

중앙 집중형 밀리미터파 기반 다중 스팟 빔 셀룰러 시스템

박 순 기[°], 최 용 석^{*}, 김 태 중^{**}

Centralized mmWave-Based Multi-Spot Beam Cellular System

Soon-gi Park[°], Yong-seouk Choi^{*}, Tae-joong Kim^{**}

요 약

본 논문에서는 기지국에 다수개의 빔포밍 안테나들을 장착한 형태의 중앙 집중형 밀리미터파 기반 다중 스팟 빔 셀룰러 시스템 구조와 이 시스템 운용의 핵심 개념인 다계층 동적 셀 구성 방법 그리고 이를 이용한 이동성 관리 방법을 소개하고 있다. 차단이 없는 이상적 환경에서의 시스템 시뮬레이션 결과를 통하여 밀리미터파를 이용한 이러한 시스템 구조 및 운용이 기존 셀룰러 시스템 대비 시스템 용량을 크게 높여줄 수 있고 유사한 이동 성능을 제공할 수 있다는 가능성을 보여 주고 있다.

Key Words : Millimeter, Beam, Base Station, Multi-layered Dynamic Cell Configuration, Carrier Aggregation, Joint Transmission, Joint Reception, Capacity, Mobility, Handover, Ping pong

ABSTRACT

In this paper, a centralized mmWave-based multi-spot beam cellular system architecture having such a base station equipped with a plurality of beam-forming antennas, multi-layered dynamic cell configuration method as one of key concepts of this system operation and a mobility management method based on it are introduced. To estimate the performance of new system, system simulation was performed under the ideal environment without blockage. These results show the possibility that system capacity can be dramatically increased and mobility performance similar to the existing cellular system may be achieved.

I. 서 론

국제전기통신연합 전파부문(ITU-R)의 5G 비전 권고안^[1]에 제시된 5G의 핵심 성능 지표 중 용량 관련 된 요구사항들을 만족시키고 3GPP의 5G 표준화 일정 초안^[2]을 고려할 때 5G 이동통신에서 밀리미터파의 사용은 향후 반드시 필요한 것으로 판단된다. 밀리미터파는 백홀 링크로는 사용 가능하지만 액세스 링

크에서 사용한다는 것은 큰 경로 손실 및 차단(blockage) 등으로 인해 불가능하다는 견해가 지배적이었으나 최근의 연구^[8,22]는 빔포밍을 통해 전파 도달 거리를 높일 수 있고 차단이 심한 도심에서는 반사 및 산란 효과에 의해 통신이 가능하여 액세스 링크에서도 밀리미터파를 사용할 수 있는 가능성이 있다는 긍정적 면이 부각되고 있다. 본 논문에서는 5G의 용량 관련 요구사항들을 지원하기 위해 밀리미터파를 사용

※ 본 논문은 미래창조과학부 범부처 Giga KOREA 사업 [GK15N0100, 밀리미터파 5G 이동통신 시스템개발]의 지원을 받아 수행되었습니다.

° First and Corresponding Author : ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute), yoyo@etri.re.kr, 정회원

* ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute), choiys@etri.re.kr, 정회원

** ETRI(Electronics and Telecommunications Research Institute), aisma@etri.re.kr

논문번호 : KICS2015-11-374, Received November 24, 2015; Revised March 15, 2016; Accepted March 23, 2016

하는 새로운 시스템 구조 및 운용을 소개하고 시스템 성능 평가를 통해 이러한 시스템 유형이 밀리미터파의 급속한 채널 변화 및 간헐적 접속 중단 등의 단점을 보완하면서 핫 스팟으로 스몰 영역을 지원하는 형태가 아닌 기존 기지국 커버리지를 담당하는 형태로 5G 시스템의 일부분으로 활용될 가능성을 살펴보고자 한다. 새로운 시스템은 밀리미터파 기반 다중 스팟 빔 셀룰러 시스템(mmWave-based multi-spot beam cellular system, 이후 MWMSB)으로 호칭한다. 이 시스템은 크게 두 가지 설계 방향을 갖고 있다. 첫 번째는 기존의 기지국의 전체 서비스 영역을 수직과 수평 방향으로 작은 영역들로 분할하고 각각의 작은 서비스 영역을 하나 혹은 그 이상의 빔이 담당하게 한다는 점이고 두 번째는 밀리미터파 광대역을 여러 개의 서브밴드로 나누어 사용하며 빔 간의 동일 서브 밴드들을 그룹핑하여 운용 한다는 점이다.

II장에서는 시스템 구조에 대하여 기술하고 III장에서는 기본적인 시스템 운용 방법을 제안한다. IV장에서는 시뮬레이션을 이용한 시스템에 대한 용량 및 이동성 성능을 평가한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 시스템 구조

밀리미터파 기반 다중 스팟 빔 셀룰러 시스템(MWMSB)의 용량 설계 목표는 사용자 피크 데이터 전송률 1.5 Gbps(125MHz 서브 밴드 4개 사용 기준)이고 기지국의 전체 서비스 영역을 기준으로 기지국 피크 데이터 전송률 100 Gbps를 제공하는 것이다.

이러한 시스템에서의 기지국 구조는 그림 1과 같이 여러 개의 단(BPH: Base Station PHase)으로 이루어져 있고 각 단은 표 1의 E와 같이 동일한 기준 빔 폭(baseline beam width)과 기준 빔 중심 지향 각(baseline beam center pointing angle)을 갖는다. 즉, 동일한 단(BPH)에 장착하는 빔 포밍 안테나들은 동일한 기준 빔 폭과 동일한 기준 빔 중심 지향 각을 갖는 빔포밍 안테나들을 다수 개를 배치할 수 있다.

본 논문에서는 관련하여 표 1과 같은 기지국에서 다수의 빔포밍 안테나들의 배치에 대한 설계를 기준으로 하는데 총 7개의 BPH를 갖고 있고 BPH7의 대표 높이(BPH7-AH)는 50m이고 BPH7 D의 09/18은 장착할 수 있는 빔포밍 안테나가 18개이고 실제 장착한 빔포밍 안테나가 9개를 의미하며 BPH7 E는 장착되는 모든 빔포밍 안테나는 동일한 4.00 (g)도의 기준 빔 폭과 75.83 (n) 도의 기준 빔 중심 지향 각도를 갖

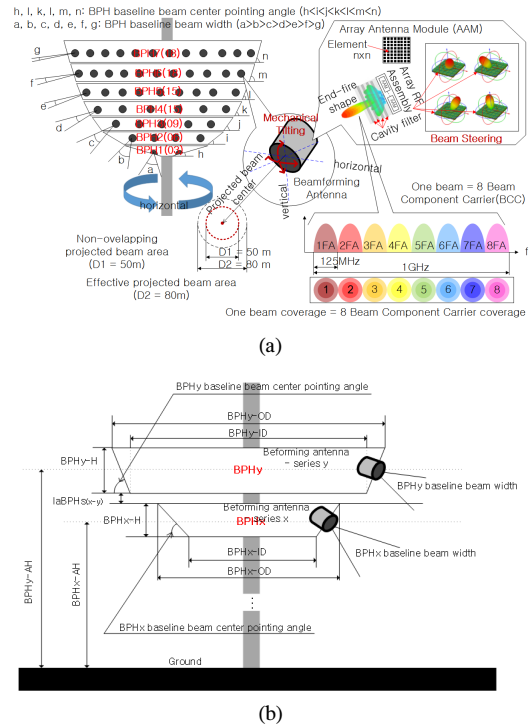


그림 1. 기지국 안테나 구조
Fig. 1. The overall antenna structure of base station

는다는 것을 의미한다.

모든 빔포밍 안테나들이 방사하는 End-fire 모양의 빔은 표 1의 설계에 의하여 모든 빔 포밍 안테나들이 만드는 각각의 투영 빔 영역(비중첩 투영 빔 영역(non-overlapping projected beam area)과 실효 투영 빔 영역(effective projected beam area)은 동일한 면적을 갖게 되고 그림 2의 왼쪽과 같이 동일한 BPH에 있는 모든 빔포밍 안테나들에 의해 형성되는 투영 빔 영역의 중심은 해당 BPH의 투영 기준 빔 중앙 원호(projected baseline beam center circle)에 있게 되며 이러한 빔 포밍 안테나들에 대하여 물리적 틸팅 및 어레이 안테나 모듈의 엘리먼트에 대한 위상 조절을 통하여 수직 혹은 수평으로 빔 영역의 센터를 조절하여 그림 2의 오른쪽과 같이 각 빔의 센터를 원하는 위치에 놓게 할 수 있다.

