

클라우드 무선 접속 네트워크 개요와 주요 이슈 분석

박상규, 이태섭, 박세웅
서울대학교

요약

최근 4세대 이동통신은 기술/경제적인 이유로 클라우드 기지국 (또는 C-RAN: Cloud Radio Access Network) 구조를 택하는 추세이다. C-RAN은 기존 일체형 기지국에서의 MAC/PHY 기능을 담당하는 BBU(Base Band Unit)와 RF신호 송수신만을 담당하는 RRH(Remote Radio Head)로 분리된 기지국 구조를 가지며, RRH의 무선 송수신 신호는 중앙의 BBU에 집중되어 처리된다. 본고에서는 BBU와 RRH로 분리되어 설치/운영되는 C-RAN의 구조와 기지국 가상화 개념을 소개하며, 향후 이동통신시스템에서의 기술동향과 관련하여 C-RAN에서 발생할 수 있는 이슈들을 살펴본다.

I. 서론

1세대부터 4세대까지 이동통신기술의 발전과 함께 무선데이터의 양은 폭발적으로 증가하고 있다. 폭증하는 무선데이터 통신 수요에 맞추어 동시에 이동통신서비스의 품질 향상을 위해 주파수의 공간적 재사용성을 높이고자 셀의 크기는 작아지며 그 수는 증가하고 있고, LTE (Long-Term Evolution) 이후의 무선접속기술은 보다 정교하고 복잡해지고 있는 추세이다. 이러한 셀의 증가와 네트워크 진화는 <그림 1>과 같이 통신사업자에게 상당한 설치 및 운용 비용 부담을 발생시키고 있으며, 이에 대한 해결책으로 네트워크 인프라 관리와 업데이트가 용이하고 확장성을 가진 클라우드 기지국(또는 C-RAN: Cloud Radio Access Network) 개념이 등장하였다[1]. C-RAN은 기존 일체형 기지국에서 무선주파수신호를 증폭하여 안테나로 방사하는 RRH(Remote Radio Head)부와 제어 및 신호처리를 담당하는 BBU(Base Band Unit) 부를 분리하여, 각각의 RRH부는 무선접속지역에 설치하고 여러 BBU부를 중앙의 기지국에 집중하여 운영하는 시스템으로 임대비용과 전력비용이 절감되고 유지 보수가 쉽다는 장점을 갖는다.

이에 따라 각지의 글로벌 통신사업자가 C-RAN을 구축 및 계획 중에 있으며 국내에서는 SKT가 SCAN (Smart Cloud Access Network), KT가 CCC (Cloud Communication Center), LG유플러스가 벅크기지국이라는 이름으로 C-RAN 기반의 통합형멀티모드기지국을 구축하고 있다. 이와 관련하여 3GPP에서는 MSR (Multi-standard radio)이라는 SDR (Software Defined Radio) 기반의 멀티모드 기지국 운용을 위한 single-RAT/multi-RAT, multi-carrier operation, dynamic output power 등에 대하여 표준화를 진행 중이다 [17].

BBU와 RRH간 (또는 DU와 RU)의 데이터와 컨트롤정보 교환을 위한 인터페이스 표준화 규격으로는 CPRI (Common Public Radio Interface)[11], ORI (Open Radio equipment Interface[18][19][20]), OBSAI (Open Base Station Architecture Initiative)[23]가 있다.

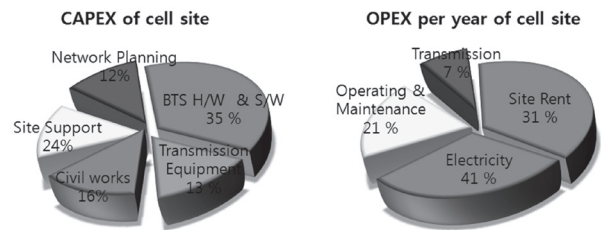


그림 1. 통신사업자의 CAPEX & OPEX

C-RAN에서는 프로토콜 및 신호 처리자원이 중앙에서 통합적으로 관리되기 때문에 시스템 자원이 보다 유연하게 사용되며, 다양한 무선접속기술 (RAT)의 이식 (migration) 및 업데이트가 용이하여 망 확장성을 가진다[1].

