

다중모드 다층 셀 지원 차세대 클라우드 기지국 시스템 연구

박순기, 유병한, 신연승, 권동승
한국전자통신연구원

요약

통신 사업자들은 과거에 통신 사업자 주도의 Walled Garden 형태의 제한적인 콘텐츠 서비스 제공 및 음성 중심의 시대에서 트래픽의 증가에 비례하는 수익의 증가를 경험하였다. 그러나 스마트폰의 보급과 함께 사용자들이 필요한 콘텐츠에 직접 접속하는 개방형 서비스의 수용 및 데이터 중심의 시대로 전환되면서 통신 사업자의 수익은 처리 트래픽의 증가에 비례하지 않고 정체되어 있고 모바일 데이터 폭증에 따른 망 인프라 투자 및 유지보수 비용을 계속 늘려야 하는 상황에 직면하게 되었다.

본 고에서는 통신 사업자들의 이러한 국면을 타개하기 위한 제도적, 사업적 그리고 기술적인 해결책 중에서 기술적인 측면의 한 분야로 평가되고 있는 클라우드 기지국 전반에 대하여 살펴본다.

I. 서론

통신 사업자 중심의 음성 시대에서는 트래픽 증가가 통신 사업자 수익의 증가를 수반하였으나 사용자 및 제조사 중심의 데이터 시대로 패러다임 변화가 이루어지면서 통신 사업자는 처리할 트래픽은 계속 증가하고 있고 이에 따른 추가적인 망 투자 비용과 함께 관련 망 운용 비용이 지속적으로 발생하고 있으나 수익은 정체되어 있는 상황에 직면하게 되었다. 따라서, 통신 사업자는 자신이 가진 망에 대한 총 소유 비용(TCO, Total Cost of Ownership)을 최소화하면서도 데이터 폭증에 대비하기 위한 제도적, 사업적 그리고 기술적 방법들을 모색할 수 밖에 없게 되었다. 통신 사업자의 이러한 국면을 극복하기 위한 기술적인 해결책의 하나로 클라우드 기지국(CBS: Cloud Base Station)이라는 개념이 정립되기 시작하였고 이에 관련된 연구 개발이 진행되어 오고 있다.

Bell Lab(Alcatel-Lucent)의 자료[1]에 따르면 2010년 기준

전 세계 기지국들이 일년에 대략 이산화탄소 18,000,000 톤을 방출하고 있다고 평가하고 있고 3G 용량과 동일한 수준으로 망을 전개하는 경우를 가정할 때 통신 사업자의 TCO가 150억 유로라고 평가하고 있다. 그리고 CBS기술을 도입하게 되면 에너지 소모 50% 절감을 포함하여 TCO를 획기적으로 줄일 수 있는 친환경 저비용 기지국으로의 전환이 가능하다고 주장하고 있다. 유사하게 CMCC(China Mobile Communications Corporation)[2]에서는 전통적인 매크로 기지국대비 CBS 도입시의 10년 동안의 TCO 비교 측면에서 TCO가 40% 절감(CAPEX 20% 절감, OPEX 63% 절감 특히 전력 소모 80% 절감)될 것이라고 평가하고 있다. Bell Lab 및 CMCC의 주장뿐만 아니라 국내 통신 사업자인 SKT, KT에서도 삼성전자의 클라우드 기지국관련 장비들에 각 통신 사업자의 자체 망 운용 노하우를 IT 서버에 접목하여 제어하는 형태로 싱글 모드 호모지니어스 셀들에 대하여 CBS 기술을 인구가 밀집한 지역에 실제 적용하고 있고 TCO 절감 사례 및 시스템 이득을 보고하고 있다.

본 고에서는 CBS 구조 및 특징, 기존 및 미래 진화에 필요한 CBS기반 기술을 살펴 보고 한국전자통신연구원에서 수행 중인 다중모드(Multi-RAT) 다층(Multi-tier) 셀 지원 차세대 클라우드 기지국 시스템관련 연구개발 내용에 대하여 살펴본다.

