

# mmWave 기반 5G RAN 기술 동향

Trends in 5G Radio Access Network Technologies Based on mmWave

이남석 (N.S. Lee, namsuk@etri.re.kr)

기가엑세스연구실 책임연구원

박만호 (M.H. Park, Mano@etri.re.kr)

기가엑세스연구실 책임연구원

최용석 (Y.S. Choi, Choisy@etri.re.kr)

기가엑세스연구실 책임연구원/실장

\* 이 논문은 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 '범부처 Giga KOREA 사업'의 지원을 받아 수행된 연구입[No.GK17N0100, 밀리미터파 5G 이동통신 시스템 개발].

The research, design, and development of wireless access technologies using the new 6 to 100GHz band mmWave are actively underway in order to address the frequency shortage problem in the sub-6GHz band and accommodate the 5G technical requirements, such as the increased transmission capacity. Technical elements to efficiently overcome the problems caused by mmWave signal characteristics, support an effective interworking with a conventional communication service, and ensure smooth mobility between mmWave base stations and existing base stations are also being investigated. This paper discusses the technical solutions for an mmWave-based 5G RAN configuration and their considerations under various operational scenarios.



본 저작물은 공공누리 제4유형  
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

2017  
Electronics and  
Telecommunications  
Trends

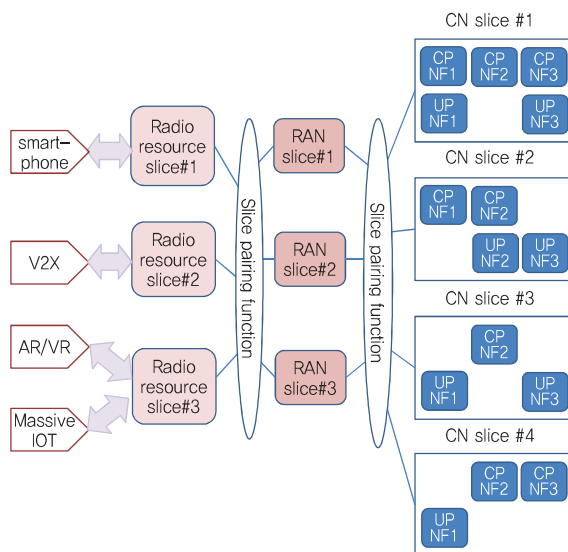
I. 서론  
II. mmWave 기반 5G RAN  
기술  
III. 결론

## I. 서론

다양한 이동통신 서비스 요구의 폭발적인 증가는 기존 6GHz 이하 대역의 스펙트럼 효율성과 용량 증대 만으로는 이를 만족시키기에 한계가 있다. 특히, 5G 요구 사항은 높은 데이터 전송률, 매우 낮은 지연, 많은 수의 디바이스를 처리할 수 있는 능력, 초 고신뢰도 및 에너지 효율성 등을 포함하고 있다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위해 mmWave 기반의 새로운 무선 접속 기술을 적용한 5G RAN(Radio access network) 시스템에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

mmWave 주파수 대역은 6~100GHz로 6GHz 이하의 기존 대역에 비해 이용할 수 있는 연속적인 넓은 대역폭이 존재한다. 그러므로 서비스 요구 사항에 적합한 다양한 무선 접속 기술의 적용이 용이할 수 있다. 이에 반해 짧은 전파 도달 거리로 인한 좁은 서비스 영역, 장애물에 의한 전파장애/차단, 이동성 지원 및 신뢰성 있는 데이터 전송 등 극복해야 하는 많은 기술적 요소에 관한 연구가 필요하다[1].

본고는 mmWave를 기반으로 5G RAN을 구성할 때 고려해야 할 기술적 요소로서 네트워크 슬라이스



(그림 1) 5G 네트워크 슬라이스

(Network slice)를 지원하기 위한 RAN 설계 시 요구 사항 그리고 이동성, 신뢰성 및 서비스 영역 확대를 위한 Multi-connectivity 및 AP(Access point) 클러스터링(Clustering) 기술, 빔포밍 기반 AP에 접속하기 위한 초기 접속 및 이동성 지원 기술, 동일한 mmWave 대역을 이용하여 무선 백홀 및 액세스를 동시에 지원할 수 있는 셀프 백홀링(Self-backhauling) 기술 동향에 관해서 기술한다.

## II. mmWave 기반 5G RAN 기술

### 1. 5G RAN 설계 요구 사항

네트워크 소프트웨어화는 5G 네트워크 진화에서 매우 중요한 요소로서 공통의 물리적 네트워크 인프라를 하드웨어와 소프트웨어로 분리하고, SDN(Software defined network)과 NFV(Network function virtualization) 기술을 통해서 서비스 시나리오 및 비즈니스 모델에 따라 다양한 논리적 또는 가상 네트워크 구성을 가능하게 한다. 이러한 논리적 또는 가상 네트워크를 네트워크 슬라이스라 정의한다. 네트워크 슬라이스는 주로 비즈니스 요구에 따라 다양한 서비스 기반의 5G 요구 사항을 만족시켜야 한다.

(그림 1)과 같이 네트워크 슬라이스는 주로 5G 코어 네트워크를 위해 제안되었으며, SDN과 NFV를 이용하여 가상화된 코어 네트워크를 비즈니스 목적에 따라 동적으로 구성할 수 있게 한다. 5G RAN은 다양한 목적의 네트워크 슬라이스 구성이 가능하도록 각 슬라이스의 특성에 적합한 기능 및 자원을 배분할 수 있도록 설계되어야 한다[2].

네트워크 슬라이스의 영향 및 지원을 고려하여 RAN 설계 시에 필요한 요구 사항은 다음과 같다[3], [4].

- 자원 이용률 극대화  
서비스 또는 비즈니스 시나리오에 의해서 다수

의 네트워크 슬라이스가 구성되고 각 네트워크 슬라이스는 개별적인 물리적 네트워크로 구성되 기보다는 동일한 물리적 네트워크 인프라에서 다수의 논리적 네트워크로 구성된다. RAN은 다 수의 네트워크 슬라이스 간에 무선 자원, 전송 링크 및 인프라 자원의 효율적 이용을 지원해야 한다. 예로 데이터 전송률 변화가 크지 않으며 저 지연 및 초 신뢰성이 요구되는 네트워크 슬라이스의 경우 정적으로 독립된 무선 자원을 할당 하는 것이 효율적이다. 반대로 급격하게 변화하는 트래픽 패턴을 가지는 네트워크 슬라이스들 에 대해 전용 자원을 배분하는 경우 자원 이용률 이 낮거나 데이터 손실이 발생할 수 있다. 이러 한 네트워크 슬라이스들의 경우 공유 자원을 할 당하고 스케줄링 메커니즘에 의해서 자원을 할 당하면 자원 이용률을 높일 수 있다. 그러므로 RAN 설계 시 슬라이스의 트래픽 요구 사항에 적합한 자원 할당 알고리즘을 고려해야 한다.

