지역에서 높은 주파수로 TDD를 사용하고 외부지역에서 낮은 주파수로 FDD를 사용하는 듀얼밴드 시스템의 제안된 셀 구조의 보여준다. TDD/FDD, 내부지역/외부지역, 높은 주파수/낮은 주파수 등 각각의 상관관계를 고려할 때, 제안된 멀티모드 시나리오는 매우 적합하다. 여기서 D를 내부지역의 셀 반경, R를 외부지역의 셀 반경이라 표기하자. 성능평가를 위해 D는 상수이고 R를 변수로 가정하였다. 본 논문은 주로 높은 데이터를 서비스를 지원하는 내부지역의 TDD의 동작에 초점을 맞추었다. 간략화를 위해 [7]과 같이 TDD에 CDMA를 고려하였다. 또한 TDD 시스템 사용 시에 서

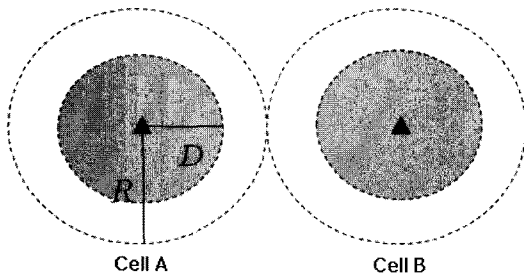


그림 2. 두 셀 모델  
Fig. 2. Two cell model.

비스 지역 내에 모든 셀에서 할당된 타임슬롯의 패턴이 같다고 가정하였다. 또한 모든 셀이 프레임 동기가 맞추어 졌다고 가정하였다. 즉, 교차 타임슬롯(Crossed slot)이 없다는 것을 의미한다. 그리고 완벽하게 전력제어 되었다고 가정하였다. N을 TDD 프레임에서의 총 타임 슬롯의 수라 하자. ( $N=N_d+N_u$ )  $N_d$ 와  $N_u$ 는 각각 다운링크 시간구간과 업링크 시간구간을 명시한다. 업링크와 다운링크 자원사이의 보호구간은 없다고 가정하였다.

## III. 성능 분석

[7]에서는 CDMA-TDD 시스템의 용량 계산이 잘 나타나 있다. 본 논문에서는 [7]에서의 결과를 확장하여 그림 2에서 내부지역에서 CDMA/TDD의 용량을 분석하였다.

### 3.1. 다운링크

셀 A와 셀 B가 모두 다운링크로 할당된 타임 슬롯을 고려하자.  $M^A$ 와  $M^B$ 는 각각 셀 A와 셀 B에서의 채널 수라 하자. 각 셀에서 채널들은 같은 형태의 타임 슬롯에 균등하게 분포되었다고 가정한다. 예를 들어 셀 A에서 하나의 다운링크 타임 슬롯에 수용되는 채널수는  $M^A/N_d$ 라 할 수 있다. 셀 B에서 하나의 다운링크 타임 슬롯에 수용되는 채널수는  $M^B/N_d$ 라 할 수 있다. 전파손실 상수는 [9]를 참조하여 이동 전파환경에서 4와 같다.  $P^A$ 와  $P^B$ 는 각각 셀 A와 셀 B의 기지국 전송 전력이라 하자.  $R_d^A$ 와  $R_d^B$ 는 각각 셀 A와 B의 다운링크 데이터 전송률이라 하자. 우선 셀 A에서 다운링크 타임 슬롯에서의 비트 에너지 대 잡음 밀도를 계산하면 식 (1)과 같다.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d^A = \frac{D^{-4}P^A}{\left\{\left(\frac{M^A}{N_d}-1\right)D^{-4}P^A + \frac{M^B}{N_d}(2R-D)^{-4}P^B\right\} \frac{NR_d^A}{W}} \quad (1)$$