II. CBS 구조 및 특징

〈그림 1〉은 전통적인 기지국(BS, Base Station)의 일례로 안테나를 제외한 기지국의 모든 장치들이 랙(Rack)형태로 건물 내부에 배치되고 안테나만 동축케이블로 연결되어 건물 외부에 설치된다. CBS의 기본 개념은 〈그림 1〉의 전통적인 기지국과 비교할 때 기존 기지국 랙에 존재하는 RF(Radio Frequency) 장치와 안테나 장치를 일체화 하여 소형화 모듈화 집적화한 새로운 장치(이후 RRH, Remote Radio Head)를 만들고 이러한 기지국 RF front-end 기능을 갖는 RRH를 제외한 기지국의 나머지 장치(이후BS(-))가 원격 분리되는 이원화된 분리 구

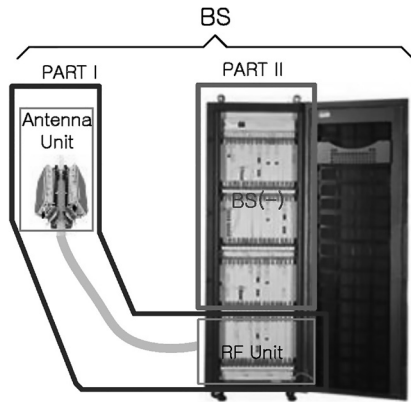


그림 1. 전통적인 기지국

조에 기반하여 많은 RRH들이 전통적인 기지국의 사이트에 동일하게 배치되고 해당되는 BS(-) 장치들을 동일한 하나의 장소에 모아 놓고 클라우드 개념을 적용하여 자원 공유의 수준을 높이는 형태의 기지국을 의미한다. 즉, CBS의 기본 핵심 개념은 이원화된 분리 구조와 클라우드이다. 이원화된 분리 구조는 결국 지리적으로 분산 배치된 다수의 RRH들에서 발생하는 송수신 신호를 하나의 장소에 집중화 시켜주는 환경(centralized Baseband)을 제공한다. 또한, 클라우드 개념은 하나의 장소에 모여 있는 BS(-) 자원들을 공유 사용할 수 있도록 지원하는 것을 의미하며 특별히 CBS는 기지국의 실시간 처리가 가능한 환경(real-time Cloud)을 제공하여야 한다. 그리고 이러한 두 가지 환경(centralized Baseband, real-time Cloud)상에서 CBS는 협력적인 무선(cooperative Radio) 환경을 제공하게 함으로써 CBS전체 시스템의 활용도 및 성능을 최대화 혹은 최적화시킬 수 있어야 한다.

〈그림 2〉는 가상화 기반 CBS의 개념도로 물리적 인프라 계층에는 RU(Radio Unit) Pool과 DU(Digital Unit) Pool이 있고 이 사이에서 RU(즉, RRH)와 DU를 자유롭게 연결해 주는 RU-DU Mapper가 존재하는데 RU Pool에는 다중모드 다층 셀관련 다양한 주파수와 밴드폭 그리고 다양한 전송 파워를 지원하는 여러가지 형태의 RRH들이 사이트에 배치되어 있고 DU Pool에는 다양한 형태의 프로세싱 파워를 갖는 DU가 있고 DU간에는 고속 네트워크로 연결되었다고 가정하고 있다. 그리고 논리적 계층과 물리적 인프라 계층 사이에는 가상화 계층이 존재한다. 논리계층은 하위(Low) 수준의 논리 계층과 상위(High) 수준의 논리 계층으로 다시 구분되어 있다. 가상화 계층의 역할은 논리 계층에서 물리적 인프라 계층의 개별 하드웨어적 특성을 세세하게 알지 못하더라도 실제 기지국 기능을 수행할 수 있는 가상 기지국(VBS, Virtual Base Station)에 대한 구축(Construction) 및 기지국 용량 증가에 따른 자원 추가(증