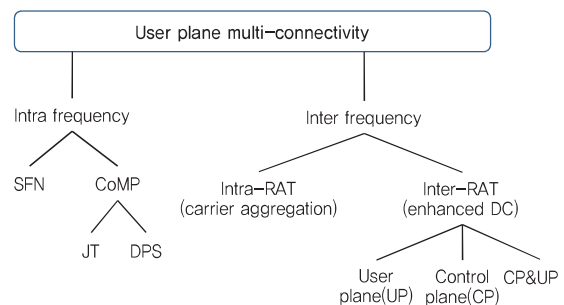
- 네트워크 슬라이스 식별  
현재 3GPP 코어 네트워크는 QoS(Quality of service) 메커니즘을 지원하고 있다. 이러한 메 커니즘이 RAN에서 네트워크 슬라이스 식별 없 이 모든 네트워크 슬라이스에 적용 가능한지 검 토할 필요가 있다. 예로서 RAN에서 공유된 무 선 자원을 스케줄링할 때 각 네트워크 슬라이스 에 대한 우선순위 정보가 필요할 수 있다. 이를 지원하기 위해서는 네트워크 슬라이스 식별자 정보가 요구된다.
- 트래픽 타입 구별 메커니즘  
네트워크 슬라이스의 트래픽 타입에 우선순위를 적용하기 위한 메커니즘이 요구된다. RAN의 스 케줄러는 슬라이스 간 및 슬라이스 내 트래픽 흐 름의 우선순위를 구별하여 자원을 할당하기 위 한 추가적인 기능이 요구되는지 검증할 필요가 있다.

- 보호 메커니즘 지원  
다수의 네트워크 슬라이스가 무선 자원을 공유 할 때 슬라이스 간의 영향을 최소화 하는 것이 요구된다. 하나의 네트워크 슬라이스에서 트래 픽 혼잡이 발생한 경우 다른 네트워크 슬라이스 에 영향을 미치지 않도록 슬라이스 간의 보호 메 커니즘 설계가 필요하다.
- 인프라 관리 지원  
이동성, 트래픽 패턴, 지연 및 지터(Jitter) 등의 네트워크 슬라이스 요구 사항에 적합하게 슬라이스의 생성, 변경 및 삭제를 지원할 수 있는 인 프라 관리 메커니즘을 위한 인터페이스 설계가 요구된다.

## 2. Multi-connectivity

mmWave는 넓은 연속적인 대역폭, 증가된 전파 지향 성 및 소형화된 안테나를 지원할 수 있는 장점이 있다. 이에 반해 신호 감쇄 및 손실이 크므로 전파 도달 거 리가 작고 장애물에 의한 전파 방해/차단이 심하게 발생 한다. 이를 극복하고 서비스 영역, 이동성, 신뢰성 및 가 용성을 제공하기 위해서 mmWave AP 간 또는 서로 다른 RAT(Radio access technology) 간 Multi-connectivity의 지원이 요구된다.

Multi-connectivity는 단말이 다양한 기지국 또는 AP 와 다수의 연결을 설정하고 유지하는 것을 의미한다. (그림 2)는 Multi-connectivity를 지원하기 위해 적용할



(그림 2) Multi-connectivity 분류

수 있는 기술들을 보여주며 이러한 기술들을 mmWave 기반 RAN에 적용할 때 요구되는 추가적인 기술적 요소들을 검토할 필요가 있다.

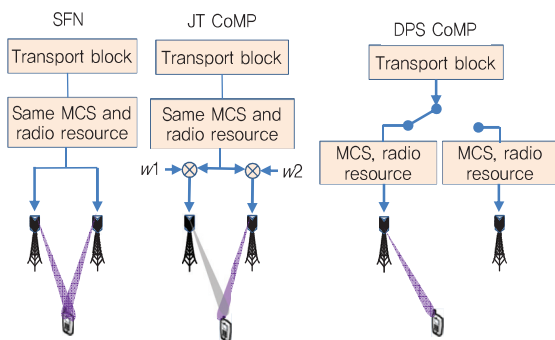
Multi-connectivity 타입은 시스템에 적용한 주파수를 기반으로 Intra-frequency 및 Inter-frequency multi-connectivity로 구분할 수 있다[5], [6].

### 가. Intra-Frequency Multi-connectivity

Intra-frequency 기반 Multi-connectivity는 스케줄러에서 MCS(Modulation and coding scheme) 및 전송 자원, 방법 등을 조절하기 위해 공통 MAC(Medium access control) 계층이 필요하다. 또한, AP 간 동기화를 위해 AP까지의 전송 지연이 매우 작아야 한다. (그림 3)은 Intra-frequency multi-connectivity 기술들을 나타낸다.

- SFN(Single frequency network)
 

SFN은 다수의 AP에서 같은 주파수로 전송된 신호가 단말에서 OFDM(Orthogonal frequency division multiplexing) 심볼의 Cyclic prefix 내에 수신되도록 동기화되어야 한다. 브로드캐스트/멀티캐스트 전송의 경우 단말의 채널 정보 없이 AP에서 동일한 데이터를 같은 MCS 및 무선 자원을 이용하여 전송한다. 특정 단말에 대한 전송인 경우 단말로부터 빔 정보를 수신하여 이를 기반으로 선택된 AP 및 빔을 통해서 동일한



(그림 3) Intra-frequency multi-connectivity

데이터를 같은 MCS 및 무선 자원을 이용하여 전송한다. 단말은 다수 AP에서 수신된 신호를 조합하여 데이터를 수신함으로써 장애물로 인한 전파 차단/방해를 극복할 수 있다.