여기서 분모의 첫 번째 부분은 홈셀 간섭을 의미하고 두 번째 부분은 셀 B로부터의 간섭을 의미한다. W는 확산 대역폭이다. 단말의 위치는 최악의 경우를 고려하여 내부 지역의 경계에 존재한다고 가정하였다. 또한 잡음성분은 무시하였다. [7]을 참조하여 한 채널을 위한 전송전력은 데이터율과 비례한다. 즉,  $P^A/P^B = R_d^A/R_d^B$ 이다. 그러므로 식(1)을 정리하면,

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d^A = \frac{WN_d}{(M^A - N_d)NR_d^A + M^B \left(2\frac{R}{D} - D\right)^{-4} NR_d^B} \quad (2)$$

이고, 유사하게 셀 B에 대해서도 구하면,

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d^B = \frac{WN_d}{(M^B - N_d)NR_d^B + M^A \left(2\frac{R}{D} - D\right)^{-4} NR_d^A} \quad (3)$$

이다.

### 3.2. 업링크

내부지역 경계에 있는 단말로부터 기지국에 수신되는 전력을  $C$ 라 하자. 완벽한 전력제어를 가정했기 때문에 어떤 단말로부터 기지국으로 수신되는 전력은 모두 동일하다.  $\zeta$ 를 홈 셀로부터의 간섭과 다른 셀로부터의 간섭의 비라 하자. 셀 A에서 업링크 타임 슬롯 당 채널 수는  $M^A/N_u$ 이고, 셀 B에서는  $M^B/N_u$ 이다. 단말로부터 기지국으로 수신되는 전력을 각각  $C_A$ 과  $C_B$ 라 하자.  $R_u^A$ 와  $R_u^B$ 는 각각 셀 A와 B의 업링크 데이터율이라 명시하자. [7]로부터 셀 A의 업링크 타임 슬롯에서의 비트 에너지 대 잡음 밀도를 계산하면 식(4)과 같다.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_u^A = \frac{C_A}{\left\{ \left(\frac{M^A}{N_u} - 1\right)C_A + \frac{M^B}{N_u} \zeta \frac{C_A}{C_A} \right\} \frac{NR_u^A}{W}} \quad (4)$$

여기서  $C_A$ 는 셀 A와 셀 B의 내부지역 사이의 거리에 따른 수정된 수신신호전력으로서  $C_A = P_m(2R - D)^{-4}$ 이다. 그러므로

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_u^A = \frac{WN_u}{\left\{ (M^A - N_u) + M^B \zeta \left(2\frac{R}{D} - 1\right)^{-4} \right\} NR_u^A} \quad (5)$$

이고, 마찬가지로 셀 B에 대해서도 구하면,

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_u^B = \frac{WN_u}{\left\{ (M^B - N_u) + M^A \zeta \left(2\frac{R}{D} - 1\right)^{-4} \right\} NR_u^B} \quad (6)$$

이다.

### 3.3. 용량

$\gamma_d^A$ ,  $\gamma_d^B$ ,  $\gamma_u^A$ 와  $\gamma_u^B$ 를 셀 A와 B에서 다운링크와 업링크의 적절한 통신을 유지하기 위한 요구되는 비트에너지 대 잡음밀도라 명시하자. 적절한 통신 상태를 위해서는 아래의 부등식을 만족하여야 한다.

$$\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d^A \geq \gamma_d^A, \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_d^B \geq \gamma_d^B, \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_u^A \geq \gamma_u^A, \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_u^B \geq \gamma_u^B \quad (6)$$

셀룰러 시스템의 용량은 일반적으로 셀 내에서 적절한 통신 수준으로 동시에 사용할 수 있는 사용자 수를 의미한다. 여기서 시스템 용량을 평가하기 위해서 ADR (aggregated data rate)를 측정하였다<sup>[7]</sup>. 예를 들어 두 셀 환경에서 셀 A에서 업링크와 다운링크 ADR은 각각  $M^A R_u^A$ 과  $M^A R_d^A$ 로 표현할 수 있고, 셀 A의 총 ADR  $K^A$ 은  $M^A(R_u^A + R_d^A)$ 으로 표현할 수 있다. 또한 두 셀 환경에서 전체 시스템의 총 ADR은

$$K^T = K^A + K^B = M^A(R_u^A + R_d^A) + M^B(R_u^B + R_d^B) \quad (7)$$

과 같다. 실제 시스템에서는 한쪽 셀의 용량이 다른 셀의 용량보다 큰 차이가 없어야 한다. 그러므로 우리는 셀 A와 B의 사이의 ADR의 조건을 소개한다.