비중첩 투영 빔 영역은 이웃의 다른 빔과 중첩되지 않는 논리적인 빔 영역의 개념이고 평균 실효 투영 빔 영역은 사전 정의한 특정한 수신 측정 값(예. 중앙의 수신 빔 파워 측정값을 기준으로 30% 수준의 측정값)이 감지되는 빔 영역을 의미한다. 빔 포밍 안테나의 제작 방법 및 시스템 운용 목적에 따라 평균 실효 투영 빔 영역을 평균 비중첩 투영 빔 영역을 같게 하

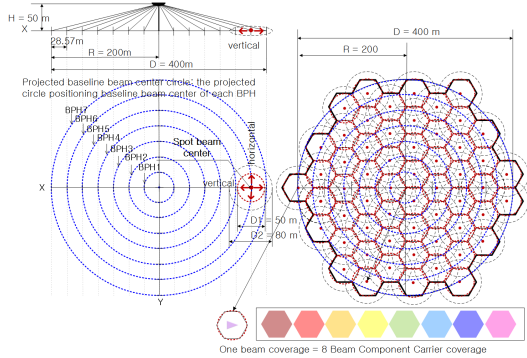


그림 2. 투영 빔 기준 중심 원호 및 비중첩 빔 영역 배치
Fig. 2. Projected beam baseline center circle and non-overlapping beam area arrangement.

표 1. 기지국 안테나 배치 설계

Table 1. The design of antenna arrangement of base station.

BPH	A	B	C	D	E
BPH7	50.0	4.152/3.848/0.6	0.2(6-7)	09/18	g 04.00 n 75.83
BPH6	49.2	3.749/3.451/0.6	0.2(5-6)	06/18	f 05.29 m 73.83
BPH5	48.4	3.346/3.054/0.6	0.2(4-5)	15/15	e 07.34 l 71.09
BPH4	47.6	2.944/2.656/0.6	0.2(3-4)	15/15	d 10.85 k 67.14
BPH3	46.8	2.541/2.259/0.6	0.2(2-3)	06/09	c 17.43 j 61.02
BPH2	46.0	2.139/1.861/0.6	0.2(1-2)	03/06	b 30.56 i 50.67
BPH1	45.2	1.736/1.464/0.6	-	03/03	a 49.83 h 31.37

A: -AH (Antenna Height) [m]
B: -OD/-ID/-H [m]
C: laBPHs [m]
D: Beamforming antenna number(real mounted for Figure 2 (b) /available mounted for Figure 1 (a))
E: Baseline beam width/baseline beam center pointing angle [degree]

나 아니면 크게 할 수 있고 그 수준을 적절히 조절가능하다고 가정한다. 송신의 사이드로브를 줄이기 위한 캐비티 필터를 장착할 수도 있는데 이러한 경우 하나의 빔 포밍 안테나를 전송부와 수신부로 물리적으로 분리할 수도 있다.

III. 시스템 운용

밀리미터파 기반 다중 스팟 빔 셀룰러 시스템(MWMSB)은 모든 면에서 LTE(-A) 시스템과 매우 유사하다. 예를 들어 이동 스테이션(MS; Mobile Station), 기지국(BS; Base Station) 그리고 진화 패킷 코어(EPC; Evolved Packet Core)의 시스템 구조 및 구성 그리고 프로토콜 구조가 동일하고 물리 신호 및 채널/전송 채널/논리 채널에 대한 개념과 상호 매핑이

거의 동일하다. 다만, 저지연을 위하여 프레임/서브프레임의 구간이 LTE 기준 1/5로 축소(2msec radio frame/200usec subframe)되면서 이로 인한 물리 파라미터가 표 2와 같이 LTE와는 다르게 설계되어 있고 시스템 운용상에서의 일부 차이가 존재한다.

밀리미터파 기반 다중 스팟 빔 셀룰러 시스템(MWMSB)은 그림 2의 오른쪽과 같이 57개의 빔 영역을 고려 할 때, 그림 3의 왼쪽 상단과 같이 모든 빔 포밍 안테나가 중앙에서 방사되므로 하나의 빔 영역에 각각 삼각형 모양의 기호를 추가하였다. 하나의 빔 포밍 안테나가 형성하는 삼각형이 기재된 하나의 빔 영역이 사용하는 시스템 밴드폭(1GHz)을 8개의 서브밴드(125MHz 단위의 FA1에서 FA8)로 구분하면 8개의 빔 요소 반송파(BCC; Beam Component Carrier) 영역으로 분리 될 수 있다. 기지국 서비스 영역은 빔 기준으로 총 57개의 빔 영역으로 구성되고 빔

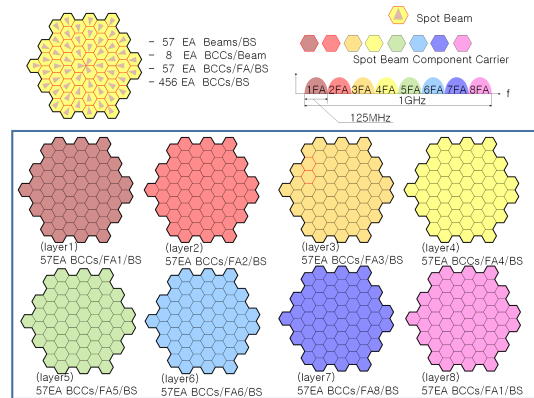


그림 3. 기지국 서비스 영역 내부의 빔과 빔 요소 반송파
Fig. 3. Beam and Beam Component Carrier within Base Station's service coverage.

표 2. 물리 계층 파라미터

Table 2. phys simalon parameters.

Parameters	Value
Sampling rate (MHz)	184.32
Subcarrier spacing (kHz)	180
Number of subcarriers (total)	694
Number of subcarriers (except guard band)	624
OFDM symbol length (FFT size)	1,024
OFDM symbol duration (us)	5.56
CP length	128
CP duration (us)	0.69
Slot duration (us)	100
Number of slot per millisecond	10
Number of sample per millisecond	184,320
Number of OFDM symbol per slot	16

요소 반송파 기준으로 총 456(=57x8)개의 빔 요소 반송파 영역으로 구성되어 있다. 기지국에서 하나의 특정 FA에 소속된 빔 요소 반송파를 기준으로는 그림 3의 오른쪽과 같이 해당 FA에 대하여 57개의 빔 요소 반송파 영역을 갖고 이러한 것이 FA별로 총 8개의 계층(layer)가 존재한다. 이러한 특정 FA에 소속된 기지국의 빔 요소 반송파를 그룹핑하여 하나의 셀로 운용할 수 있는데 하나의 셀로 그룹핑된 모든 빔 요소 반송파는 동일한 셀 특정 참조 신호(CRS; Cell specific Reference Signal)를 가지며 기본적으로 하나의 동일한 다운로드 및 업링크로 하나의 셀 지원 영역으로 취급한다. 예를 들어 그룹핑된 모든 빔 요소 반송파에는 동일한 시스템 정보를 방송하고 하나의 PDCCH와 하나의 PDSCH 자원 영역으로 취급하고 하나의 PUCCH와 하나의 PUSCH 자원 영역과 같이 취급한다. 이 의미는 하나의 셀로 그룹핑된 동일 FA에 소속된 모든 빔 요소 반송파는 JT(Joint Transmission)과 JR(Joint Reception)과 같은 운용을 기본 운용으로 가정 한다는 것이다. 다만 빔 구분을 위하여 동일 빔에 소속된 8개의 빔 요소 반송파에는 빔별로 구분된 빔 참조 신호(BRS; Beam specific Reference Signal)를 전송할 수 있고 이에 대한 단말의 피드백을 통해 기지국이 동일 셀에 소속된 빔 요소 반송파의 전체 자원(예. PDSCH)을 간섭여부를 파악하여 개별적인 자원으로 취급하여 t셀 공통 PDCCH를 제어할 통해 중복 할당할 수도 있다.