축)(Extension) 그리고 가상 기지국 해체(Deconstruction) 과정에서 필요한 적절한 RU와 DU를 선택하고 RU-DU Mapper에 의해 이를 상호 연결하고 각 가상 기지국의 실시간 요구사항을 충족시키면서 실제 물리 인프라 계층의 자원을 논리적으로 분할 혹은 공유하여 사용하는 것이 문제가 없도록 지원하게 된다. 즉, 가상 계층은 논리 계층의 필요에 의해 가상 기지국을 구축/증축/해체하는 과정에서 다양한 형태의 특정 RRH에 대하여 DU pool내의 다양한 DU 프로세싱 하드웨어 자원요소들을 적절히 선택하게 하고 시공간적 트래픽 변화에 따른 VBS에 대한 자원 추가 그리고 자원 반납에 대한 관리를 수행하고 VBS간에 물리 인프라 계층의 자원을 적절히 슬라이싱하고 필요하다면 동일 하드웨어에 대한 VBS간 자원 공유도 지원하게 된다. 논리 계층에서는 가상화 계층의 지원에 기반하여 개별적으로 필요한 해당 모드의 VBS구축/증축/해체에 대한 가상 기지국 운용 뿐만 아니라 생성된 동종 VBS들간에 cooperative Radio 환경을 제공할 수 있다. 추가적으로 이종 VBS간에도 통합적cooperative Radio 환경을 제공함으로써 다중모드 다층 셀 관련 모든 셀 (모든 VBS)들이 논리적으로 하나의 셀(하나의 VBS)과 같이 유기적으로 동작시킬 수 있는 고수준의 논리적인 server VBS 개념을 실현시킴으로써 시공간적인 트래픽 변화에 좀 더 효과적으로 적용할 수 있고 전체 CBS 시스템 관점에서의 다중모드 다층 셀 관련한 유무선 자원 활용 및 시스템 성능을 최대화하고 최적화할 수 있도록 한다.

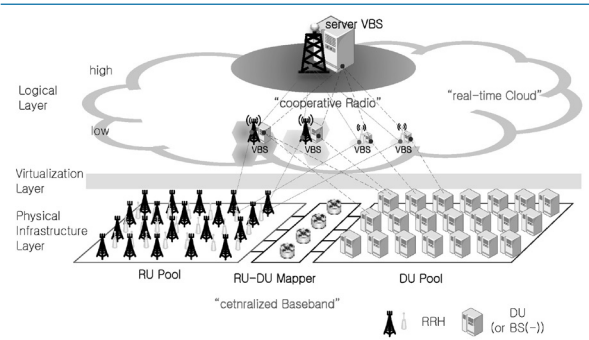


그림 2. 가상화 기반 클라우드 기지국(virtualization-based CBS)

III. CBS 기반 기술

본 절에서는 CBS의 현재 및 미래 진화를 위한 기반 기술에 대하여 살펴 본다.

1. 이원화된 분리 구조 기술

1.1 RRH 기술

RRH는 RF front-end 기능들만을 가진 단일 장치로 기지국의 기저대역 부분과 연결하도록 되어 있고 소형화, 모듈화, 집적화에 관련된 기술의 진보로 RRH의 크기 및 비용이 계속 줄어들고 있으며 다중모드(GSM, WCDMA, HSPA, LTE 등)를 지원하도록 설계될 수 있고 능동형 어레이 형태로 블록을 조립 하듯이 모듈화된 블록을 적층하는 형태[3]로 마이크로, 피코, 매크로 등의 다양한 셀 사이즈 및 다양한 주파수 밴드폭을 지원하도록 설계할 수 있다. RRH와 기지국의 기저대역 상호 연결에는 아날로그 혹은 디지털 접속 링크가 사용될 수 있는데 아날로그 링크는 저 수준의 RF 복합 시그널을 바로 전송하기 때문에 높은 선형성을 가져야만 한다. 이것은 광섬유 선택시 고도의 선형성이 고려되어야 하며 결국 값비싼 광 레이저와 드라이버가 필요하다는 것을 의미한다. 따라서 아날로그 링크보다는 디지털 링크가 선호되며 현재 이러한 디지털 링크에 기반하여 CPRI(Common Public Radio Interface)[4] 혹은 OBSA-I(Open Base Station Architecture Interface)[5] 표준을 사용하는 디지털 시리얼 인터페이스가 사용되는 추세로 전형적으로 일대일 링크가 주로 사용되지만 스타, 링, 데이지 체인 형태의 토폴로지도 지원한다.