$$K^A \geq \beta K^B, K^B \geq \beta K^A \quad (8)$$

여기서  $\beta$ 는 두 셀간의 차이를 제한하는 상수이고, 범위는  $0 \leq \beta \leq 1$ 이다. 예를 들어,  $\beta = 0.5$ 는 한 셀의 ADR이 다른 셀의 ADR의 50%를 초과하는 것을 의미한다.

## IV. 수치 결과

표 1은 성능평가를 위해 사용되는 파라미터이다. 성능평가를 위한 요구되는  $E_b/N_0$ 를  $\gamma_d^A = \gamma_u^A = \gamma_d^B = \gamma_u^B = 5dB$ 로 가정하였다. 또한 업링크 데이터율을 고정하였다. ( $R_u^A = R_u^B = 4kbps$ )  $\zeta$ 는 0.06으로 가정하였다.

그림 3은 내부지역 반경과 외부지역 반경사이의 비에 따른 각 타임슬롯 할당의 경우에 대한 이중대역 시스템의 용량을 보여준다. 여기서 셀 A와 B의 다운링크 데이터율은 4kbps로 고정하였다. 이때, 외부지역 반경/

표 1. 파라미터  
Table 1. Parameter.

대역폭(W)	5MHz
업링크 데이터율( $R_u^A$ , $R_u^B$ )	4kbps
요구되는 $E_b/N_0$	5dB
감쇠정수	4
$\beta$	0.5
총 타임슬롯 수 (N)	16
$\zeta$	0.06 <sup>[7]</sup>

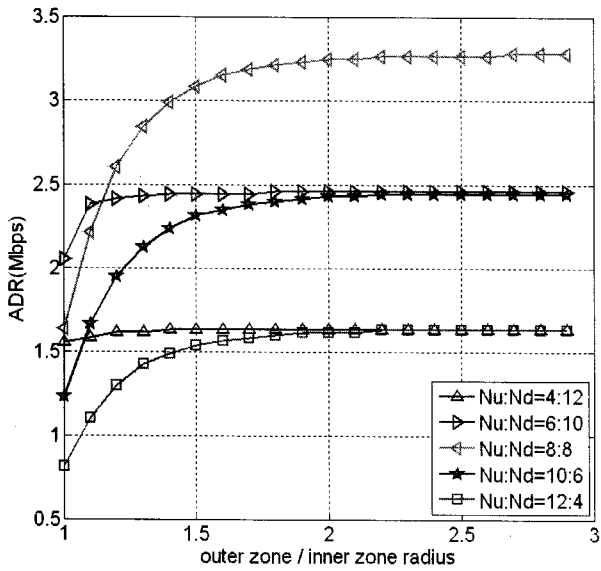


그림 3. 외부지역과 내부지역의 반경의 비에 따른 용량  
Fig. 3. Capacity according to the ratio between outer zone and inner zone radius. ( $R_u^A = R_d^A = 4kbps$ )