그림 4의 (a)-(i)는 특정 FA(혹은 layer)에 소속된 57개의 빔 요소 반송파가 형성하는 각 빔 요소 반송파 영역의 전체 영역과 이 전체 영역에서의 다양한 셀 그룹핑 방법(이후, 동적 셀 구성(Dynamic Cell Configuration; DCC))의 예를 도시하고 있으며 이 외에도 다양한 동적 셀 구성 방법들이 존재할 수 있다. 그림 4 (a)는 57개의 빔 요소 반송파를 하나의 셀로 그룹핑한 경우이고 그림 4 (b)와 그림 4 (c)는 19개의 빔 요소 반송파들을 그룹핑하여 세 개의 셀을 구성한 것으로 위치적으로 다르게 셀을 구성하여 각각을 Type 1과 Type 2로 구분하였다. 그림 4와 같은 어느 특정 FA에서의 동적 셀 구성이 8개의 서브밴드 별로 다르게 구성할 수도 있다. 즉, 다른 FA들과의 연관성을 고려한 다계층 동적 셀 구성(Multi-layered DCC)을 수행할 수도 있는데 그룹핑 규모가 작아지면 용량은 커지게 되지만 반대로 셀 사이의 간섭이 커지게 되며 그룹핑 규모가 커지면 용량은 작아지지만 셀 사이의 간섭이 작아지게 되는 것이 보편적인 특징이고 그림 4 (b)와 그림 4 (c)와 같이 동일한 동적 셀 구성 방법이

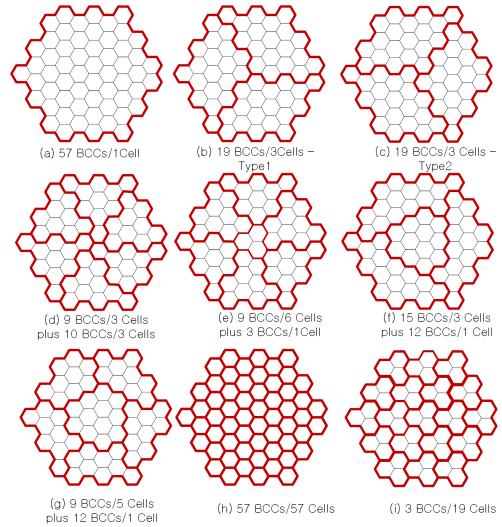


그림 4. 동적 셀 구성
Fig. 4. Dynamic Cell Configuration.

지만 위치적으로 다르게 동적 셀 구성 하면 이동 스테이션이 그림 4 (b)의 셀 경계에서 위치하여 간섭을 받더라도 그림 4 (c)에서 셀 경계가 아니므로 간섭이 발생하지 않는다. 이와 같이 서브밴드(FA)별로 다른 동적 셀 구성을 수행하고 이동 스테이션의 이동 속도, 위치 등을 고려하여 끊임 없는 접속을 지원하면서 요구하는 용량을 효과적으로 제공하며 시공간적인 트래픽 변화에 따른 준정적 다계층 동적 셀 구성을 통하여 전체 시스템의 이득을 조절할 수 있다.

그림 5는 다계층 동적 셀 구성의 한 예를 도시하고 있는데 그림 3의 오른쪽 FA(혹은 layer)별 57개의 빔 요소 반송파들로 구성된 FA별 8개의 기지국 서비스 영역에 대하여 어떤 특정 FA에 대해서는 영역 계층(coverage layer)으로 정의하여 사용하고 다른 FA들에 대해서는 용량 계층(capacity layer)으로 정의하여 사용한다. 그림 5에서 기지국 서비스 영역의 FA1에 해당하는 계층 1에 대해서 그림 4의 (a) 형태(57/1)의 동적 셀 구성을 하면 해당 FA1에 소속된 57개의 빔 요소 반송파들은 한 개의 셀로 동작하고 이러한 셀들의 집합을 영역 계층(coverage layer)이라고 논리적으로 정의한다. 영역 계층은 모든 이동 스테이션이 이 영역 계층에 소속된 셀들로만 캠퍼링하고 초기 접속을 수행하고 핸드오버를 수행하므로 가상 매크로 셀 효과를 갖는다고 볼 수 있다. 그림 5의 용량 계층(capacity layer)은 FA2에서 FA8의 7개의 FA에 대한 기지국 서비스 영역의 해당 계층들을 각각 그림 4에서의 (b) 19/03 Type 1, (c) 19/03 Type 2, (d)

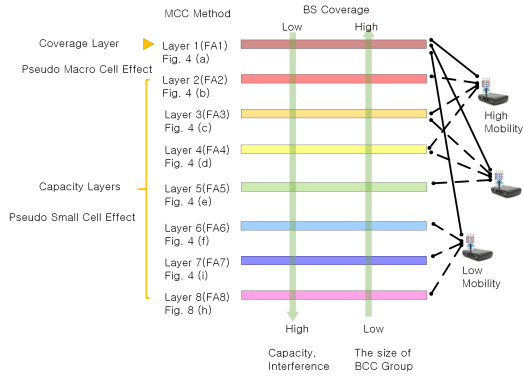


그림 5. 다계층 동적 셀 구성 예
Fig. 5. The example of Multi-layered Dynamic Cell Configuration.

09/03-10/03, (e) 09/06-03/01, 15/03-12/01, (i) 03/19, (h) 57/57의 동적 셀 구성을 적용한 것을 가정하고 있다.

용량 계층은 이동 스테이션에 필요한 용량을 추가적으로 제공하므로 가상 스몰 셀 효과를 갖는다고 볼 수 있다. 그림 5의 용량 계층은 보편적으로 아래 계층으로 갈수록(셀 그룹핑 규모가 작아질 때) 용량이 커지고 셀간 간섭이 많아지고 위 계층으로 올라 갈수록(셀 그룹핑 규모가 커질 때) 용량이 작아지고 셀간 간섭이 커지게 된다. 즉, 모든 이동 스테이션은 영역 계층에 해당하는 가상 매크로 셀로만 캠핑 혹은 접속되어 서비스 되고 핸드오버 되며 추가 용량이 필요한 경우 용량 계층에 소속된 셀을 사용하는데 고속 이동인 경우는 상위 용량 계층에서 사용 가능한 셀을 이용하고 중속 이동인 경우는 중간 용량 계층에서 사용 가능한 셀을 이용하고 저속 이동인 경우는 하단의 용량 계층에서 사용 가능한 셀을 이용한다. 어떤 용량 계층의 어떤 셀을 선택하는 기준은 간섭이 없으면서 가능하다면 좀 더 연속적으로 이동 스테이션에서 요구하는 용량을 제공 가능할 수 있는가가 중요한 선택 기준이 되며 이러한 용량 계층에 있는 셀에 관련한 제어 정보는 가상 매크로 셀을 통해 전달한다.

그림 6은 A(LTE BS), B(LTE-A SCs: Small Cells), C(MWMSB - 그림 4 (h)), C*(MWMSB - 그림 4 (a))로 명명된 네 가지 시스템 환경들에서의 개념적인 특성(신호 세기 프로파일, 가능한 핸드오버 영역, 관성 및 비관성 이동의 비율)을 보여주고 있다. 그림 6 왼쪽의 신호 세기 프로파일은 동일한 서비스 영역의 중심을 이동 스테이션이 지나가는 직선 이동시의 CRS에 대한 측정값을 의미한다. C인 경우 하나의 BCC가 하나의 셀이고 중앙에서 방사하는 구조이므로 빔포밍 안테나의 송신 파워가 동일하다면 거리가 멀

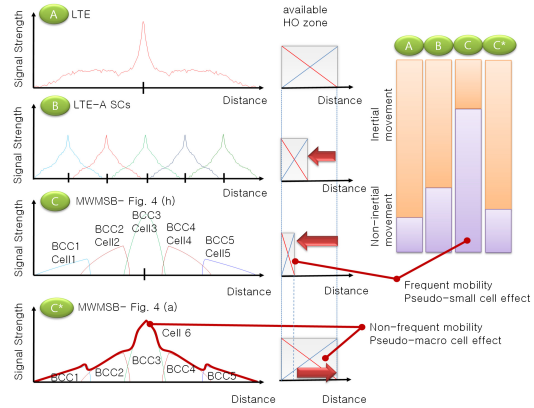


그림 6. 네 가지 시스템 유형에서의 이동성 특성
Fig. 6. The mobility characteristics related to four system types.