1.2 DAS 기술

DAS(Distributed Antenna System)는 multi-airlink/multi-frequency/multi-WSP(Wireless Service Provider)로 광섬유 기반 분산 안테나 시스템이다[6]. DAS는 RRH와 유사하지만 변화되는 트래픽 수요에 따라 용량을 동적으로 할당하고 최적화 시킬 수 있는 유연성을 부여할 수 있다는 점에서 차별성을 갖는다. 즉, DAS는 하나의 단일 액세스 네트워크에서 여러 개의 주파수 밴드들과 다중 프로토콜들을 독립적으로 운용할 수 있도록 지원할 수 있고 다중 운용자들의 공유도 지원할 수 있다. 오늘날 DAS는 통신 사업자들이 서로 다른 이동 통신 표준과 많은 RF 주파수 밴드 지원의 필요성에 따라 의미 있는 상업적 성공을 이루어 내고 있다. 아날로그 광 섬유 링크에 기반한 전통적인 아날로그 DAS 솔루션은 오래 전에 시장(Powerwave, Andrew, ADC, Avitec)에서 개발되었고 디지털적 구현에 근거한 디지털 DAS 솔루션은 OpenCell Corporation에서 2004년에 처음 개발되었다. 이러한 디지털 솔루션은 여러 WSPs들이 혹은 하나의 WSP가 여러 다중모드 방식의 RAN(Radio Access Network)을 하나의 시스템에서 공유하는 개념을 지원할 수 있고 광 네트워크가 RF 성능에 영향을 미치지 않도록 해 준다. 아날로그 DAS와 달리 디지털 DAS는 광 섬유상에서의 전송에 의해 발생하는 RF 성능 변화가 없다. 따라

서, 전체 DAS 성능은 link length, fiber quality와 link상에서의 어떤 환경적인 조건과 같은 요인들에 의해 영향을 받지 않는다. 더욱이 광 섬유상의 bit error rate가 발생한다 하더라도 그것이 적절한 수준에서만 관리되면 무선 인터페이스의 RF 성능에 영향을 미치지 않는다. 추가적으로, link delay에 대한 관리가 매우 쉽고 각 WSP별 time delay calibration 설정을 허용하면서 동시에 동일한 접속 링크를 공유하는 각각의 셀룰러 시스템별 time delay calibration도 가능하다. 이것은 어떤 WSP가 동일한 DAS 시스템을 공유하면서 다른 WSP들의 동작에 있어서 성능 저하를 가져 오지 않으면서 자신의 time delay calibration을 조정할 수 있기 때문에 다중 WSP 운용을 가능하게 하는 주요 특징 중의 하나가 된다. 마찬가지로, 한 WSP의 다중모드 셀룰러 시스템 운용도 가능하다.

1.3 Ethernet 기술

RRH와 기지국 기저대역 연결을 Ethernet으로 하여 인빌딩과 같은 장소에서 용이하게 설치되는 사례가 존재하며 특히 IEEE 802.3af 표준에서 정의 되는 Power Of Ethernet 기능을 이용하여 100m까지는 별도의 파워 공급 없이 Ethernet 라인에서 제공되는 파워를 사용한 RRH 설치가 가능하다.