- JT-CoMP(Joint transmission CoMP)
 

단말은 각 AP로부터 수신된 빔 참조 신호를 측정하여 AP ID, 빔 ID 및 채널 상태 정보를 기지국에 전송한다. 이를 기반으로 JT-CoMP는 AP 간 가중치를 계산하고 동일한 MCS 및 무선 자원을 이용하여 서로 다른 가중치가 적용된 AP들을 통해서 데이터를 전송한다. 장애물에 의해서 한쪽 빔의 신호가 차단되어도 다른 빔에서 신호를 수신하기 때문에 전파 차단에 의한 서비스 단절을 극복할 수 있고 수신 신호 품질을 향상시킬 수 있다.
- DPS CoMP(Dynamic point selection CoMP)
 

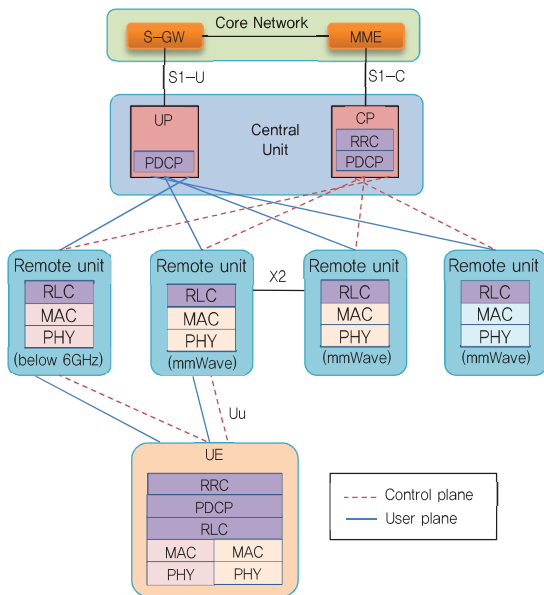
단말이 전송한 각 AP 및 빔에 대한 채널 정보를 기반으로 단말에 최적의 AP 및 빔을 선택하여 데이터를 전송한다. 서빙 빔이 장애물에 의해서 전파 차단이 발생한 경우 다른 AP의 빔으로 빠르게 빔 스위칭을 수행하여 서비스의 연속성 또는 이동성을 지원할 수 있다.

### 나. Inter-Frequency Multi-connectivity

- Intra-RAT: CA(Carrier aggregation)
 

CA는 두 개 이상의 캐리어 주파수를 이용하여 데이터를 송수신한다. mmWave 주파수 대역은 가용한 연속적인 주파수 대역폭을 이용할 수 있다. 넓은 주파수 대역폭을 다수의 캐리어 주파수로 나누어 대용량의 트래픽 전송 및 다양한 서비스 타입에 적합한 RAT를 구성할 수 있다.
- Inter-RAT connectivity
 

mmWave는 넓은 주파수 대역폭을 지원할 수 있으므로 주파수 대역을 다수의 캐리어 주파수로 나누고 서비스 요구 사항에 따라 서로 다른



(그림 4) Inter-RAT multi-connectivity

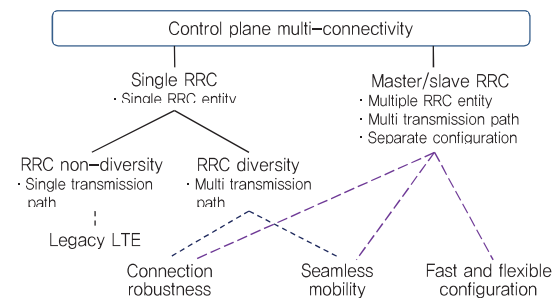
Numerology를 적용하여 다수의 RAT를 구성할 수 있다. 또한, 6GHz 이하 대역 RAT와 mmWave 대역 RAT를 이용하여 네트워크를 구성할 수 있다. 단말은 다수의 RAT와 동시에 연결을 설정할 수 있는 기능을 지원해야 한다.

DC(Dual connectivity)는 소형셀의 성능 개선을 위해 LTE Rel-12에서 제안되었으며, X2 인터페이스를 통해 Non-ideal backhaul로 연결된 매크로셀 eNB와 소형셀 eNB에서 동시에 데이터를 전송할 수 있는 특징을 가진다. 두 셀의 연결 융합은 S-GW(Serving GateWay) 또는 PDCP(Packet data convergence protocol) 계층에서 가능하다. (그림 4)와 같이 PDCP 계층 기반 DC를 확장하여 mmWave inter-RAT multi-connectivity을 지원할 수 있으며 PDCP 계층에서 다수의 RAT 연결이 통합된다. PDCP 계층의 사용자 평면 제어기는 mmWave AP 간에 데이터의 저장, 분배, 조절을 수행한다. 또한, 수신된 데이터 패킷의 순차적 전송을 보장한다. 서로 다른 RAT를 통해서 동시에 데이터를 전송하는 경우 RAT 간 전송 대역폭 및 전송 지연을 고려하여 트래픽 전송량

을 제어해서 PDCP 계층의 순차적 데이터 전송 처리 지연이 발생하지 않도록 해야 한다[7].

### 다. 제어 평면 Multi-connectivity

현재 3GPP의 DC에서 RRC(Radio resource control) 엔티티(Entity)는 1개로 Master eNB에 위치하며, 단말은 Master eNB로만 RRC 메시지를 송수신한다. 5G multi-RAT 구조에서 저주파수 대역의 RAT가 구성되는 경우 단일 RRC 엔티티를 구성하여 모든 RRC 메시지는 저주파수 대역 RAT를 이용하여 전송될 수 있다. 반면에 (그림 5)와 같이 제어 평면 Multi-connectivity를 통하여 제어 평면의 이동성, 신뢰성 및 지연 등의 성능을 개선시킬 수 있다. RRC multi-connectivity는 단일 RRC 다이버시티와 다중 RRC 엔티티 방식으로 구분된다. 단일 RRC 다이버시티는 1개의 RRC 엔티티에서 RRC 메시지가 다중 전송 경로를 통해서 전송됨으로 제어 평면 데이터의 신뢰성 있는 전송과 끊임없는 이동성을 지원할 수 있다. 다중 RRC 엔티티 구조는 5G 분산 시나리오에 따라 다수의 RRC 연결을 설정하고 각 RRC 엔티티는 단말과 직접 설정된 연결을 통해서 RRC 메시지를 전송한다. 이와 같은 방식은 고신뢰 MTC (Machine type communication)를 위한 빠른 연결 구성 및 연결의 신뢰성을 개선할 수 있다[4].