수록 신호 세기가 작아지며 C*의 경우 특정 FA에 대한 모든 BCC가 하나의 셀이므로 C*의 빨간색 신호 세기 프로파일로 나타나는데 이는 A의 신호 세기 프로파일과 유사하다. 가능한 핸드오버 영역(available HO zone)은 이동 스테이션이 소스 셀에서 핸드오버 명령(HO Command)을 수신할 수 있고 동시에 타겟 셀로 핸드오버 완료(HO Complete)를 보낼 수 있는 논리적인 구간을 의미한다. 이러한 구간의 크기는 A, B, C의 순서로 작아지는 데 이 구간이 작을수록 너무 늦은 핸드오버 실패, 너무 빠른 핸드오버 실패 그리고 다른 잘못된 셀로의 핸드오버 실패를 증가시킬 수 있다는 의미를 내포하며 이 구간이 작을수록 이러한 핸드오버 실패 유형들을 막기 위한 빠르고 신뢰성 있는 측정 방법이 요구된다. 특별히 가능한 핸드오버 영역은 A에 비해 B, C가 매우 작으므로 B, C에 대하여 A와 같은 이동성 성능을 일반적으로 기대할 수 없다. 추가적으로 B, C와 같이 셀 경계 영역(신호 세기 중첩 영역)이 많고 여기에서의 간섭이 발생하게 되어 여기에 위치한 이동 스테이션에게는 이동 스테이션이 요구하는 용량을 제공하기가 어려울 수 있다. C*는 기지국의 특정 FA를 구성하는 모든 BCC를 하나의 셀로 취급하기 때문에 영역 계층 효과에 의해 A와 같은 가능한 핸드오버 영역의 크기를 가질 수 있고 이 의미는 A와 같은 이동성 성능을 기대할 수도 있다는 것을 의미한다. 이동 스테이션이 기지국으로 올라가는 이동 스테이션의 측정값이 모니터링 구간에서 어떤 증가나 감소의 일관된 방향성을 보일 때를 관성 이동이라 정의하고 갑작스런 변화가 발생하여 방향성이 사라질 때를 비관성 이동이라 가정할 때 관성 이동이 비관성 이동보다 많을수록 이동성 성능이 향상된다고 볼 수

있다. A는 관성 이동이 가장 많으며 B는 A보다는 비관성 이동의 비율이 증가하며 C는 고주파수의 특성 때문에 갑작스런 무선 환경 변화와 차단에 대한 빈번한 중단(아웃티지, 급격한 채널 품질 저하)이 발생하여 비관성 이동이 크게 증가한다. 그러나 C*는 그림 4 (a)와 같은 영역 계층 효과로 인하여 C에 비해서는 비관성 이동 비율이 감소하지만 고주파수가 차단에 취약하므로 비관성 이동이 A에 비해서는 클 수 있고 차단 환경이 많이 발생할 수록 A와 같은 이동성 성능을 기대할 수 없지만 차단이 없는 이상적인 환경을 가정한다면 A와 유사한 이동성 성능을 나타낼 수도 있다.

그림 7은 MWMSB 시스템에서의 기지국간 핸드오버 시나리오로 기지국 A, B, C 각각에서 그림 4 (a)의 동적 셀 구성을 가정한 경우 가상 매크로 셀간 이동 (cell a에서 cell c)을 나타내고 있다. 이러한 시나리오를 위해 세 가지 단계(PH-1, PH-2, PH-3)의 절차가 필요하며 이 단계는 선행적 핸드오버(Proactive HO)와 반응적 핸드오버(Reactive HO)로 구분되어 단계별로 상호 차이가 존재한다. 핸드오버 가능성이 있는 셀에 대한 자원을 미리 예약하는 절차가 PH-1이고 PH-1에서 예약된 핸드오버 가능성이 있는 셀에서 필요 없는 자원을 해제하는 절차가 PH-3로 핸드오버가 완료 후 소스 기지국 자원은 반드시 해제 되는 것이 아니라 셀 경계로 판단(즉, 핸드오버 될 타겟 셀이 될 가능성)되면 자원을 유지하면서 자원 유지가 되는 어떤 셀로도 핸드오버가 가능하도록 자원을 업데이트 한다. 선행적 핸드오버는 이 정보를 기지국만이 갖고 있고 반응적 핸드오버는 이 정보를 기지국 뿐만 아니라 단말이 갖도록 되어 있다. PH-2에서 선행적 핸드오버는 이동 스테이션이 측정 보고한 측정결과에 기반하여 LTE 절차와 같이 기지국이 핸드오버 명령(HO Command)를 소스 기지국에서 내리며 반응적 핸드오버는 소스 기지국에서 핸드오버 명령을 내리지 않고 단말이 PH-1, PH-2 절차에서 수신한 핸드오버 가능

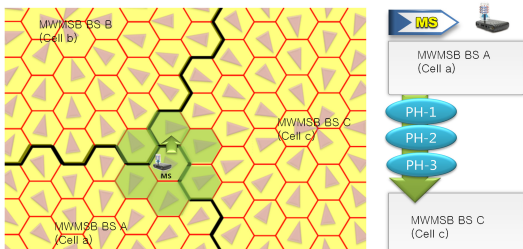


그림 7. 기지국간 핸드오버 시나리오
그림 7. The scenario of inter-BS handover.

성이 있는 셀 정보 리스트를 이용하여 단말이 타겟 셀을 결정하여 타겟 셀로 곧바로 접근한다. 반응적 핸드오버의 상세한 절차는 그림 8에 도시되어 있고 각 세부 절차에 대한 기능은 아래와 같다. 반응적 핸드오버 방식은 밀리미터파와 같은 고주파수 사용시 갑작스런 무선 신호 세기 저하 및 차단에 의한 단절이 빈번함을 고려할 때 핸드오버 명령을 소스 기지국으로 받지 못할 가능성이 많으므로 이로 인한 핸드오버 실패 확률을 상대적으로 줄일 수 있으나 단말이 타겟 셀을 결정해야 하므로 단말의 구현 복잡도가 증가될 수 있다.

- (PH-2,1): 이동 스테이션이 기지국에 의해 제공된 판단 기준에 근거하여 베스트 셀(예, 셀 c)를 결정한다.
- (PH-2,2): 이동 스테이션이 셀 c로 이동하기 전에 이동할 셀 및 빔 정보를 소스 셀(예, 셀 a)를 통해 기지국 A에 전달한다.
- (PH-2,3), (PH-2,4): 소스 기지국은 무선 송수신을 위한 PDCP 시퀀스 정보를 타겟 셀(예, 셀 c)로 전달한 다음 데이터 포워딩을 시작한다.
- (PH-2,5), (PH-2,6), (PH-2,7): 이동 스테이션은 비충돌 기반 RACH 절차를 통해 타겟 셀(예 셀 c)로 접속한다.
- (PH-2,8): (PH-2,5/6/7)에 의해 이동 스테이션이 타겟 기지국에 접속되면 앵커 기지국 및 앵커 셀이 변경되었다는 것을 소스 기지국에 전달한다.
- (PH-2,3a), (PH-2,4a): 소스 기지국인 (PH-2) 메시지를 수신하지 못하여 (PH-2,4)를 수행하지 못했다면 (PH-2,8) 메시지를 수신한 이후에 바로

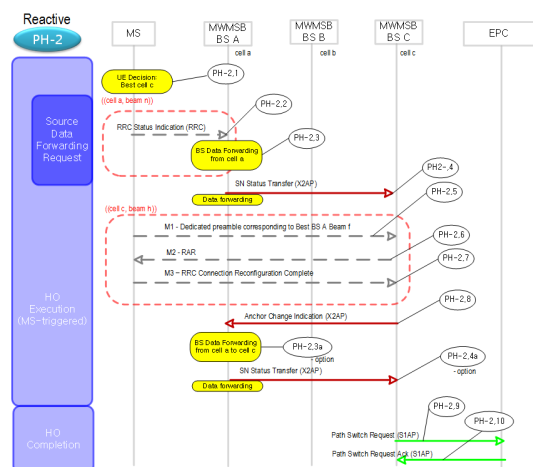


그림 8. PH-2에서의 반응적 핸드오버 절차
Fig. 8. Reactive HO procedure in PH-2.

(PH-2,3a), (PH-2,4a) 절차를 개시한다.

- (PH-2,9). (PH-2,10): 사용자 평면 경로가 EPC-기지국 A에서 EPC-기지국 C로 변경하기 위하여 타겟 기지국이 진화 패킷 코어(EPC. Evolved Packet Core)에게 경로 변경(Path Switch) 절차를 개시한다.