뿐만 아니라 기지국 가상화를 통한 자유로운 셀 구성은 시스템 용량을 증가시킬 뿐 아니라, 무선송출전력 절감, 사용자 context 기반의 서비스와 향상된 이동성 지원을 가능하게 해준다.

본고에서는 C-RAN의 구조와 기지국 가상화 기술에 따른 특징에 대해 소개한다. 그 후 차세대 이동통신시스템의 주요 특징인 CA (Carrier Aggregation), CoMP, Small cell, massive MIMO 등과 관련되어 발생하는 이슈들에 대해 살펴본다.

II. C-RAN 구조 및 기지국 가상화

1. C-RAN의 구조

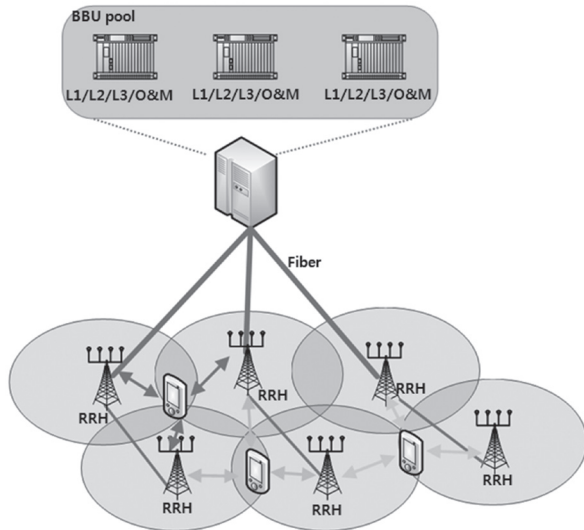


그림 2. C-RAN의 구조

C-RAN은 L1/L2/L3 신호처리를 하는 BBU (Baseband Unit) 과 RF 신호의 송수신을 위한 증폭 및 송출을 담당하는 RRH (Remote Radio Head)로 분리된 구조를 가지고 있다. <그림 2>는 BBU와 RRH로 분리된 클라우드 기지국의 구조를 보여준다. 각각의 RRH는 중앙의 BBU pool의 처리자원을 공유하며, 본고에서는 편의상 BBU pool과 BBU를 혼용하여 사용하겠다.

C-RAN에서는 기존의 접속지점(eNB)에서 수행되었던 frequency time user scheduling, TB(Transport Block) 생성, H-ARQ process, AMC (Adaptive Modulation and Coding), layering (spatial multiplexing), beamforming 등이 모두 중앙의 BBU에서 처리된다. 하지만 구체적으로는, L1 처리기능의 위치에 따라 'fully centralized'과 'partially centralized'으로 나뉜다. 'Fully centralized'구조에서는 L2/L3와 baseband 신호가 중앙의 서버(BBU pool)에서 처리되고 RRH에서는 최소한의 RF 기능만 담당한다. BBU는 전송해야 할 RF 신호를 IQ(In-phase & Quadrature)의 형태로 RRH에게 전송하며, RRH는 이를 RF 신호로 변환 후 증폭하여 송출한다.

'Partially centralized' 구조에서는 전송데이터가 BBU에서 bit-stream 형태로 RRH에 전송되고, baseband 신호처리는 RRH에서 수행된다. 다른 상위계층 기능은 'fully centralized'와 마찬가지로 BBU에서 담당한다. 따라서 'partial centralization'은 'fully centralized' 구조에 비해 처리자원과 기능이 분산되어 처리자원 효율성이 떨어지고 새로운 PHY 전송기술 적

용 시 RRH를 교체 또는 업그레이드 해야 한다는 단점이 있다.

BBU와 RRH 간에는 IQ 데이터 외에도 IQ데이터의 송출 타이밍과 표현방법에 관한 정보와 RRH를 제어하기 위한 메시지 등이 교환되어야 하며 이를 위한 인터페이스 기술로는 CPRI, ORI, OBSAI 등이 있으며 대부분의 서비스사업자와 제조업자는 CPRI 기반의 장비를 채택하는 추세이다. CPRI에서는 BBU와 RRH 간에 user-plane (IQ 데이터), control & management plane (RRH 제어 및 관리정보), synchronization plane (동기화 정보) 데이터를 전송하기 위한 프로토콜과 채널, 프레임구조 등을 정의하고 있다. <그림 3>은 CPRI의 프로토콜 스택을 보여준다.