(그림 5) 제어 평면 multi-connectivity

### 3. mmWave 액세스 포인트 클러스터링

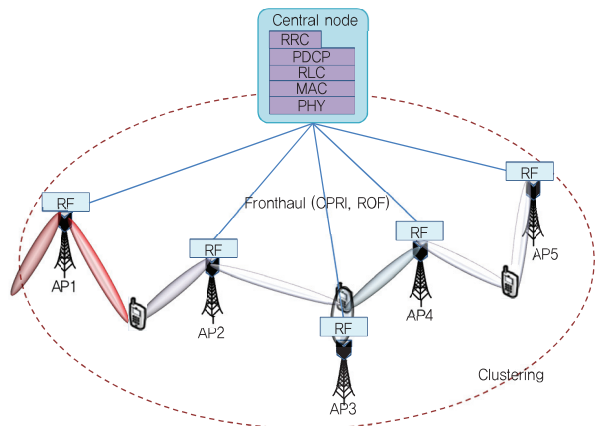
mmWave 기반 이동통신 시스템은 빔 기반의 안테나

패턴을 이용한다. 이는 단말의 작은 이동 또는 회전에 의해서 빔 지향성이 변경되면 서비스 영역, 신호 품질 및 채널 품질에 동적인 변화를 일으킨다. 또한, 장애물에 의한 신호 차단이 발생하기 쉬워 빔 서비스 영역을 크게 줄일 수 있으며 다른 AP의 빔으로 빈번한 핸드오버를 발생시킨다. 이를 극복하기 위한 방법으로 코어 네트워크에 영향을 미치지 않고 단말의 이동성을 지원할 수 있는 AP 클러스터링을 이용할 수 있다. AP 클러스터 내에서 단말의 이동 또는 장애물의 전파 차단에 따른 노드 간 또는 빔 간 핸드오버는 코어 네트워크 시그널링 없이 클러스터 내에서 수행된다.

클러스터는 단말에 서비스를 제공할 수 있는 AP들의 그룹이다. 이러한 클러스터는 각 단말의 위치를 기반으로 구성되며 단말의 이동에 따라 AP가 클러스터에 추가/삭제된다. 클러스터 내에서 단말의 이동에 따른 AP 내의 빔 스위칭 또는 AP 간 빔 핸드오버를 조정하기 위해 임의의 AP를 클러스터 헤드로 지정한다. 클러스터 헤드는 코어 네트워크 및 클러스터 내의 모든 AP와 연결을 설정한다. 클러스터의 구성 방법은 AP까지의 전송 링크 품질 및 용량에 따라서 프론티홀(Fronthaul) 및 미드홀(Midhaul) 기반 클러스터링으로 구분한다[8], [9].

### 가. 프론티홀 기반 클러스터링

프론티홀 기반 클러스터링은 기지국을 CU(Central unit)와 RU(Radio unit)로 나눈다. CU는 모든 제어 평면과 사용자 평면의 프로토콜 기능을 처리한다. AP는 RU 기능을 수행하며 RRH(Remote radio head) 처럼 RF 부분을 처리한다. 단말은 빔 참조 신호를 측정하여 최적의 AP 및 빔 정보 리스트를 CU에 전송하면 CU는 단말에 서비스를 제공할 AP 및 빔을 결정한다. AP는 아날로그 빔포밍을 수행하며 이때 빔 간 가중치 정보는 CU로부터 수신한다. CU는 단말의 신호 감쇄 또는 장애물에 의한 전파 차단이 발생한 경우 다른 서비스 가능한



(그림 6) 프론티홀 기반 클러스터링

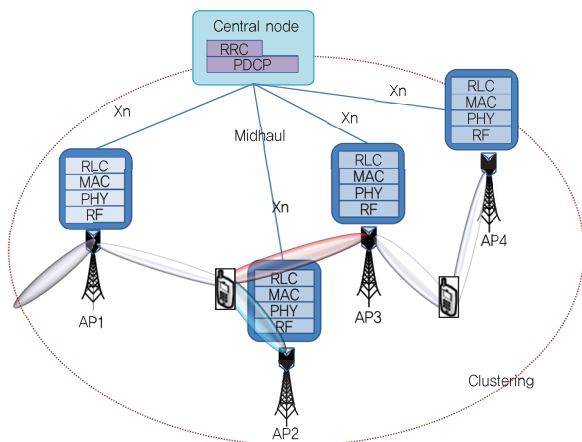
AP로 빠른 빔 스위칭을 수행한다. 이를 위해 클러스터 헤드는 단말에서 이용 가능한 AP 및 빔 정보를 추적, 관리해야 한다.

CU와 액세스 포인트들 간에는 (그림 6)과 같이 광기반 CPRI(Common public radio interface)를 통해서 연결된다. mmWave는 광 대역폭을 지원하기 때문에 CU와 AP 간 I/Q 데이터 전송을 위한 대용량의 광선로가 요구됨으로 이를 해결하기 위한 RoF(Radio over fibre) 기술이 요구된다.

### 나. 미드홀 기반 클러스터링

대역폭이 제한된 전송 링크를 이용하는 경우 미드홀 기반의 클러스터링을 구성한다. (그림 7)과 같이 CU는 지연에 덜 민감한 프로토콜 스택을 처리한다. 액세스 포인트는 지연에 민감한 RLC(Radio link control) 계층까지 처리할 수 있으며 자원 할당 및 빔포밍 기능을 수행한다.

미드홀 기반 클러스터링 설정 방법은 분산 모드와 중앙집중 모드로 구분할 수 있다. 분산 모드에서 클러스터 헤드는 클러스터를 구성하는 AP 중에서 선택된다. 클러스터 헤드를 담당하는 AP를 제외한 다른 AP로 빔 스위칭이 발생하면 클러스터 헤드는 이들 AP로 데이터 포워딩을 수행한다. 데이터 포워딩은 RLC 계층 또는 MAC



(그림 7) 미드홀 기반 클러스터링

계층에서 수행될 수 있다. 중앙 집중 모드에서 클러스터 헤드는 CU에 위치해 있으며 클러스터를 구성하는 AP 들은 CU로부터 데이터를 수신한다. 클러스터 헤드는 PDCP 계층에서 처리된 데이터를 단말의 서빙 빔이 위치한 AP로 전송한다.

#### 다. 클러스터 관리 및 이동성

클러스터 관리의 이동성에 의해서 클러스터를 구성하는 AP들의 추가/삭제를 수행한다. 단말은 공통 참조 신호 및 빔 참조 신호를 수신하여 각 빔의 신호 품질을 측정하고 이를 주기적 또는 이벤트에 따라 측정 보고를 수행한다. 클러스터 헤드는 측정 보고를 기반으로 클러스터 헤드의 변경, AP의 추가 또는 삭제를 수행한다.