IV. 실험

밀리미터파 기반 다중 스팟 빔 셀룰러 시스템(MWMSB)에 관련된 용량 및 이동 성능을 비교하기 위하여 그림 9와 같은 네 가지 시스템(LTE-BS, LTE-A BS, LTE-A SCs, MWMSB)을 도입한다. 시뮬레이션은 LOS 환경만을 대상으로 하고 차단이 발생하지 않는 것을 가정한다. LTE 혹은 LTE-A BS에서 기지국 서비스 영역은 세 개의 섹터 셀로 구성되어 있다고 가정하고 LTE-A SCs 그리고 MWMSB는 각각 57개의 스몰 셀 혹은 57개의 빔을 가정하며 LTE-A 스몰 셀의 사이트와 MWMSB의 빔 중앙은 각각 일치된다고 가정한다.

- LTE-BS
 - 3GPP Case 1^[7], TDD ul-dl configuration 5
 - 2GHz center frequency, 20MHz, Antenna 4tx
 - BS coverage diameter 400m, height 50m, Tx power 30 dBm, 3cells/BS

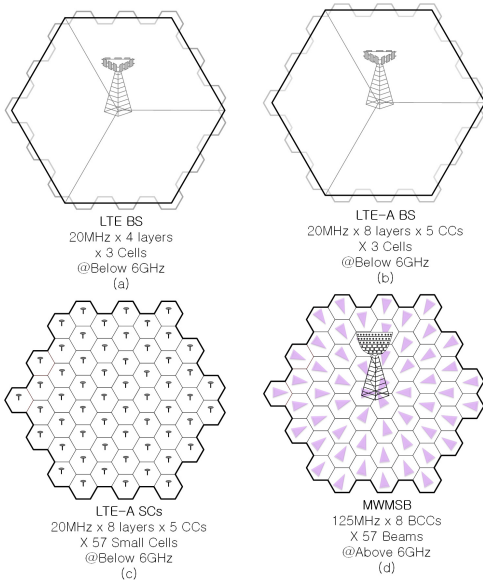


그림 9. 네 가지 시스템 구조
Fig. 9. Four system structures.

- LTE-A BS
 - 3GPP Case 1^[7], TDD ul-dl configuration 5
 - 2GHz center frequency, 20MHz up to 100MHz via CA, Antenna 8tx
 - BS coverage diameter 400m, height 50m, Tx power 30 dBm, 3cells/BS
- LTE-A SCs (Small Cells)
 - 3GPP Case1^[7], TDD ul-dl configuration 5
 - 2GHz center frequency, 20MHz up to 100MHz via CA, Antenna 8tx
 - Small cell coverage diameter 80m, height 15m, Tx power 23 dBm
 - 57 LTE-A small cells located at each beam center of Fig. 2 (b)
- MWMSB
 - 표 2과 표 3 참조

이동 성능 비교는 LTE BS와 MWMSB를 대상으로 하며 MWMSB는 그림 4 (a) 형태의 동적 셀 구성을 가정한다. 관련된 시스템 시뮬레이션 모델 및 파라미터들은 표 4와 같고 HO 실패에 판단은 [6]에서 정의한 핸드오버 실패 모델링에 기반하며 관련 파라미터는 표 5에 정의되어 있다. 이동 스테이션은 일반적으로 서빙 셀과 서빙 셀과 이웃한 셀별로 신호 세기를 매 주기(MP)마다 측정(M per Cell)하고 두 개의 필터 값(M_{Qout} , M_{Qin})이 MP마다 재계산되는데 현재 시점에서 지정된 윈도우 이전 시점에서의 현재 및 이전의 서빙 셀에 대한 M값들을 가지고 계산된다(윈도우는 M_{Qout} 을 위해서는 $MP \times 20$ ms을 설정하고 M_{Qin} 을 위해서는 $MP \times 10$ ms을 설정한다. M_{Qout} 이 Q_{out} 보다 작은 상황이 연속적으로 N310 회수만큼 반복되면 무선상에 문제가 있다고 판단하고 T310이 시작된다. T310이 만료되기 전에 M_{Qin} 이 Q_{in} 보다 큰 상황이 연속적으로 N311 회수만큼 반복되면 T310을 리셋하고 정상 상태로 인식한다. 그러나 T310이 만료되면 RLF로 결정하고 T311을 구동하고 T311이 만료될 동안 RLF 복구 절차를 연속적으로 시도할 수 있다. T311이 만료되기 전에 RLF 복구가 완료되면 T311을 리셋하고 정상 상태로 인식하고 T311이 만료되면 RLF 복구는 실패하고 아이들 상태로 진입한다. 본 시뮬레이션에서는 RLF로 결정되고 그 이후에 T311이 구동되면서 RLF 복구 절차들이 시도되는 것은 포함되지 않고 RLF가 결정되면 이를 로깅만 하고 이동 스테이션은

그 위치에서 즉시 다시 정상 동작을 시작하는 것을 가정한다. 하드 HO 프로세스 모델링을 위하여 이동 스테이션이 기지국이 제공한 hysteresis와 TTT를 가지고 서빙 셀 및 이웃 셀들 측정하는 과정에서 A3 이벤트 진입 조건을 어떤 값 혹은 어떤 시간만큼 빨리 혹은 느리게 하여 기지국에 보고할 수 있다. 기지국은 HO 과정을 두 개의 파트로 분리할 수 있다. 파트 1은 이동 스테이션이 A3 이벤트 진입을 기지국에 보고할 때부터 기지국이 핸드오버 명령(HO Command)를 내릴 때 가지이고 파트 2는 기지국이 핸드오버 명령을 내린 지점에서 타겟 셀로 핸드오버 완료(HO Complete)를 올릴 때 까지이다. RLF 모델링과 HO 모델링 [6][15]를 통하여 HO 실패는 다음과 같은 세 가지 조건을 만족할 때 로깅한다.

- 이동 스테이션이 핸드오버 명령(HO Command) 메시지를 받은 직후에 T310이 구동 중일 때
- HO 과정 파트 1 동안에 소스 셀에서 RLF 결정이 이루어 질 때
- HO 과정 파트 2 동안에 타겟 셀의 Mout이 Qout보다 연속적으로 N310 회수 만큼 작다고 판단 될 때 (핸드오버 명령을 수신한 직후부터 타겟 셀 측정이 이루어진다면 M_{Qout}을 위한 20개 샘플이 보장할 수 없기 때문에 2 샘플만 확보 되더라도 M_{Qout}을 계산하고 Qout과의 비교를 수행함)

핑퐁 동작을 평가하기 위하여, 이동 스테이션이 핸드오버 이후에 해당 셀에 머무르는 시간(TOS, Time Of Stay)에 대한 측정과 관련 기준 값(MTS,

표 3. MWMSB 시뮬레이션 파라미터
Table 3. MWMSB simulator parameters.

Parameters	Value
Beam no./base station	57 spot beams/BS
Base station coverage diameter	400 m
Cell no./base station	Fig 5 (h)
Base station antenna height	50 m
Duplex mode	TDD (similar to LTE Frame Structure Type 2, Uplink-downlink configuration 5)
BPH baseline beam pointing angle	Refer to Table 1
BPH baseline beam width	Refer to Table 1
Base station Tx power	30 dBm/Beam, 1tx/Beam
Center frequency	28 GHz
Bandwidth/Frequency/Subband	1GHz/27.5-28.5GHz/5EA
Free space Loss (L)	92.4+20log f+20log R dB
Path Loss (PL)	L + 10 dB

표 4. 이동성 관련 기본 파라미터
Table 4. Mobility-related baseline parameters.

Parameters	LTE BS	MWMSB
Cell Layout	21 EA macro cells (wrap-around) (one LTE BS has three macro sector cells and 7 LTE BSs are used)	7 EA macro cells (wrap-around) (one MWMSB BS has one cell composed of 57 BCCs at a specific layer like Figure 5 (a), and 7 EA MWMSB BSs are used)
Inter-Site distance	400 m	400 m
Transmission scheme	SU-MIMO	MU-MIMO (per cell) JT/JR (about BCCs belonging to the same cell)
BS TX Power	30 dBm	Refer to Table 3.
Penetration Loss	20 dB	
Path loss	3GPP Case I, FDD Macro-cell model 1 [7]	
Carrier Freq./Bandwidth	2.0GHz/ 10MHz	
MS Antenna gain	0 dBi	
Shadowing SD	8 dB	
Antenna Configuration	1x2	
Traffic model	Full buffer	Full buffer

표 5. RLF, HO, ping-pong 관련 파라미터
Table 5. RLF/HO/Ping pong-related parameters.