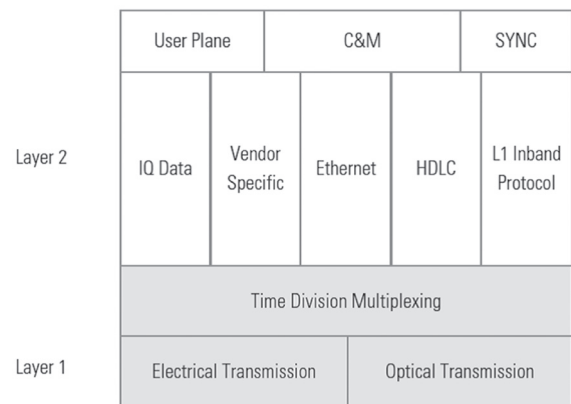


그림 3. CPRI 프로토콜 구조

또한 CPRI에서는 C-RAN이 star, tree, chain, ring 등의 다양한 구조를 가질 수 있도록 master/slave port의 동작과 포워딩 메시지 포맷을 정의하여[11], C-RAN의 확장성을 제공한다.

2. 기지국 가상화

BBU-RRH 분리형 기지국의 가장 큰 특징은 중앙에서의 프로토콜 및 신호처리 기능과 BBU처리자원 집중화를 이용한 기지국 가상화라고 할 수 있다. BBU가 air-interface 프로토콜과 RRH의 송수신하는 무선신호를 모두 처리하므로, 통신사업자는 RRH의 RAT(Radio Access Technology)와 커버리지, carrier 등을 유연하게 변경할 수 있게 된다. 또한 특정 RRH를 그룹화하여 동일한 물리적 셀 ID를 가지는 하나의 셀 (DAS)로 운영할 수도 있다. BBU pool의 처리자원은 RRH로 구성된 가상 셀의 커버리지, 부하에 따라 실시간으로 유연하게 사용된다. 따라서 BBU-RRH 분리형 기지국은 처리자원이 개별 기지국으로 분산된 일체형 기지국에 비하여 동일한 처리자원으로 시스템 용량은 향상시키면서도, 불필요한 전력소비는 감소시킬 수 있다[1][10]. 또한 H/W장비의 교체 없이도 계층적 셀 구조, 단

일 셀 구조, DAS (Distributed Antenna System) 구조 등의 다양한 구조를 구성이 가능하며 RF출력 에너지 효율성도 향상시킬 수 있다. 기지국을 가상화함에 있어서는 사용자의 공간적 트래픽 분포, 가용한 carrier frequency와 대역폭, RRH 토폴로지 등이 함께 고려되어야 한다. 한 예로, 사용자 핸드오버가 빈번한 환경에서는 핸드오버 이벤트를 최소화 할 수 있는 DAS 구조나 macro-assisted small cell[2] (다음 장 참조) 구조가 선호될 것이다. 또한, BBU pool의 처리자원에 부하가 큰 경우 여러RRH를 하나의 셀로 구성하는 DAS 구조가 적합할 것이나, 그렇지 않은 경우에는 RRH 가 개별 셀을 구성하여 주파수 자원을 재사용하는 것이 셀 용량 관점에서 이득일 것이다. <그림 4>는 RRH를 이용한 DAS와 개별 셀 (small cell) 구성 시나리오를 보여준다.

셀 경계에 위치하거나 이동성이 높은 사용자 등에 대해서는 불필요한 핸드오버절차를 간소화 시키고 셀 경계효과가 발생하지 않도록 <그림 5>와 같이 'user-centric virtual cell'이 구성되는 시나리오도 생각해 볼 수 있다. 이때 이동환경에 있는 사용자의 경우 인접 RRH들이 빠르게 BBU의 신호를 받을 수 있어야 하며, BBU와 RRH간의 일대일 매핑은 최적이지 아니므로, 사용자트래픽 큐-BBU-RRH 간의 매핑과 스위칭[5]이 가능한 구조가 설계되어야 한다.