1.4 RRPB 기술

기지국의 이중 분할 구조에서 RRH가 아닌 RRPB(Remote Radio & PHY Head) 형태로 기지국을 이중 분할 하는 기술을 개발하기도 한다[7]. RRPB란 RRH안에 기저대역 처리기능까지 포함시키는 것으로 RRH기반 이중 분할 구조에 비하여 RRPB기반 이중 분할 구조는 MAC(Medium Access Control)을 집중화 시키는 형태로 송수신하는 데이터의 양을 상당히 줄일 수 있는 장점이 있으나 기지국의 핵심인 기저대역 처리 자원을 공유하지 못하는 단점이 있고 Uplink CoMP(Coordinated Multi-point)와 같은 기능 등의 협력적인 기저대역 처리 지원이 어렵다는 단점을 갖고 있다.

1.5 WDM-PON 기술[8]

수동 광 네트워크(PON - Passive Optical Network)는 point-to-multipoint가 가능한 fiber-optic access network의 한 형태로 전원이 가해지지 않은 광 분배기가 하나의 광 섬유를 16에서 128개 정도의 선로로 구분하여 활용 가능하게 한다. PON은 전송부에서의 OLT(Optical Line Terminal)와 최종 사용자의 근처에 위치하는 ONU(Optical Network Unit)들로 구성된다. PON은 point-to-point 구조에 비하여 요구되는 광 섬유의 수와 전송자가 구비할 장비의 양을 줄일 수 있다. WDM-

PON은 PON을 Wavelength Division Multiplexing하는 것으로 WDM-PON의 다중 wavelength들은 ONU들을 동일한 물리적 인프라 상에서 공존하는 수 개의 가상 PON들로 분리시키는데 사용될 수 있다. 이러한 one-to-multipoint 및 wavelength division multiplexing 관련 기술은 가입자망의 트래픽 병목 현상을 해결하고 다양한 서비스 품질을 제공하면서 고속화된 데이터 전송을 위해 가입자 당 독립파장을 할당함으로써 가입자의 요구 대역에 제한을 받지 않으며 보안성이 보장되는 확장성이 가능한 차세대 WDM 기반 수동형 광 가입자망이다. 따라서 이러한 기술을 CBS 에서의 RU-DU 분리 구간 및 backhaul에도 활용할 수 있다. 그러나, 이 기술이 실제 광범위하게 적용되기 위해서는 저가의 광원 확보 및 이미 개발된 광소자들에 대한 소자의 비용을 감소시키는 것이 선행되어야만 한다.

2. 클라우드 컴퓨팅 기술

클라우드 컴퓨팅은 컴퓨터 네트워크를 통해 사용자 요구에 따라 컴퓨팅 자원들을 준비시키는 것을 의미하며 이것의 핵심 아이디어는 활용 가능한 자원에 대한 공동 활용 개념으로 IT 분야에서는 이미 오래 전에 사용되었던 개념인데 최근에 이동 통신 시스템에서도 이러한 개념을 도입하려는 시도중의 하나가 CBS이다. 집중화된 BS(-)관련 프로세싱 자원들을 셀별, 표준별, 기능별 소프트웨어에 상관없이 공동 사용의 가능성을 높인다면 큰 이득을 얻을 수 있다. 그림 1의 전통적인 기지국의 경우 프로세싱 자원이 셀, 표준, 기능과 그 셀 사이트에 종속되어 오직 그 셀을 위해서만 사용되었고 그 셀의 예상 피크 용량에 맞추어 프로세싱 파워의 처리량이 결정되었다. 그러나, CBS에서는 어떤 특정한 프로세싱 자원이 어떤 하나의 특정한 셀에 종속되는 것이 아니라 CBS에 소속된 모든 셀들에 공통적으로 사용할 수 있다. 다만 IT에서의 클라우드 컴퓨팅과의 차이점은 무선 데이터를 처리하기 때문에 real-time 처리가 가능한 클라우드 환경이어야 한다는 것으로 프로세싱 파워를 제공하는 장치들이 실제로 하나의 장소에서 고속 네트워크로 상호 연결되어 가상기지국별 real-time 요구사항을 충족시킬 수 있어야 한다. 하나의 예를 들어 전통적인 단일 모드의 기지국 500개를 CBS 형태로 재구성하는 경우를 가정해 보자. 전통적인 기지국이 세 개의 셀을 갖고 있고 한 셀에서 예상 피크 데이터 처리량이 100Mbps이고 이러한 전통적인 기지국당 세 개 셀에 대한 기본적 제어 및 데이터 처리를 고려하여 총 10개의 프로세싱 장치(Processing Unit - PU, 예를 들면 DSP(Digital Signal Processor) 혹은 GPP(General Purpose Processor))가 필요하다고 가정하면 전통적인 기지국 구조에서는 총 15,000개의 셀