Parameters [6], [15]	Value
Qout (out-of-sync Quality)	-8 dB
Qin (in-sync Quality)	-6 dB
T310	1,000 ms (in case of LTE BS) 100 ms (in case of MWMSB)
N310	1 count
T311	This value is not applied in this simulation.
N311	1 count
HO preparation time	50 ms (in case of LTE BS) 0 ms (in case of MWMSB (because of Autonomous Resource Preparation/Cancellation Procedure depicted in Fig. 7 PH-1, PH-3))
HO execution time	40 ms (in case of LTE BS) 8 ms (in case of MWMSB)
Measurement period (MP)	10 ms (in case of LTE BS) 2 ms (in case of MWMSB)
Measurement Error Modelling	To obtain the 90 % bound for +/- 2 dB, a normal distribution with deviation = 2 dB / (sqrt(2)*erfinv(0.9)) = 1.216 dB can be used ([13])
MTS (Minimum-Time-of-Stay)	1 s

minimum time-of-stay)에 대한 정의가 필요하다. 셀 A에서의 이동 스테이션의 TOS는 이동 스테이션이 핸드오버 완료(HO Complete)를 셀 A에 보내고 난 이후부터 셀 A가 아닌 어떤 다른 셀로 핸드오버 완료(HO Complete) 메시지를 보낼 때까지의 시간을 의미한다. 그리고 이 TOS가 MTS보다 크다면 핑퐁으로 판단한다. 세 가지 이동성 성능 관련한 정의는 아래와 같다.

- RLF 평균 발생 회수 [단위: RLFs/MS/second] = (시뮬레이트 되는 모든 MS들의 총 RLF 발생 회수)/(시뮬레이트 되는 모든 MS들의 시뮬레이션 총 시간)/(시뮬레이트 되는 MS의 총 수)
- HO 실패율 [단위: %] = (HO 실패 회수)/(HO 시도 총 회수), 여기에서 핸드오버 시도 총 회수는 핸드오버 실패 회수에 성공적인 핸드오버의 회수를 합한 결과임
- 핑퐁 율 [단위: %] = (핑퐁의 회수)/(핸드오버 실패를 제외한 성공적인 핸드오버의 회수)

표 6은 이동성 성능을 분석하기 위한 다섯 가지 구성 셋을 도시하고 있다. 각 셋에서 이동 스테이션의 속도는 공통으로 네 가지 고정 속도(3, 30, 60, 120 km/h)를 가정하며 구성 셋별로 다른 TTT, A3 오프셋, 필터링 계수 값을 갖는다.

그림 10은 그림 9의 네 가지 시스템에 대한 최적 상태에서의 침투 시스템 용량을 도시하고 있다. 최적 상태라는 것은 해당 시스템에서 최고의 무선 신호 세기가 수신되는 장소를 선택하여 시스템의 제공 가능한 최대의 용량을 의미한다. LTE BS의 403 Mbps를 기준으로 비교할 때 LTE-A BS는 9.38배(3.78 Gbps), LTE-SCs는 178.13배(72.82 Gbps), MWMSB는 250.8배(101.123 Gbps)를 나타내고 있다. 최적 상태의 침투 용량만을 볼 때 MWMSB는 가장 높은 침투 용량을 제공한다.

그림 11은 그림 9의 네 가지 시스템에 대하여 동일한 서비스 영역을 고려하고 그 안에서 100개의 이동 스테이션에 대한 동일한 균일 분포를 가정하여 각각의 이동 스테이션이 경험하는 사용자 용량의 합으로 평균 시스템 용량을 정의한다. 하위 평균 시스템 용량은 100개의 이동 스테이션에 대한 각각의 사용자 용량에서 하위 10% 사용자 용량의 합을 하위 평균 사용자 용량으로 정의한다. LTE BS의 평균 시스템 용량 86.4Mbps를 기준으로 볼 때, LTE-A BS는 6.46배(558 Mbps), LTE-A SCs는 319.45배(27.601 Gbps), MWMSB는 248.71배(21.489 Gbps)이다. LTE BS의

표 6. HO 관련 구성 셋
Table 6. HO-related configuration sets.

	Set1	Set2	Set3	Set4	Set5
MS speed [km/h]	3, 30, 60, 120	3, 30, 60, 120	3, 30, 60, 120	3, 30, 60, 120	3, 30, 60, 120
TTT [ms]	480	160	160	80	40
A3 offset[dB]	3	3	2	1	1
RSRP L3 Filter k	4	4	1	1	0

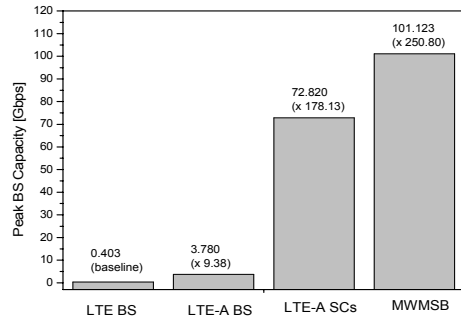


그림 10. 침투 시스템 용량
Fig. 10. Peak system Capacity.

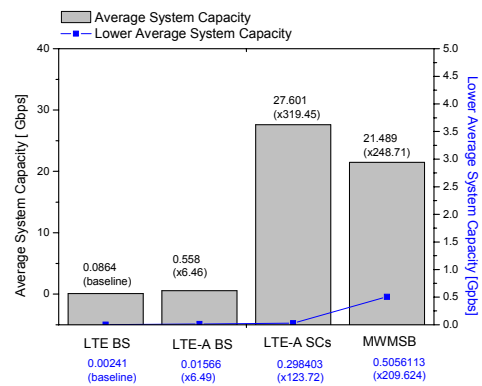


그림 11. 평균 시스템 용량
Fig. 11. Average system Capacity.

하위 평균 시스템 용량 2.41 Mbps를 기준으로 볼 때, LTE-A BS는 6.49배(15.66 Mbps), LTE-A SCs는 123.72배(298.403 Gbps), MWMSB는 209.624배(0.5056 Gbps)이다. LTE-A SCs와 비교할 때, MWMSB는 보다 낮은 평균 시스템 용량을 보이는 데 그 이유는 MWMSB는 고주파수를 사용하고 중앙에서 다수의 빔포밍 안테나가 동일한 BCC 영역을 만드므로 전체 서비스 영역 끝으로 갈 수록 신호 세기가 작아지며 용량 분석에 있어서는 모든 FA에 대하여 그림 4 (h) 동적 셀 구성을 가정하므로 BCC 영역간 간섭도 크므로 MWMSB의 침투 용량 대비 평균 시스템 용량이 크게 저하되었다. 그러나 하위 평균 시스템 용량의 절대적인 수치만으로 볼 때 MWMSB는 다소 높은 하위 평균 시스템 용량을 갖는다.

그림 12는 LTE-A SCs와 MWMSB에서의 이동 스테이션의 수의 변화에 따른 평균 시스템 용량을 도시하고 있다. 이동 스테이션의 수가 300보다 작은 경우 평균 시스템 용량은 LTE-A SCs가 MWMSB보다 크다. 그러나 이동 스테이션의 수가 300 이상을 넘으면

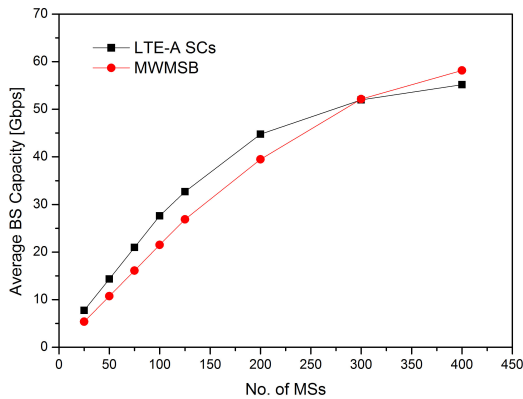


그림 12. 이동 스테이션의 수에 따른 평균 시스템 용량
Fig. 12. Average system Capacity Change according to the number of MS.

평균 시스템 용량은 MWMSB가 LTE-SCs보다 커지게 된다. 이 의미는 LTE-A SCs이든지 MWMSB이든지 이동 스테이션의 수가 많아질수록 해당 시스템의 침투 시스템 용량에는 결국 수렴하지만 처음에는 이동 스테이션의 수 증가에 따른 평균 시스템 용량의 증가가 뚜렷하지만 점점 그 증가율이 둔화되는데 각 시스템별 특성에 의하여 MWMSB가 침투 시스템 용량이 가장 크더라도 증가율에 차이가 있어서 어느 특정 이동 스테이션의 수 이하에서는 LTE-A SCs가 평균 시스템 용량이 클 수도 있다.