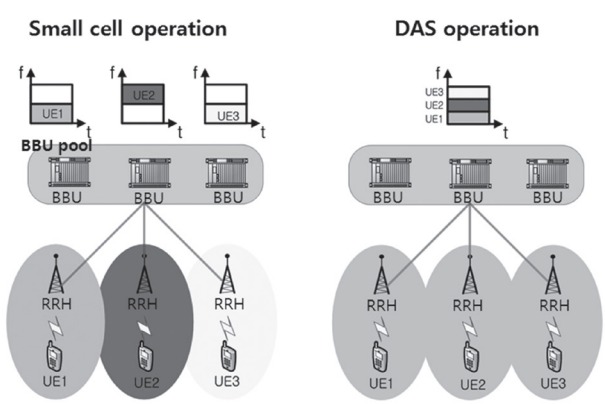


그림 4. C-RAN에서의 small cell (FFR)과 DAS operation

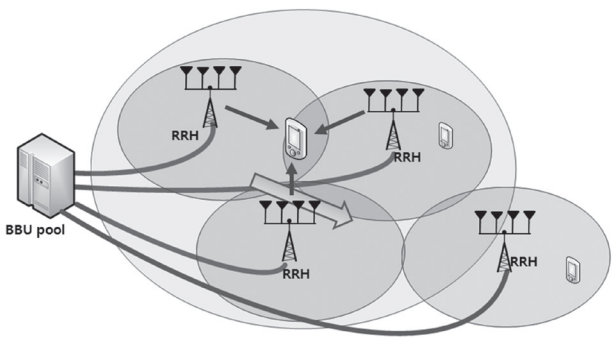


그림 5. User-centric virtual cell

BBU pool 내에서 한 BBU의 처리자원은 한정되어 있기 때문에 RRH가 서비스하는 carrier의 수와 CoMP 등에 따라 특정 BBU에 큰 부하가 생길 수 있고, 그 결과 셀의 무선자원이 효율적으로 사용되지 못할 수 있다. 따라서 BBU pool 내에서의 부하분산 또는 효과적인 BBU 처리자원 가상화 방법이 연구되어야 한다.

III. C-RAN 에서의 차세대네트워크 이슈

4G 이후의 차세대 이동통신네트워크는 C-RAN구조를 바탕으로 기존 4G에서 발전한 CA (Carrier Aggregation), CoMP, Small cell, massive/3D MIMO 등의 기술과 함께 진화될 것으로 보인다[21][22]. 본 장에서는 이러한 차세대 기술들이 C-RAN위에 적용 또는 최적화되기 위한 이슈들에 대해 살펴본다.

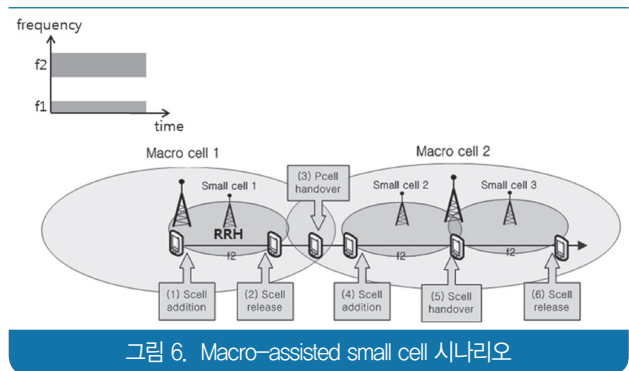


그림 6. Macro-assisted small cell 시나리오

1. Carrier aggregation/ Small cells

차세대 시스템에서는 Carrier aggregation을 이용해 small cell의 장점을 가지면서도 단말의 이동성을 보장하는 macro-assisted small cell 또는 inter-site CA[2][3]에 기반한 응용이 큰 비중을 차지 할 것으로 예상된다. <그림 6>에서, 통신 사업자는 f1과 f2 두 개의 component carrier를 가지고 계층적 셀을 구성하고 있다. 신호감쇄가 적은 저주파 carrier는 매크로 셀에 사용되고, 고주파 carrier는 small 셀 (피코셀)에 사용되는 것을 보여준다. 사용자(UE)는 macro cell을 PCell (Primary Cell)로 사용하고 small cell은 SCell(Secondary Cell)로 사용한다. 이러한 시나리오에서 BBU는 단말의 small cell 접속절차에 관여할 수 있으며, 단말까지의 프레임 전송 스케줄링과 경로를 효과적으로 제어할 수 있다.