클러스터 내에서 이동성 지원은 빔 스위칭을 기반으로 이루어진다. 단말에서 전송된 측정 보고를 기반으로 클러스터 헤드는 빔 내 스위칭 및 빔 간 스위칭을 결정한다. 빔 내 스위칭은 프론트홀에 연결된 AP로 구성된 클러스터에서 수행된다. 스케줄러는 측정된 신호 품질 정보 또는 장애물에 의한 서빙 빔의 전파 방해가 발생한 경우 인접 빔으로 빠르게 빔 스위칭을 수행한다. 빔 간 스위칭은 미드홀 기반 클러스터링에서 이용된다. 단말에서 측정 보고를 수신한 액세스 포인트는 빔 간 스위칭이 필요한 경우 측정 보고 정보를 클러스터 헤드에 전송

한다. 클러스터 헤드는 타겟 AP에 빔 스위칭을 요청하고 이에 대한 응답을 수신하면 서빙 AP에 빔 스위칭을 알린다. 이에 따라 단말은 타겟 빔으로 스위칭하여 타겟 AP로부터 데이터를 수신한다.

#### 4. 초기 액세스, 핸드오버 및 이동성 관리

5G 통신기술이 이전의 기술과 구별되는 특징 중의 하나는 높은 주파수 대역을 이용한 통신 링크 설정을 위한 빔포밍 방식의 활용이 될 것이다. 6GHz 이상의 대역에서 전송 신호는 더 큰 경로 손실을 극복해야 하지만 고 주파 대역의 더 짧은 파장은 합리적인 폼팩터 내에 더 많은 수의 안테나 요소를 수용하는 것이 가능하다. 5G에서 핵심적인 역할이 기대되는 mmWave 빔포밍은 데이터 채널에만 빔포밍 방식을 활용하는 LTE-A와는 달리 제어 채널에도 또한 적용된다.

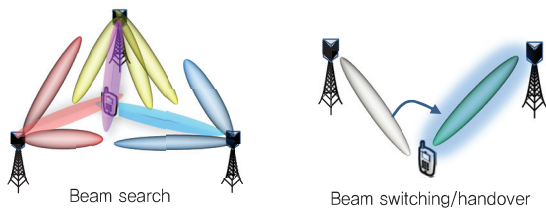
빔포밍을 이용한 시스템의 초기 액세스는 서비스 영역 전체에 신호를 전송하는 기존 시스템과는 달리 제한된 서비스 빔 영역을 대상으로 한 안정적 시스템 정보 전송을 위한 메커니즘이 필요하다. 즉, 동기 및 기준 신호와 같은 시스템 정보 전송이 전체 영역에서 동시에 수행되지 않으므로 빔 스위칭과 같은 기법을 고려되기도 한다.

전 방향 송수신과 비교할 때 좁은 빔 형태의 송수신은 단말 및 기지국의 검색이 매우 어렵다는 문제가 있으며 신호의 송수신을 위해서 전송 과정 이전에 기지국과 단말의 빔이 정밀하게 정렬되어야만 한다[10]. 이러한 문제를 해결하기 위한 효율적인 단말/기지국 검색과 빔 조절 방식, 전달되는 정보의 종류와 구성에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 또한, mmWave HetNet (Heterogeneous Network) 구조를 통한 시스템 정보 전달과 제어신호 처리 그리고 시스템 간 협력에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다[11].

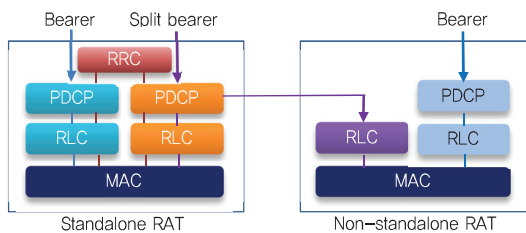
빔 기반 시스템은 기존 방식과 비교하면 시스템 정보

브로드캐스팅의 효율성 문제가 있으며, 시스템 정보의 전송에 필요한 통신 자원의 크기가 매우 커 심각한 자원 소요 문제가 발생한다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위하여 단말 접속 시 필요한 정보 이외 정보를 전용 채널을 통해 전송함으로써 공통 채널 자원 소요를 최소화 하는 방식에 대한 연구도 이루어지고 있다. (그림 8)과 같이 이동성 기준 신호의 경우에도 빔포밍을 통해 전송될 수 있으며 이때 단말은 상이한 빔을 검출할 수 있어야 한다. 또한, 고주파 대역 링크의 불안정성에 대비하여 미리 선정된 후보 빔으로 단말이 직접 스위칭을 수행하는 강력한 빔 스위칭 기법의 지원도 필요하다. 따라서 고주파 대역 신호 전송에 중요한 역할을 하는 빔포밍을 기반으로 한 mmWave 5G 시스템의 도입은 기존 시스템에 보다 RAN 구조에 큰 변화를 끼칠 것으로 예상된다[12].

앞에서 설명한 바와 같이 mmWave RAT에 대한 초기 액세스 절차는 전체 서비스 성능을 좌우하는 중요한 요소이며, 독립형 또는 비독립형 서비스 시나리오 모두에 대하여 최적화되어야 한다. 또한, 빔포밍을 이용한 mmWave RAT내에서 이동 중인 사용자에 대한 원활한 서비스 환경을 보장하려면 효율적인 이동성 관리에 대한 대책이 필요하다. (그림 9)와 같이 mmWave RAT는



(그림 8) 빔 액세스 및 이동성 지원[12]



(그림 9) 독립형 및 비독립형 RAT 구조

LTE-A 또는 저주파 대역의 5G RAT과 같은 Inter-RAT 다중 액세스뿐만 아니라 서로 다른 mmWave 노드 간 다중 액세스를 지원할 수 있는 구조의 지원은 매우 중요하다[13].

### 가. 비독립형 서비스

빔 검색에 영향을 끼치는 성능 인자 중 하나는 초기 액세스 과정에서 빔 정렬 과정의 처리 지연이다. 따라서 저주파 대역 매크로 셀 서비스 영역 내에 위치하는 이중 망 형태의 비독립적 서비스의 경우, 저주파 대역 RAT을 통한 초기 액세스 지원은 효율적이고 실질적인 접근법이며, 다양한 서비스 시나리오에서 단말의 소비 전력 및 대기 지연에 관련된 시스템 효율을 매우 향상시킬 수 있다.

초기 액세스 과정은 다운링크 타이밍/주파수 동기화, 시스템 정보 수집, mmWave 소형셀에서 업링크 데이터 전송이 필요한 경우 업링크 타이밍 동기화 과정으로 구분된다.