그림 13, 그림 14 그리고 그림 15를 통해 LTE BS에 대하여 표 6의 고정 이동 프로파일 구성 셋 5개에 대한 RLF, HO 실패, Ping pong에 관련된 성능을 도시하고 있다. 그림 14는 이동 스테이션 속도 120 km/h 그리고 표 6의 이동 프로파일 구성 셋 1에서 가장 열악한 RLF 성능을 나타내고 있음을 알 수 있다. 마찬가지로 그림 15는 이동 스테이션 속도 120 km/h 그리고 표 6의 프로파일 구성 셋 1에서 가장 열악한

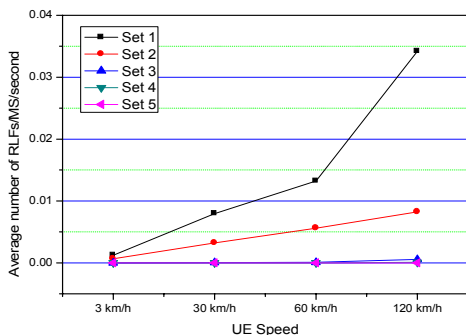


그림 13. LTE BS에서 다섯 가지 프로파일에 따른 RLF 성능
Fig. 13. RLF performance of five profiles on LTE BS.

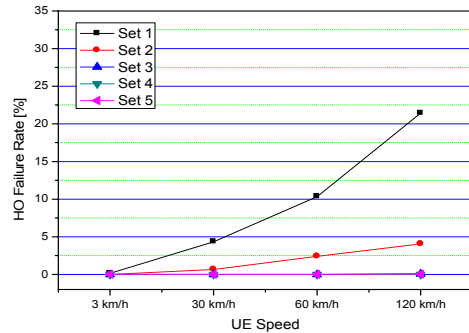


그림 14. LTE BS에서 다섯 가지 프로파일에 따른 HO 실패 성능
Fig. 14. HO failure performance of five profiles on LTE BS.

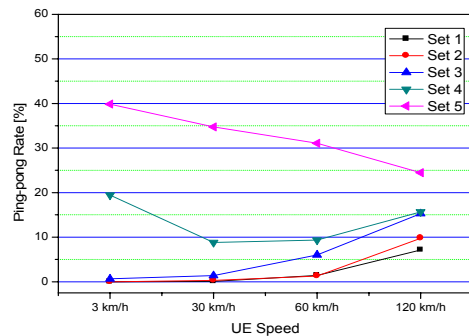


그림 15. LTE BS에서 다섯 가지 프로파일에 따른 Ping pong 성능
Fig. 15. Ping pong performance of five profiles on LTE BS.

HO 실패 성능을 보이고 있다. Ping pong의 경우는 이동 스테이션의 속도 3 km/h에 표 6의 프로파일 구성 셋 5에서 회수가 증가하게 된다.

그림 16, 그림 17 그리고 그림 18은 그림 12, 그림 13, 그림 14의 LTE BS에 대한 이동성 성능 결과를 토대로 LTE BS에서 가장 열악한 이동성 성능을 갖는 조건을 동일하게 하여 LTE BS를 기준으로 MWMSB-Proactive와 MWMSB-Reactive에 대한 이동성 성능을 비교하였다. 이때 MWMSB는 그림 4의 (a) DCC를 기준으로 이동성 성능을 비교한다.

그림 16은 표 6의 고정 이동 프로파일 셋 1과 이동 스테이션 속도 120 km/h에서의 LTE BS, MWMSB-Proactive 그리고 MWMSB-Reactive에 대하여 RLF 성능을 나타내고 있다. LTE BS의 결과 (0.03417)를 기준으로 비교할 때 MWMSB-Proactive와 MWMSB-Reactive에 대한 RLF 성능은 향상되었다(RLF 빈도가 낮아짐)(MWMSB-Proactive: -13.87%, MWMSB-Reactive: -16.82%).

그림 17은 표 6의 고정 이동 프로파일 셋 1과 이동 스테이션 속도 120 km/h에서의 LTE BS, MWMSB-Proactive 그리고 MWMSB-Reactive에 대하여 HO 실패 성능을 나타내고 있다. LTE BS의 결

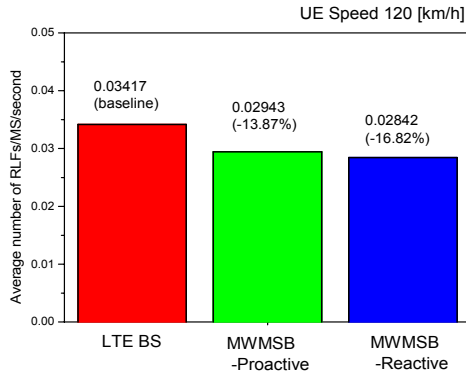


그림 16. 프로파일 셋 1기반 세 가지 경우의 RLF 성능
Fig. 16. RLF performance on three cases based on profile set1.

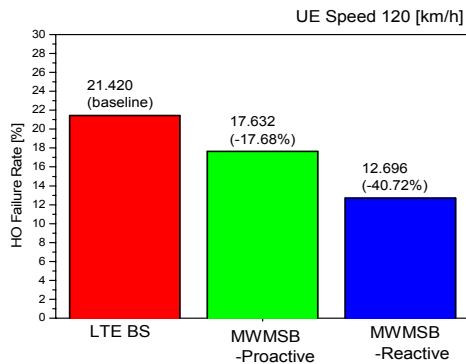


그림 17. 프로파일 셋 1기반 세 가지 경우의 HO 실패 성능
Fig. 17. HO failure performance on three cases based on profile set1.

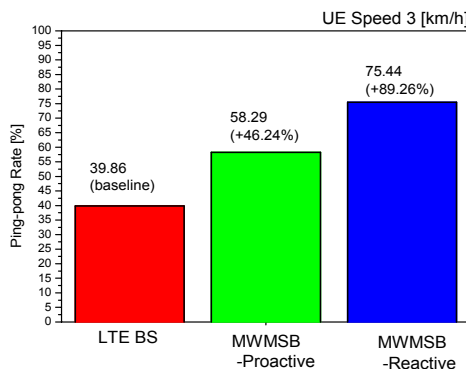


그림 18. 프로파일 셋 5기반 세 가지 경우의 Ping pong 성능
Fig. 18. Ping pong performance on three cases based on profile set5.

과(21.420%)를 기준으로 비교할 때 MWMSB-Proactive와 MWMSB-Reactive에 대한 HO 실패 성능은 향상되었다(HO 실패 빈도가 낮아짐)(MWMSB-Proactive: -17.68%, MWMSB-Reactive: -40.72%). RLF 성능은 MWMSB-Reactive, MWMSB-Proactive, LTE BS의 순으로 높다. 그림 16과 그림 17에서와 같이 LTE BS 보다 MWMSB의 RLF 빈도 및 HO 실패 빈도가 작아지는 이유는 시뮬레이션에서 LOS 환경 및 Non-blockage만을 가정하고 있고 그림 4 (a) DCC에 의한 자연스런 연합 전송에 의한 소프트 컴바이닝 효과가 영향을 준 것으로 추정된다. 그리고 Proactive는 핸드오버 명령(HO Command)를 소스 셀에 받아야만 하고 동시에 타겟 셀에 접속되므로 두 셀에서의 무선 품질이 좋은 조건에서만 핸드오버가 가능하지만 Reactive는 소스 셀 무선 품질에 상관없이 타겟 셀 무선 품질만 좋으면 되기 때문에 Reactive가 Proactive 보다 RLF 빈도 및 HO 실패 빈도가 작아질 수 있기 때문이라고 추정된다.

그림 18은 표 6의 고정 이동 프로파일 셋 5과 이동 스테이션 속도 3 km/h에서의 LTE BS, MWMSB-Proactive 그리고 MWMSB-Reactive에 대하여 Ping pong 성능을 나타내고 있다. LTE BS의 결과(39.86%)를 기준으로 비교할 때 MWMSB-Proactive와 MWMSB-Reactive에 대한 Ping pong 성능은 저하되었다(Ping pong 빈도가 높아짐)(MWMSB-Proactive: +46.24%, MWMSB-Reactive: 89.26%). 여기에서 주목할 점은 MWMSB-Reactive에 대한 Ping pong 빈도가 가장 높다는 것으로 소스 셀의 급격한 무선 품질 저하 시 가장 좋은 타겟 셀을 단말이 선택하게 하는 방식은 RLF 및 HO 실패 빈도를 낮추는 특성을 부여하지만 반대로 이런 방식은 Ping pong의 빈도를 높일 수도 있는 특성을 부여할 수 있다.