또한 <그림 7>과 같이 UE의 control-plane/user-plane데이터를 분리하여 control-plane 데이터는 macro cell을 통해 전송함으로써 불필요한 핸드오버 절차를 생략하고, small cell

로부터 높은 전송률로 user-plane 데이터를 받는 C/U-plane split[3] 시나리오도 가능하다. 이를 위해서는 macro cell과 small cell간의 연동이 요구되므로, 사용자 수율 향상과 함께 real-time 트래픽, 이동성 지원을 위한 상호연동방법이 연구될 필요가 있다.

2. Dynamic TDD

차세대 네트워크에서의 또 다른 중요한 특징은 dynamic TDD (Time Division Duplexing) [21]에 기반한 uplink/downlink 간의 dynamic spectrum sharing이다. 동일한 BBU에게 관리되는 다중 셀에서는 BBU에게 통합된 실시간 사용자 트래픽 정보, 채널정보, 위치정보 등을 바탕으로 보다 정교한 subframe configuration이 가능해 진다. 특히 small cell에는 사용자의 수가 적기 때문에 uplink/downlink 트래픽 패턴이 사용자 어플리케이션과 위치에 따라 크게 달라지게 되고, 동적으로 uplink/downlink subframe 설정을 변경시킴으로써 uplink/downlink 자원을 정적으로 사용할 때(FDD 또는 정적인 TDD)에 비해 자원을 효율적으로 사용할 수 있다. Dynamic TDD에서는 uplink-downlink interference가 동적으로 발생하고 그에 따른 SINR 감소가 매우 클 수 있다 (특히 계층적 셀 환경에서). 따라서 사용자들의 위치와 uplink/downlink 트래픽 패턴 뿐 아니라 uplink-downlink 간섭과 이를 해결하기 위한 ICIC (Inter-Cell Interference Coordination) 기법도 함께 고려되어야 한다.

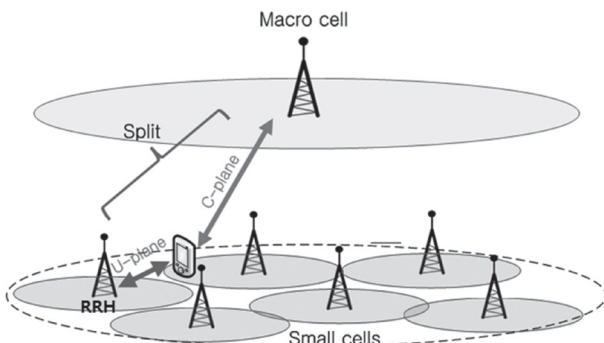


그림 7. 계층적 셀 구조에서의 U/C-plane split

3. MIMO환경에서의 RRH 간 협력

다중안테나 시스템에서 RRH 간의 협력은 ICIC 안테나-단말 채널 추정 면에서 중요하다. C-RAN에서는 서로 다른 RRH로부터 서비스를 받는 사용자들의 데이터와 무선신호를 함께 처리되기 때문에 CoMP와 채널추정 오차를 줄이기에 유리하다. 셀이 점차 소형화, 밀집화 됨과 동시에 다수의 안테나를 이용한

beamforming/MIMO 전송기술이 사용되는 네트워크 진화방향을 볼 때 시스템 용량증대와 사용자 QoS (Quality of Service) 보장을 위해 심화된 RRH간 협력 기술이 연구되어야 한다.