다운링크 동기화를 위해 mmWave AP는 정해진 주기에 특정 시간/주파수 자원을 위한 동기화 신호를 전송한다. mmWave 소형셀을 빠르게 감지하기 위해, 저주파 대역 RAT는 서비스 영역 내에 위치한 mmWave 소형셀의 주파수와 셀 ID 등의 정보를 포함하는 신호를 단말로 전송하며 이에 따라 다운링크 동기화를 위한 단말의 소비전력이 크게 감소되는 효과를 얻을 수 있다.

시스템 프레임 번호와 같은 일부 시스템 정보는 mmWave RAT 프레임 단위로 빠르게 변화하지만, 시스템 대역폭, 랜덤 액세스 자원과 같은 시스템 정보 요소는 상대적으로 느리게 변화하며 준정적인 특성을 갖는다. 따라서 저주파 대역 RAT를 이용하여 서서히 변하는 시스템 정보를, mmWave RAT를 통해 빠르게 변화하는 시스템 정보 요소를 전달되는 방식이 효율적일 수 있다.

저주파 대역 RAT은 UL 동기화 기본 지원 기능과 더불어 초기 UL 동기화 절차 중 빔 정렬 작업을 위한 보조 기능을 제공할 수도 있다. 적절한 신호처리 메커니즘

에 의해 저주파 대역 기지국이 단말의 상대적 위치와 방향을 측정할 경우 또는 각 기지국이 서로의 상대적인 위치를 사전 인지하는 경우, 대략적인 위치 정보를 이용한 빔조정을 통해 초기 액세스 시간을 단축할 수 있다.

mmWave와 기존 통신망을 복합적으로 지원하는 RAN의 경우, 단말은 처리 성능과 지연 측면에서 손실이 있지만, 신뢰성 있는 통신 수단을 통한 지원을 받을 수 있다. 낮은 주파수 대역의 기존 네트워크의 주요한 장점은 차단 및 다른 물리적인 영향이 mmWave 보다 적기 때문에 통신 성능에 대한 예측이 쉽다는 점이다.

따라서 기존 기술에 의한 안정적 서비스 영역지도를 만들 수 있으며 사전에 단말에 전달되어 기존 통신망으로 핸드오버 여부를 자율적으로 결정해야 할 때 활용될 수 있다. 또한, 빈번한 갱신에 의해 제어 오버헤드 측면에서 높은 비용이 소요되지만, 중앙 컨트롤러에서 네트워크가 사전에 핸드오버를 준비할 수 있도록 한다.

서비스 구성에서 기존 통신기술의 활용은 신뢰성 있는 성능을 보장할 수 있지만, 두 통신 서비스 간 빈번한 핸드오버로 인해 응용 프로그램의 정상 작동을 방해할 만큼 큰 전송속도 변동성을 유발할 수도 있다. 이를 위해 핸드오버에 관련된 개체는 응용 계층에 예상 전송량 정보를 전달하여 핸드오버 동안 발생하는 문제에 대한 대비책을 수행토록 할 수 있다.

#### 나. 독립형 서비스

mmWave RAN 단독의 독립형 서비스 시나리오에서 차단과 같은 현상에 의해 mmWave를 이용한 통신이 불가능한 경우, 네트워크의 안정적 동작을 보장하기 위한 적절한 핸드오버와 정확한 스케줄링 기술의 제공은 매우 중요하다. 또한, 핸드오버의 빈번한 발생으로 인한 매우 많은 제어 메시지가 발생하는 문제를 근본적으로 해결하기 위해 핸드오버 결정을 국지적으로 수행할 수도 있다.

핸드오버를 결정하고 스케줄링을 결정하는 로컬 컨트롤러로 모든 유/무선 기지국을 포함하는 노드 클러스터를 형성해야 한다.

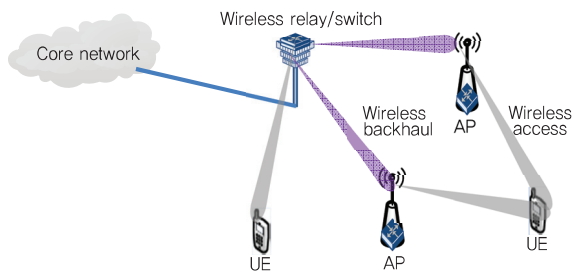
또한, 클러스터는 무선 백홀 링크가 이동하는 방해물로 장애를 겪게 된다면 코어 네트워크로 끊김 없이 데이터를 전달하기 위한 대체 수단을 고려하여야 한다. 로컬 컨트롤러는 어떤 단말이 AP의 범위에 있는지 인지하여야 하며, 특히 단말이 AP의 범위 내에 있는지 또는 실제로 다중 연결 기능을 사용하여 현재 AP에서 차단과 같은 상황에 새로운 AP로 쉽게 전환할 수 있는지를 파악하여야 한다.

전체 빔을 통한 정적 기준 및 측정 신호 전송의 비효율성을 피하기 위해, 링크 빔과 이동성 빔으로 분류하여 운영하는 것이 바람직하다. 이동성 빔은 링크 빔보다 광범위한 서비스 영역을 담당하며 AP는 이동성 빔 세트를 선택하여 단말이 이를 측정하여 네트워크에 보고하도록 지시한다. 네트워크는 단말 측정결과를 참조하여 안정적 핸드오버가 가능한 전송 포인트 및 방향을 고려하여 빔포밍을 구성하고, 관련된 AP 간 빔 관련 정보를 교환하여 효율적인 이동성을 지원할 수 있다.

효과적인 이동성 처리를 위해 이동성은 고속 이동성과 저속 이동성을 나누어 처리된다. 고속 이동성은 네트워크 코어에서 처리되며, 노매딕 또는 정적 이동성은 필요한 경우에만 AP에 위임되어 처리되거나 때에 따라서는 생략될 수 있다. 이를 위해 클라우드 RAN에 저이동성을 지원하는 전용 로컬 이동성 앵커를 두는 방식을 고려할 수 있다. 이러한 분리 방식은 트래픽 흐름과 네트워크 리소스를 최적화하며 총소유비용을 감소시킬 수 있다.