MWMSB의 이동성 성능은 이상적인 특정 환경(LOS 그리고 Non-blockage)을 가정하였지만 이러한 제한된 환경에서 그림 4의 (a)와 동적 셀 구성 방법을 통하여 RLF, HO 실패 그리고 Ping pong 관련된 성능에서 LTE BS와 유사한 이동성 성능을 가질 수도 있다.

V. 결론

본 논문에서는 중앙 집중형 밀리미터파 기반 다중 스팟 빔 셀룰러 시스템(MWMSB)에 대한 전체적인 시스템 구조, 기본 시스템 동작 그리고 이동성 관리 방

법을 소개하였고 이상적 환경(LOS 및 Non-blockage)에서 용량 및 이동성 성능 관점에서 시스템의 성능에 대한 평가를 수행하였다. MWMSB는 다른 시스템들에 비해 대용량을 제공할 수 있는 시스템이 될 수 있고 이상적 환경에서는 LTE BS와 비슷한 이동성 성능도 제공할 수 있었다. MWMSB는 LTE BS 대비 250배(즉, 100 Gbps)의 첨두 시스템 용량을 제공할 수 있으나 이러한 첨두 시스템 용량을 실제 시스템에서 사용하기 위해서는 이동 스테이션의 수 및 위치에 따른 시공간적 트래픽 부하 변화에 능동적으로 적응하여 다양한 다계층 동적 셀 구성을 수행하여 시스템 이용도를 최적화할 방법들이 추가적으로 연구되어야 한다. 또한 영역 계층 용도의 동적 셀 구성 방법을 이용하여 이상적인 환경에서 LTE BS와 유사한 이동성 성능을 갖을 수 있는 가능성을 보았고 따라서 이 시스템을 기존 셀룰러 시스템의 보조적 수단이 아닌 독립적인 시스템으로 활용할 수 있는 가능성을 볼 수 있었다. 제어 평면과 사용자 평면을 분리하여 사용자 평면용 용량 계층에 소속된 서브밴드들에 대하여 용량 계층 다계층 동적 셀구성을 이용하여 다양한 형태의 가상 스몰 셀을 구성하여 간섭과 이동 스테이션의 이동 속도 등을 감안하여 효과적으로 용량을 지원할 수 있는 시스템 운용의 예를 살펴보았다. 물론 MWMSB는 기존 셀룰러 시스템에 대한 보조적 시스템으로 사용하여 용량을 제공하기 위한 가상 스몰 셀 기능만을 수행할 수도 있다.

결론적으로, MWMSB는 다계층 동적 셀 구성 방법을 이용하여 영역 계층과 용량 계층으로 구분하여 운용함으로써 가상 매크로 셀 효과 및 가상 스몰셀 효과를 제공할 수 있고 가상 스몰 셀의 제어를 영역 계층을 통해 수행할 수 있으며 이상적 환경에 근접한 실제 환경들에서는 독립적인 시스템으로도 동작할 수 있을 가능성이 있고 용량 계층에서 해당하는 계층들 간의 간섭을 회피하는 형태로 다계층 동적 셀 구성을 통해 단말에 효과적인 용량 제공이 가능 할 수 있다.

References

[1] Draft new Recommendation ITU-R M.[IMT. VISION], Jun. 2015.
 [2] 3GPP Tdoc SP-150149, "5G" timeline in 3GPP, Mar. 2015.
 [3] Public Private Partnership in Horizon 2020, "Advanced 5G Network Infrastructure for the Future Internet," Oct. 2013.

[4] Z. Pi and F. Khan, "An introduction to millimeter-wave mobile broadband systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 6, pp. 101-107, Jun. 2011.
 [5] C.-S. Lee, M.-C. Lee, C.-J. Huang, and T.-S. Lee, "Sectorization with beam pattern design using 3D beamforming techniques," *APSIPA 2013*, pp. 1-5, Oct. 2013.
 [6] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, *Study on Small Cell enhancements for E-UTRA and E-UTRAN Higher layer aspects*, TR 36.842 v12.0.0, 2013.
 [7] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, *Further advancements for E-UTRA physical layer aspects*, TR 36.814 v9.0.0, 2010.
 [8] S. Rangan, T. S. Rappaport, and E. Erkip, "Millimeter-wave cellular wireless networks: Potentials and challenges," in *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 3, pp. 366-383, 2011.
 [9] S.-G. Park and D.-Y. Kim, "Downlink multi-point transmission effect using aggregate base station architecture," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E94B, no. 12, pp. 3374-3377, Dec. 2011.
 [10] T.-H. Kim, Q. Yang, J.-H. Lee and S.-G. Park, and Y.-S. Shin, "A mobility management technique with simple handover prediction for 3G LTE Systems," *IEEE VTC-2007 Fall*, pp. 259-263, Sept. 2007.
 [11] S.-G. Park, Y.-S. Shin, and P.-J. Song, "LTE-advanced mobility performance enhancement in dense small cell environment," *ICTC 2013*, pp. 262-267, Oct. 2013.
 [12] S.-G. Park, B.-H. Ryu, and N.-H. Park, "The impact of cloud base station's coordinated multi-point schemes on mobility performance," *ICTC 2012*, pp. 660-665, Oct. 2012.
 [13] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, *Requirements of support of radio resource management*, TS 36.133 v10.3.0, 2011.
 [14] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, *Mobility enhancements in heterogeneous networks*, TR 36.839 v11.1.0,

- 2012.
- [15] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, *Radio Resource Control*, TR 36.331 v11.1.0, 2012.
 - [16] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network, *E-UTRA and E-UTRAN Overall description*, TR 36.300 v12.0.0, 2013.
 - [17] M. Kim and Y. Ko, "Channel estimation and analog beam selection for uplink multiuser hybrid beamforming system," *J. KICS*, vol. 40, no. 3, pp. 459-468, 2015.
 - [18] Y. Kim and H. Ryu, "Blind turbo equalization system with beamforming," *J. KICS*, vol. 38, no. 10, pp. 850-857, 2013.
 - [19] J. Lee and K. Kim, "Soft-decision algorithm with low complexity for MIMO systems using high-order modulations," *J. KICS*, vol. 40, no. 6, pp. 981-989, 2015.
 - [20] S.-G. Park and Y.-S. Choi, "Novel cellular system design using standalone and centralized mmWave-based multi-spot beam structure," *IJCA*, vol. 8, no. 2, pp. 337-350, Feb. 2015.
 - [21] S.-G. Park and Y.-S. Choi, "Mobility enhancement in centralized mmWave-based multi-spot beam cellular system," *ICTC 2015*, pp. 200-205, Oct. 2015.
 - [22] M. R. Akdeniz, Y. Liu, M. K. Samimi, S. Sun, S. Rangan, T. S. Rappaport, and E. Erkip, "Millimeter wave channel modeling and cellular capacity evaluation," *IEEE. J. Sel. Areas on Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1164-1179, Jun. 2014.

박 순 기 (Soon-gi Park)



1993년 : 충남대학교 전기공학과
육과 학사
1995년 : 충남대학교 전기공학과
석사
2012년 : 충남대학교 정보통신공
학과 박사
1995년~2000년 : 대우중공업
주임연구원

2000년~현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
<관심분야> 이동 통신, 무선자원관리, 차세대 액세스
스 네트워크

최 용 석 (Yong-seouk Choi)



1990년 : 홍익대학교 전기공학과
학사
1992년 : 홍익대학교 전기공학과
석사
2007년 : 충북대학교 정보통신공
학과 박사
1992년~1999년 : 한화통신 연구원

1999년~현재 : 한국전자통신연구원 실장 (책임연구원)
<관심분야> 이동 통신, 차세대 액세스 네트워크

김 태 중 (Tae-joong Kim)



1991년 : 연세대학교 전기공학과
학사
1993년 : 연세대학교 전기공학과
석사
1998년 : 연세대학교 전기공학과
박사
1998년~2000년 : 한국전자통신
연구원 선임연구원

2000년~2006년 : (주) 이오넥스 수석연구원
2006년~현재 : 한국전자통신연구원 부장 (책임연구원)
<관심분야> 이동 통신, 3GPP LTE, mmWave 통신