을 서비스 하는데 5,000개의 PU가 필요하다. 그러나, CBS 형태로 재구성을 한다면 지리적으로 분산된 총 15,000개의 모든 셀 각각에서 100Mbps 트래픽이 동시에 발생하는 경우는 매우 드물기 때문에 예를 들면 대략 60% 수준 정도인 3,000개 PU로도 15,000개의 셀을 서비스 할 수 있게 되어 투입 자원도 줄일 수 있고 자원 가용율도 높아짐으로써 친환경 저비용 기지국이 가능하다. 즉, 구조적인 측면에서만 살펴 보더라도 CBS에 포함되는 셀의 개수가 늘어 나고 동시에 CBS 자원에 대한 공동 사용 가능성을 높일수록 CAPEX와 OPEX 경감을 가져오는 직접적인 요인이 된다.

부가적으로 예전에는 모든 서비스가 EPC(Evolved Packet Core)를 통하여 이루어졌으나 CBS단에도 클라우드 서버를 구축하여 스토리지, 어플리케이션 실행 및 서비스를 제공할 수 있는 연구 개발도 진행되고 있다. 즉, 여러 사용자에게 전달되는 동일 비디오와 콘텐츠를 캐싱하여 제공함으로써 EPC로의 백홀 부하를 줄이고 지역기반 서비스, 모바일 게이밍 같은 어플리케이션을 EPC를 거치지 않고 CBS단에서 직접 제공할 수 있다. 또한 클라우드 네트워킹 개념의 적용 범위 측면에서 기존에는 데이터 센터에서의 컴퓨팅, 스토리지, 어플리케이션에 국한하여 적용되어 오다가 EPC와 같은 모바일 코어 망과 RAN까지 확장되어 데이터 센터, 모바일 코어망, RAN까지 통합하여 세 가지 영역을 통합 제어하는 형태의 Mobile Cloud Networking(Mobile Cloud)에 대한 개념과 구조가 정의[9]되고 있다. 이러한 Mobile Cloud는 다중모드 다중 셀이 포함된 RAN이 WaaS(Wireless as a Service)를 제공하도록 하고 EPC가 EPCaaS(EPC as a service)를 제공하고 데이터 센터가 SaaS(Software as a Service)를 제공하고 이러한 세 가지 영역을 통합하여 일체화된 모바일 클라우드 제어를 수행하는 구조이고 결국 그림 2는 MobileCloud 개념에서 볼 때 WaaS(Wireless as a Service)를 제공하는 것이며 Smart CBS Controller(그림 4)가 클라우드 제어기에 해당하며 그 제어가 다중모드 다중 셀 RAN에 한정되어 적용된다고 볼 수 있다.

3. 플랫폼 및 프로세싱 기술

CBS 플랫폼 측면에서 살펴 볼 때, 전통적인 기존 매크로 기지국은 그 기지국의 제조사가 자신들의 전용 하드웨어 플랫폼과 전용 하드웨어에 기반한 소프트웨어 프레임워크 내에서 자신들이 개발한 소프트웨어 등을 탑재하는 형태이며 소프트웨어도 기본적으로 그 제조사 자신의 프레임워크에 종속되고 하드웨어에 종속되어 구현 된다. 즉, 서로 다른 제조사가 만든 기지국의 외부 인터페이스는 표준화 되어 있기 때문에 제조사가 상이한