### 5. Self-Backhauling

셀프 백홀링(Self-backhauling)은 (그림 10)과 같이 액세스와 백홀이 동일한 무선 채널을 시간, 주파수 그리



(그림 10) Self-Backhauling 개념도

고 공간적 개념에서 공유하는 서비스를 의미한다.

mmWave 시스템에 셀프 백홀 기술을 적용하는 것은 액세스와 백홀 간 시간, 주파수 그리고 공간적 재사용을 통한 높은 스펙트럼 효율, 동일한 플랫폼 및 관리 솔루션을 액세스와 백홀에 공유함으로써 비용적 고효율성, 그리고 동시 송수신을 지원하는 저 지연 방식과 액세스와 백홀 자원의 동적 최적화를 통한 높은 시스템 성능과 같은 장점을 제공한다. 한편으로는 액세스와 백홀 간 간섭, 채널 자원관리의 복잡도 증가, 그리고 액세스와 백홀 간 자원 공유로 인한 속도, 지연과 같은 최종 사용자 환경에 대한 잠재적 제한 요인의 발생 등은 해결되어야 할 사항이다[14].

셀프 백홀링은 AP 과밀화로 인하여 광통신에 대한 접속이 제한되는 고밀도 네트워크 배치환경에서 인프라 제약에 대처하는 비용 효율적인 수단을 제공한다. 또한, 기존 유선 백홀 서비스와 달리 초기 구성에서 다중 연결 방식의 점진적 추가 형태로 용량 증설이 쉽다는 장점이 있다. 또한, 셀 경계 사용자가 공여 기지국에 직접 접속할 때보다 더 나은 연결성을 제공함으로써 영역 확장을 위한 수단으로 활용될 수 있으나, 연결 가능한 홉의 수는 노드 종단 간 지연 시간과 도달 가능성을 고려하여 결정되어야 한다.

백홀링에서 액세스 망 용량은 중계되는 홉의 수에 반비례하여 감소하지만, 다중 연결을 통하여 보완할 수 있다. 다중 홉의 용량 감소와 지연 증가 문제를 해결을 위해 빠른 스케줄링 주기와 신속한 경로 재설정과 같은 종단 간 지연처리 기술을 적용할 수 있다[15], [16].

### 가. 능동적 멀티홉 셀프 백홀링

능동적 방식의 멀티홉 셀프 백홀링은 방향적 직진성을 갖는 mmWave 신호가 도심 서비스 환경에서 사용자 주변 구조물 또는 상대적 이동 등에 의해 차단되거나 단절되는 현상에 의해 발생하는 간헐적 링크 현상과 불안정한 서비스 영역이라는 문제를 해결 수단을 제공한다. 능동적 방식의 처리는 무선적 전달 특성의 활용과 네트워크 개체 간 밀접한 통합 및 조정 방식의 선 채널 추정과 빔 형성 알고리즘을 통해 이루어진다.

셀프 백홀링에는 다양한 QoS 요구사항 충족으로부터 장애 탐지 및 혼잡 관리까지 여러 가지 당면 과제가 있다. 또한, 여러 실질적인 한계를 해결하기 위하여 다양한 백홀 링크를 통한 적응적 링크 스케줄링 알고리즘이 필요하다. 동적 백홀 자원 할당 그리고 네트워크 탄력성, 효율과 에너지 소비를 최적화하기 위한 패킷 라우팅을 포함하는 지능적 무선 자원 관리 설계 또한 요구된다. 이 중 일부 기능은 관련된 링크/노드 간 암시적/명시적 시그널링을 사용하는 분산 네트워크 정보 기법에 의존하는 반면 일부 기능은 라우터 또는 스케줄링 세트를 설정하는 고유한 제어 개체를 사용하는 중앙 집중식 또는 반집중식 구조에 의존한다.

효과적인 mmWave 백홀링을 위해 코어 네트워크와 AP가 서비스하고 있는 대상 간 멀티 경로를 통한 패킷의 전달이 가능해야 하며, 네트워크 정체와 정지로 인한 전달 지연과 패킷 손실률이 최소가 되는 이상적인 경로가 사전 계산되어 선택되어야 한다.

컨트롤러는 클러스터의 PoP에 직접 액세스할 수 있는 노드 역할의 일부로 논리적 기능으로 정의되며, 클러스터 간 핸드오버의 경우 인접 클러스터의 컨트롤러는 패킷의 백홀 데이터 경로 재처리를 수행하여야 한다. 장애로 인한 정체 또는 링크 장애가 발생 시, 노드당 하위 경로 변경으로부터 전체 경로 재계산하는 일련의 계층적인 과정이 상황에 따라 적용될 수 있다.

mmWave 대역에서 링크 스케줄링은 라우팅 알고리즘 및 대응되는 기능적 분할과 밀접하게 연관된다. 중앙 집중식 경로 설정의 경우, 링크 스케줄링 알고리즘은 중단 간 지연과 전송주기별 패킷 전달 비율을 최소화하는 링크 집합을 선택할 수 있다. 복잡도와 신호 부하를 줄이기 위해, 클러스터별로 집중도가 낮고 실행 가능한 스케줄링 세트의 순환 패턴을 AP에서 정의하고 실행할 수도 있다.

개별적인 패킷 전달의 경우, 각 백홀 노드는 매 주기별 큐의 상태를 확인하고 인접한 노드와 공유하며, 지역적 이웃 노드와 관련된 차등 큐의 크기를 계산하여 주기별 최댓값을 확인하여 이 값을 링크 상태 정보와 함께 클러스터 컨트롤러와 공유한다. 클러스터 컨트롤러는 주기별 링크 스케줄을 설정하지만 각 백홀 노드는 독립적으로 최대 차등 큐 크기를 갖는 방향을 택하여 패킷 전송을 수행할 수 있다.

#### 나. 셀프 백홀링의 제어

멀티홉 전송의 경우 홉의 증가에 따라 저지연 응용 서비스를 지원하지 못할 경우도 있다. 이러한 문제 해결을 위해 백홀 채널 상태와 트래픽 수요를 고려하여 백홀 및 액세스 링크에서의 트래픽을 스케줄링하는 기술이 필요하다. 이를 위해 SDN 기반의 제어가 고려되는데, 서로 다른 주요 성능 인자를 갖는 서비스들을 고려하여 백홀 및 액세스 리소스들의 스케줄링이 효율적으로 수행되어야 한다.

SDN 기반 셀프 백홀망에서, 하나의 논리 컨트롤러는 위상적 구성의 변경, 노드 간 무선 채널 상태 및 모든 트래픽 요구사항을 실시간 확인하며, 각 노드에서 백홀에 할당할 무선 자원의 양을 동적으로 결정한다. 또한, 네트워크는 다중 경로 연결을 가능케 하여 네트워크 수준의 최적화를 달성하기 위해 컨트롤러가 제공하는 관리를 통해 조정 및 협업을 수행한다.