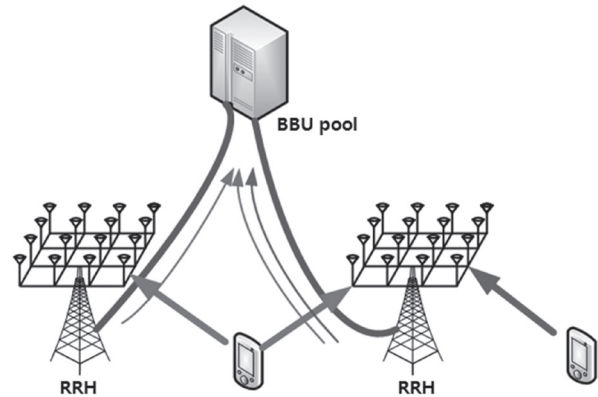


그림 8. C-RAN에서의 Joint reception 신호처리 시나리오

3.1 Enhanced CoMP

최근 다중안테나를 가지는 셀간 간섭 문제를 해결하기 위한 해결책으로 CoMP (또는 network MIMO) 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인접 셀과의 JP(Joint processing) 협력은 사용자 data sharing과 기지국간 동기화가 요구되는데, C-RAN에서는 패킷과 전송신호 처리가 BBU에서 일어나고 BBU-RRH인터페이스 규격[11]으로부터 RRH간 동기화가 가능하므로, 다양한 CoMP 알고리즘의 적용이 가능하다. 이에 따라 3GPP에서는 RRH 기반의 셀 구조에서의 보다 진화한 JP (Joint processing), CS/CB (Coordinated Scheduling/Beamforming), JR (Joint Reception) 기술에 대한 표준화가 진행되고 있다[21]. <그림 8>은 인접해 있는 RRH들이 경계 사용자의 uplink 신호를 함께 수신하고 BBU가 이를 처리하는 예를 보여준다.

3.2 Coordinated channel estimation

기지국 안테나의 수가 매우 많은 massive MIMO 환경에서 RRH안테나와 단말 안테나들간의 채널은 pilot 오버헤드를 줄이기 위해TDD에서의 상향링크/하향링크 채널 reciprocity를 이용하여 상향링크 pilot (또는 채널 사운딩)을 통해 추정된다[7][13]. 이때 RRH가 단말의 상향 pilot 신호를 수신할 때 동일한 pilot sequence를 사용하는 단말들의 pilot 신호가 중첩되어 채널추정 오차가 발생하고 beamforming성능이 감소된다. 이를 pilot contamination이라 하는데, C-RAN 구조에서는 수신 pilot sequence를 JR (joint reception) 및 JP(Joint processing) 하거나 사용자의 위치에 따라 dedicated pilot sequence를 할당하여 pilot contamination을 줄일 수 있다. 또한 한 단말과 다중

RRH간의 채널 정보 획득과 접근이 쉬우므로 CoMP 기술을 적용하는데 있어서도 이점이 있다. 그 외에도 RRH간의 협력적 채널정보는 단말의 위치추정과 핸드오버 triggering에 활용될 수 있다.

4. Large-scale 안테나 시스템과 IQ 데이터

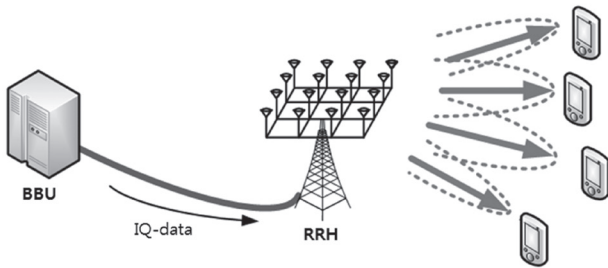


그림 9. Massive MIMO에서의 IQ데이터 전송과 multi-user beamforming

C-RAN의 주요 문제점 중 하나는 안테나 수가 증가함에 따라 BBU와 RRH 사이에 교환되어야 할 IQ데이터가 증가하는 것이다. BBU-RRH 인터페이스에서 RF신호를 표현하는 IQ샘플은 샘플당 8~20bit의 크기를 가진다[11]. 이를 전송되는 정보의 유효비트 수와 비교하면 BBU-RRH 구간에서는 실질적으로 무선망이 단말에게 제공할 수 있는 전송률보다 수배~수십배의 전송률이 요구되는 것이다. 현재 CPRI에서의 최고전송률 옵션은 9.83Gbps이며 이는 LTE 기준으로 20MHz의 대역폭과 8개의 기지국안테나 사용을 지원할 수 있는 수준이다. Massive 안테나와 carrier aggregation, 향후 mmWave (>30GHz) 대역에서의 광대역통신을 고려하면 요구되는 BBU-RRH 인터페이스에서의 대역폭은 굉장히 커질 것이다. 따라서 안테나 스케일과 무선 대역폭 확장에 따른 백홀 광케이블 설치 비용을 절감하기 위해선, 다음과 같은 접근이 필요하다.