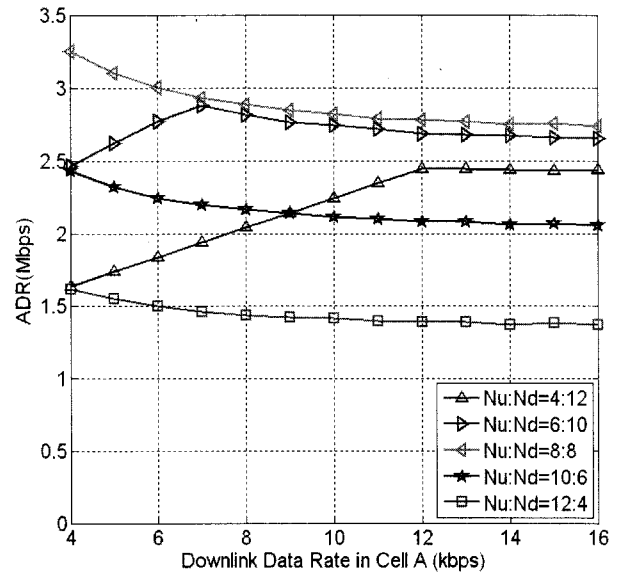


그림 5. 셀 A에서 다운링크 데이터율에 따른 용량  
Fig. 5. Capacity according to the downlink data rate in cell A. (outer zone/inner zone radius=2,  $R_u^B = 4kbps$ )

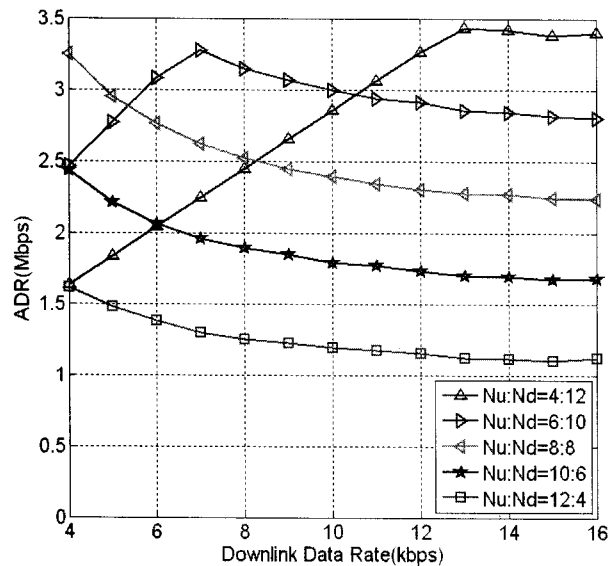


그림 4. 용량 셀 A와 셀 B에서 모두에서의 다운링크 데이터율에 따른 용량  
Fig. 4. Capacity according to the downlink data rate in both cell A and cell B. (outer zone/inner zone radius=2)

내부 지역 반경이 1이 될 때가 단일대역 시스템의 경우를 나타낸다. 비율이 증가하면서 인접 셀로부터의 간섭의 양이 감소된다. 따라서 ADR의 관점에서 제안된 셀 구조의 용량이 증가한다. 그러나 비율이 증가할수록 간섭의 영향이 적어지기 때문에 비율이 2일때, ADR은 수렴한다. 추가적으로 업링크와 다운링크 타임 슬롯이 동일할 때 (Nu:Nd=8:8), ADR 성능이 가장 우수함을 알 수 있다. 이것은 다운링크 데이터율과 업링크 데이터율

이 4kbps로서 동일하기 때문이다.

그림 4와 5는 외부지역 반경/ 내부 지역 반경을 ADR이 수렴하는 2로 가정하고 데이터율의 변화에 따른 각 타임 슬롯 할당에 대한 ADR을 살펴보았다. 그림 4와 5의 차이는 x축을 그림 4는 셀 A와 B의 다운링크 데이터율이 변화하는 것이고 그림 5는 셀 A의 다운링크 데이터율만 변화하는 점이 다르다. 그림 4에서 업링크 타임슬롯 수(Nu)가 다운링크 타임 슬롯수(Nd)과 같거나 클 경우, ADR은 다운링크 데이터율의 증가에 따라 감소됨을 알 수 있다. 업링크 타임 슬롯 수(Nu)가 다운링크 타임 슬롯수(Nd)과 작을 경우, ADR은 일정 다운링크 데이터율까지 증가에 하다가 감소함을 알 수 있다. 이것은 우수한 ADR 성능을 위해서는 데이터율의 변화에 따라 적절한 타임 슬롯의 할당이 필요하다는 것을 보여준다. 그림 5에서  $R_u^A = R_u^B = R_d^B = 4kbps$  이고 셀 A의 다운링크 데이터율만 변화하는 경우이다. 그림 4와 매우 유사한 경향을 보인다. 그러나 그림 4의 경우보다 ADR gap이 적다는 점이 차이이다.