기지국간의 호환성은 일반적으로 보장된다고 보는 것이 맞지만 현재 간섭관리 등의 일부 측면에서는 제조사간 기지국 호환성이 전혀 보장되지 않고 있고 기지국 내부에서 동일한 기능을 하는 서로 다른 제조사의 소프트웨어들을 기지국 내부에서 상호 운용한다는 것은 더욱 불가능 하다. 그러나 <그림 3>과 같은 새로운 CBS 구조 내에서는 제조사에 종속적인 전용 플랫폼 및 전용 하드웨어가 아닌 범용의 개방형 HW 및 HW 플랫폼을 사용하고 개방형 SW 플랫폼은 개방형 범용 HW 및 HW 플랫폼이라면 제조사에 상관 없이 다중모드 L1/L2/L3 소프트웨어의 코드는 동일하게 가져갈 수 있도록 지원한다. 따라서, 이러한 개방형 SW 플랫폼에 대한 구조 및 기능에 대한 정의 그리고 개방형 인터페이스 등이 정해진다면 선택 가능한 하드웨어에 대한 소스가 풍부해지고 소프트웨어를 다양한 하드웨어에 실장 가능하고 하드웨어 노후화로 인한 교체가 더욱 용이하고 특정한 하드웨어 환경에 종속되지 않고 동일한 코드로 다중모드 기지국 기능을 탑재할 수 있고 통신 표준 진화에 따른 소프트웨어적인 업그레이드가 매우 용이하고 매크로 기지국 시장에서도 중소중견기업의 참여가 가능해 질 수 있다.

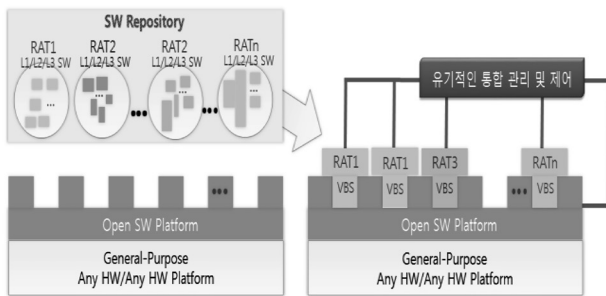


그림 3. 개방형 플랫폼 개념

클라우드 기지국 플랫폼 내부에 사용되는 실제 프로세싱 파워 측면에서 볼 때 전통적인 기지국에서 PHY 기능은 FPGA(Field Programmable Gate Array), MAC(Medium Access Control) 기능은 DSP 혹은 GPP, 기타 제어 및 트래픽 처리는 GPP에 할당하는 것이 일반적인 기지국 설계의 기본 형태였다면 요즘은 PHY 기능을 FPGA가 아닌 DSP에서 실현시키는 방법이 이미 상용화되었고 심지어는 최신 고용량 표준 규격(예, LTE)에 대한 PHY기능 조차도 GPP에서 실현시키려는 연구[10]가 진행되고 있다. GPP의 경우 DSP에 비해 실시간성이 떨어지고 많은 파워 소모가 발생하지만 멀티 코어, SIMD(Single Instruction Multiple Data), large on-chip caches, low latency off-chip system memory, high speed I/O 등의 관련 기술의 발전으로 더 빠른 속도와 상대적으로 작은 파워 소모를 제공해 나가고 있다. FPGA와 DSP를 이용한 기지국은 서로 다른 구조에