4.1 IQ 데이터 압축

BBU와 RRH의 링크 부하를 줄이기 위하여 IQ 데이터 압축 알고리즘이 개발 및 표준화 작업이 진행되고 있으며, 기본적인 압축률은 50%이하이어야 한다는 데에 의견이 모아진 상황이다. IQ 데이터 압축 알고리즘은 낮은 압축률을 가지면서도 신호 왜곡을 최소화 시켜야 하며, 전송타이밍을 맞추기 위해 짧은 압축 latency를 가져야 한다.

4.2 IQ데이터 기반의 beamforming/scheduling

특히 MIMO operation에서의 IQ 데이터 양은 RRH단에서의 전송안테나 수, beamforming 기법, multiplexing order, IQ

데이터 표현 방법, 스케줄링된 사용자의 채널상황에 따라 달라질 수 있다[7][12]. 따라서 전송할 수 있는 IQ데이터의 양이 한정되어있을 때, 무선 용량을 최대화 시키거나 사용자 만족도를 높일 수 있는 beamforming/scheduling 기법이 필요하다. <그림 9>는 BBU가 BBU-RRH 링크 용량을 고려하여 사용자 scheduling과 beamforming하는 예를 보여주고 있다. Massive MIMO 환경에서는 안테나 수와 함께 다중화되는 사용자 수도 증가가 함에 따라 beamforming/scheduling 알고리즘의 계산 복잡도 또한 매우 증가하므로 BBU의 부하를 줄이기 위해선 낮은 복잡도의 알고리즘 개발이 필요하다.

IV. 결론

본고에서는 사업자의 설치 및 운영비용을 절감과 네트워크 고도화를 위한 C-RAN의 구조와 원리, 특징에 대해 알아보았다. C-RAN이 향후 이동통신시스템의 주요기술인 Carrier aggregation, small cell, dynamic TDD, CoMP, massive MIMO 등과 연계되었을 때 생기는 이슈에 대해 분석해 보았고, 앞으로 무선접속기술이 복잡해지고 다양해 짐에 따라 보다 많은 연구 이슈가 생길 것으로 예상된다.

Acknowledgement

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012RIA2A2A01046220)

참고 문헌

- [1] Chaina Mobile Research Institute, "C-RAN: The road towards green RAN," White Paper, <http://labs.chinamobile.com/article/download.php?id=104035>.
- [2] K. I. Pedersen, P. H. Michaelsen, and C. Rosa, S. Barbera, "Mobility Enhancements for LTE-Advanced Multilayer Networks with Inter-Site Carrier Aggregation," Communication Magazine, May, 2013
- [3] T. Nakamura, S. Nagata, A. Benjebbour, Y. Kishiyama, T. Hai, S. Xiaodong, Y. Ning, and L. Nan, "Trends in Small Cell Enhancements in LTE Advanced," Communication Magazine, February, 2013