### V. 결 론

본 논문은 외부지역에서 낮은 주파수로 FDD를 사용하고 내부지역에서 높은 주파수로 TDD를 사용하는 멀티모드 시나리오에서 내부지역의 CDMA/TDD에 대한 성능을 분석하고 조사하였다.

수치결과를 통해서 ADR의 성능은 외부지역 / 내부 지역의 비율이 2인 경우로 수렴됨을 볼 수 있었다. 또한 거리에 따른 수렴 후에 우수한 ADR 성능을 얻기 위해서는 다운링크와 업링크의 데이터율에 따른 적절한 타임 슬롯 할당이 필요하다는 것을 알 수 있다.

추후 연구로는 내부 지역에 CDMA가 아닌 TDMA 다중접속방식이 채용된 경우의 성능, 외부 지역까지가 고려된 전체 셀의 성능 등이 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

[1] D.Astely, et. al., "A future radio-access framework", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol.24, no.3, pp.693-706, Mar. 2006.  
 [2] Y.Hara and A.Taira, "System Configuration for Multiband Mobile Systems", Wireless World Research Forum  
 [3] Y.Hara, "Multiband Mobile Communication System For Wide Coverage and High Data Rate", Wireless World Research Forum  
 [4] P.Smolders, "Exploiting the 60GHz band for local wireless multimedia access: prospects and future directions", IEEE Communication Magazine, pp.140-147, Jan. 2002.

[5] S.Yun, Y.Lee, W.Park, O.Lee, Y.Kim and K.Kim, "Hybrid Duplex Technology : A Flexible Wireless System Enabler for Supporting Time and Frequency Division Duplex" h 11th Wireless World Research Forum, 10~11 June, Oslo, Norway, pp.1-6, June 2004  
 [6] G.Povey and M.Nakagawa, "A review of time divisionduplex-CDMA techniques", Spread Spectrum Techniques and Applications, 1998. Proceedings., 1998 IEEE 5th International Symposium on, pp.630 - 633 vol.2, 19 May 1997  
 [7] W.Jeon and D.Jeong, "Comparison of Time Slot Allocation Strategies for CDMA/TDD Systems", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No.7, July 2000.  
 [8] D.Jeong and W.Jeon, "A data transmission scheme for CDMA wireless networks based on IS-95", IEEE Trans. Veh..Technol., vol.49, pp.11-20, Jan. 2000.  
 [9] W.C.Y.Lee, Mobile Cellular Telecommunication, 2nd ed. New York; McGraw-Hill, 1995.  
 [10] 차인석, 장경희, 김성진, 최용석, "링크 레벨 시뮬레이션과 시스템 레벨 시뮬레이션에 의한 WCDMA TDD 시스템과 cdma2000 시스템 간의 상호간섭분석", 전자공학회논문지 제41권 TC편 제7호, pp. 459~468, 2004. 7.

저 자 소 개



오 형 주(학생회원)  
 2007년 2월 동국대학교  
 전자공학과 학사.  
 2007년~현재 동국대학교  
 전자공학과 석사 재학.  
 2009년 삼성전자 입사 예정  
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신  
 시스템>



황 승 훈(정회원)  
 1999년 연세대학교 공학박사.  
 1999년 LG전자 이동통신기술  
 연구소 책임연구원.  
 2003년 University of Southampton,  
 United Kingdom, Research  
 Fellow.  
 2005년~현재 동국대학교 전자공학과 조교수.  
 IEEE Senior Member,  
 IET Member,  
 IEICE Member.  
 <주관심분야 : 무선 및 이동 통신 시스템>