#### 다. 셀프 백홀링의 자원관리

공간적 다중화를 포함하는 백홀 및 액세스 링크를 위한 자원할당에서, 백홀과 액세스 링크 사이의 시간/주파수 자원의 다중화는 동적 시분할 시스템의 동일한 주파수 대역에서 두 링크가 동작한다는 장점이 있다. 네트워크 자원 활용의 극대화를 위해 백홀과 액세스 링크 사이의 무선 자원을 분할하는 자원 할당 기능과 액세스 링크 트래픽과 백홀 수용 용량 간 조절기능이 핵심사항이다.

또 다른 해결해야 할 근본적 과제는 같은 주파수 대역에 동작하는 두 링크 간 비경쟁적인 자원의 최적 분배이다. 광대역 빔포밍으로 방향성 전송을 활용하는 공간 자원의 다중화는 고주파 대역의 경로 손실을 극복할 유망한 후보이며, 이를 통해 스케줄러는 스펙트럼을 완전히 활용할 수 있다. 더 많은 시간적 자원을 데이터 전송에 할당할 수 있으며, 두 개 이상의 전송을 동시에 스케줄될 수 있도록 공간 차원을 통합함으로써 시스템 성능이 더욱 향상될 수 있다.

### III. 결론

본고는 mmWave 기반 5G RAN 개발 및 전개를 위해 고려해야 할 기술적 요소들에 관하여 기술하였다. 네트워크 슬라이스는 특정 서비스 시나리오에 적합한 논리적 네트워크를 구성하는 기술로써 5G RAN 설계 시 이를 지원하기 위한 고려 사항을 살펴봤다. mmWave은 이용 가능한 넓은 대역폭 제공 및 작은 안테나 형태로 구현될 수 있다. 이에 반해 전파 도달 거리가 작고, 신호 감쇄/손실 및 장애물에 의한 전파 차단/장애가 발생하기 쉬우며, 이용 가능한 빔의 끊임없는 검색이 요구된다. 이러한 특성을 반영, 이용하기 위하여 Multi-connectivity, AP 클러스터링, 초기 빔 접속 및 이동성 지원 기술에 대해서 논하였다. 셀프 백홀링은 소형셀 기반의 5G RAN 전개를 효과적으로 지원하기 위한 기술로 셀프 백홀링 요소 기술에 대하여 기술하였다.

4G에서 5G로의 진화에서 mmWave는 중요한 광 대역폭의 무선 자원을 제공할 수 있다. 현재, mmWave 전파 특성을 고려한 기술적 솔루션들이 많이 제시되고 있으며 이러한 기술들에 대한 동향을 계속해서 주목할 필요가 있다.

## 약어 정리

AP	Access Point
CoMP	Coordinated Multi-Point
CU	Central Unit
DC	Dual Connectivity
HetNet	Heterogeneous Network
MAC	Medium Access Control
MCS	Modulation and Coding Scheme
MTC	Machine Type Communication
NFV	Network Function Virtualization
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PDCP	Packet Data Convergence Protocol
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
RAT	Radio Access Technology
RLC	Radio Link Control
RoF	Radio over Fibre
RRC	Radio Resource Control
RU	Radio Unit
SDN	Software Defined Network
S-GW	Serving GateWay
SFN	Single Frequency Network

## 참고문헌

[1] M. Fresia et al., "Use Case Characterization, KPIs and Preferred Suitable Frequency Ranges for Future 5G Systems Between 6 GHz and 100 GHz," mmMAGIC D1.1, Nov. 2015. <https://5gmmmagic.eu/results/#deliverables>

[2] R. Hattachi et al., *NGMN White Paper*, Feb. 2015. [https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN\\_5G\\_White\\_Paper\\_V1\\_0.pdf](https://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_5G_White_Paper_V1_0.pdf)

[3] P. Rost et al., "Network Slicing to Enable Scalability and Flexibility in 5G Mobile Networks," *IEEE Commun. Mag.*,

vol. 55, no. 5, May 2017, pp. 72-79.

[4] A. Vijay et al., "Initial Concepts on 5G Architecture and Integration," mmMAGIC D3.1, Mar. 2015. <https://5gmmmagic.eu/results/#deliverables>

[5] M. Reato et al., "Hybrid Spectrum Sharing in mmWave Cellular Networks," *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.*, vol. 3, no. 2, June 2017. pp. 155-168.

[6] W. Kim, "Dual Connectivity in Heterogeneous Small Cell Networks with mmWave Backhuls," *Mobile Inform. Syst.*, vol. 2016, Jan. 2016.

[7] M. Shariat et al., "5G Radio Access above 6 GHz," *Trans. Emerg. Telecommun.*, vol. 27, no. 9, Sept. 2016, pp. 1160-1167.

[8] H. Jung and I.-H. Lee, "Outage Analysis of Multihop Wireless Backhaul Using Millimeter Wave under Blockage Effects," *Int. J. Antennas Propag.*, vol. 2017, 2017.

[9] K. Safjan et al., *Architectural Aspects of mm-wave Radio Access Integration with 5G Ecosystem*, mmMAGIC White Paper, Mar. 2017.

[10] D. De Donno, J. Palacios, and J. Widmer, "Millimeter-Wave Beam Training Acceleration through Low-Complexity Hybrid Transceivers," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 16, no. 6, 2017, pp. 3646-3660.

[11] V. Desai et al., "Initial Beamforming for mmWave Communications," *Asilomar Conf. Signals, Syst. Comput.*, Pacific Grove, CA, USA, Nov. 2-5, 2014, pp. 1926-1930.

[12] P. Marsch et al., *5G RAN Architecture and Functional Design*, METIS II White Paper, Mar. 2016. <https://bscw.5g-ppp.eu/pub/bscw.cgi/d92532/5G-PPP-METIS-II-5G-RAN-Architecture-White-Paper.pdf>

[13] mmMAGIC, *Architectural Enablers and Concepts for mmWave RAN Integration*, mmMAGIC White Paper, Mar. 2017. <https://5gmmmagic.eu/results/WhitePapers>

[14] W. Feng et al., "Millimeter-Wave Backhaul for 5G Networks: Challenges and Solutions," *Sensor*, vol. 16, no. 6, June 2016, p. 892.

[15] Y.N.R. Li et al., "Cell and User Virtualization for Ultra Dense Network," *Annu. Int. Symp. Personal, Indoor, Mobile Radio Commun.*, Hong Kong, China, 2015, pp. 2359-2363.

[16] A. Sharma, R.K. Ganti, and J.K. Milleth, "Joint Backhaul-Access Analysis of Full Duplex Self-Backhauling Heterogeneous Networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 16, no. 3, Mar. 2017, pp. 1727-1740.