- [4] M. Iwamura et al., "Carrier Aggregation Framework in 3GPP LTE-Advanced," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 8, Aug. 2010, pp. 60–67.
- [5] Liu, Cheng, et al. "The case for re-configurable backhaul in cloud-RAN based small cell networks," *INFOCOM, 2013 Proceedings IEEE, IEEE*, 2013.
- [6] Yang, Qing, et al. "BigStation: enabling scalable real-time signal processing in large mu-mimo systems," *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2013 conference on SIGCOMM*, ACM, 2013.
- [7] Shepard, Clayton, et al. "Argos: practical many-antenna base stations." *Proceedings of the 18th annual international conference on Mobile computing and networking*. ACM, 2012.
- [8] C. Lee, C.-B. Chae, T. Kim, S. Choi, and J. Lee, "Network massive MIMO for cell-boundary users: From a precoding normalization perspective," in *Proc. IEEE Glob. Telecom. Conf.*, 2012, pp. 1–5.
- [9] H. Yang and T. L. Marzetta Lee, "Performance of conjugate and zeroforcing beamforming in large-scale antenna systems," *IEEE Jour. Select. Areas in Comm.*, vol. 31, no. 2, pp. 172–179, Feb. 2013.
- [10] S. Bhaumik, S. Preeth Chandrabose, M. K. Jataprolu, G. Kumar, A. Muralidhar, P. Polakos, V. Srinivasan, and T.s Woo "CloudIQ: A Framework for Processing Base Stations in a Data Center," in *Proc. ACM Mobicom*, 2012.
- [11] "CPRI specification v5.0 (2011-09-21)," [http://www.cpri.info/downloads/CPRI v 5 0 2011-09-21.pdf](http://www.cpri.info/downloads/CPRI_v5_0_2011-09-21.pdf).
- [12] S. Park, C. Chae, S. Bahk, "Before/After Precoded Massive MIMO in Cloud Radio Access Networks," *Journal of Communications and Networks*, Aug. 2013
- [13] T. L. Marzetta, "Noncooperative cellular wireless with unlimited numbers of base station antennas," *IEEE Trans. Wireless Comm.*, vol. 9, no. 11, pp. 3590–3600, Nov. 2010.
- [14] Hejazi, Seyed Amin, and Shawn P. Stapleton. "Virtual Cells versus Small Cells for In-Building Radio Planning." *Journal of Selected Areas in Telecommunications*, October, 2012.
- [15] S.-B. Yun, S.-Y. Park and Y.-W. Lee, "Hybrid division duplex system for next-generation cellular services," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.56 (5), pp. 3040–3059, 2007.
- [16] W. Jeong and M. Kavehrad, "Cochannel interference reduction in dynamic-TDD fixed wireless applications using time slot allocation algorithms," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 50, pp. 1627–1636, Oct. 2002.
- [17] 3GPP TS 37.104, "Multi-Standard Radio (MSR) Base Station (BS) radio transmission and reception"
- [18] ETSI GS ORI 001: "Open Radio Equipment Interface (ORI); Requirements for Open Radio equipment Interface (ORI) (Release 1)," vol. 1. 2. 1, 2012. 8.
- [19] ETSI GS ORI 002-1: "Open Radio equipment Interface (ORI); ORI Interface Specification; Part 1: Low Layers (Release 1)," vol. 1. 2. 1, 2012. 8.
- [20] ETSI GS ORI 002-2: "Open Radio Equipment Interface (ORI); ORI Interface Specification; Part 2: Control and Management (Release 1)," vol. 1. 1. 1, 2012. 8.
- [21] 3GPP "Overview of 3GPP Release 11 V0.1.5 (2013-06)"
- [22] 3GPP "Overview of 3GPP Release 12 V0.0.9 (2013-06)"
- [23] <http://www.obsai.org/>.
- [24] Z. Zhu, P. Gupta, Q. Wang, S. Lalyanaraman, Y. Lin, H. Franke, and S. Sarangi, "Virtual base station pool: towards a wireless network cloud for radio access networks," in *Proc. of the 8th ACM International Conference on Computing Frontiers*, 2011.
- [25] I. Gomez-Miguel, V. Marojevic, and A. Gelonch, "Deployment and management of SDR cloud computing resources: problem definition and fundamental limits," *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Jan. 2013
- [26] H. Li, J. Hajipour, A. Attar, and V. Leung, "Efficient hetnet implementation using broadband wireless access with fiber-connected massively distributed antennas architecture," in *IEEE Wireless Communications Magazine*, Jun 2011
- [27] Guangjie, Li, et al., "Architecture of GPP based, scalable, large-scale C-RAN BBU pool," *Globecom Workshops*, 2012.

약 력



박 상 규

2009년 연세대학교 학사
2009년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부
석박사 통합과정
관심분야: 차세대 무선 네트워크, C-RAN,
Massive MIMO, small cell



이 태 섭

2011년 서울대학교 학사
2011년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부
석박사 통합과정
관심분야: 차세대 무선 네트워크, C-RAN,
Massive MIMO, MPTCP



박 세 웅

1984년 서울대학교 공학사
1986년 서울대학교 공학석사
1991년 University of Pennsylvania 공학박사
1991년~1994년 AT&T Bell Lab. 연구원
1994년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수
관심분야: 차세대 무선 네트워크, C-RAN,
스마트 그리드