서는 동일한 코드를 공유하지 못하는 하드웨어 특징 때문에 시스템 유지 및 시스템 업그레이드에 많은 비용이 든다[11]. GPP 기반으로 CBS의 DU Pool을 구성할 수 있다면 소프트웨어 운용 및 확장성 측면에서 더욱 유연한 클라우드 컴퓨팅을 수행할 수 있기 때문에 CAPEX 및 OPEX를 더욱 획기적으로 줄일 수 있으며 기존 산업과 쉽게 결합됨으로 규모의 경제를 얻어 제품의 단가를 낮출 수 있다. 그러나, 현재 시점에서 GPP 상에서의 매크로 셀 용량에 해당하는 기저대역 신호 및 프로토콜 처리가 가능하도록 하기 위한 방법에 대한 연구는 계속 진행되고 있으며 관련된 신뢰할 만한 성공 사례가 필요하다. 또 하나의 추세로 DSP 혹은 GPP가 싱글 코어가 아닌 멀티 코어 형태의 제품을 사용하고 있다. 예를 들어 GPP 기반에서 MIMO가 가능한 20MHz 대역을 처리하기 위해서 현재의 상용 GPP 기술로는 수십 개의 CPU(Central Processing Unit) 코어를 필요로 하게 되는 등의 많은 문제점이 있는데 미래 CPU 처리 속도의 향상 및 멀티 코어 제품 사용 및 대량 생산에 의한 판매가 감소를 예상한다면 all GPP 기반의 CBS 구성이 가까운 미래에 가능할 것으로 예측된다. 결국 CBS에서는 개방형 SW 플랫폼을 통해서 다양한 현재 혹은 미래의 칩 및 하드웨어에 종속되지 않고 필요한 기지국 소프트웨어의 코드 변경 없이 로딩하여 기지국 기능을 실현할 수 형태로 발전되어야 한다.

4. 가상화 기술

최근 네트워크 가상화의 개념이 미래 인터넷 연구를 위한 유망 기술로 논의되고 있으며, 단기적으로는 다양한 미래인터넷 기술들의 연구개발 및 시험을 위한 테스트베드의 구축기술로서, 장기적으로는 다양한 새로운 구조를 가지는 네트워크들의 공존을 가능하게 하는 핵심 기술로서 논의되고 있다. 네트워크 가상화의 개념은 네트워크 가상화 관련 연구를 수행하고 있는 연구그룹마다 다양하게 정의하여 사용하고 있다(ITU-T FG-FN(Focus Group on Future Network), IRTF VNRG(Virtual Networks Research Group), TTA 미래인터넷 PG 등의 표준화 그룹). 현재 한국 TTA 미래 인터넷 PG에서의 정의는 다음과 같다.

네트워크 가상화: 현 네트워크 구조의 경직성을 해결하기 위한 방안으로서, 네트워크 링크와 노드를 포함한 네트워크 내 모든 자원을 가상화하여 하나의 인프라상에서 요구사항이 다른 응용/서비스/이용자 별로 가상 네트워크들(Virtual Networks)이 공존할 수 있게 하는 기술

네트워크 가상화를 통하여 이용자는 단일 네트워크 인프라 안에서 타 응용/서비스/이용자들 간에 독립적으로 가상 네트워

크를 만들 수 있다. 이러한 가상 네트워크의 제공을 위해서 네트워크 가상화 기술이 필수적이며, 가상 네트워크를 생성하고 상태를 관리하고 성능을 측정하기 위한 제어 방법들이 제공되어야 한다. 결국, 네트워크 가상화는 공통적으로 어떤 하나의 공통된 물리적 네트워크 인프라 상에서 서비스 별로 형성되는 서비스 요구를 가상 네트워크로 형성하고, 이를 실제 물리적 네트워크의 자원들에 연결시킴으로써 기존의 네트워크보다 유연하면서도 다양한 네트워크 및 서비스들을 수용할 수 있는 기술로 바라볼 수 있으며 차세대 CBS에 필요한 핵심 기술이다. 다만, 이러한 CBS에서의 가상화가 이동통신 표준별 실시간 처리가 요구되는 기지국의 성능에 영향을 미치지 않도록 설계되어야 한다. 이러한 문제는 향후 CBS 하드웨어 플랫폼 내에서의 네트워킹 속도 및 구성 하드웨어에 대한 성능이 계속 개선될 것이기 때문에 가상화 적용 영역이 확대되고 가상화 수준이 높아질 것으로 판단된다.

일반적인 네트워크 가상화와 CBS에 대한 가상화를 비교할 때 CBS가 사용하는 하드웨어 인프라가 특성화된 물리적 자원(RRH, RU-DU Mapper 등)과 무선 자원(사이트, 기저대역 처리 등) 등의 부분에서 추상화할 대상이 일부 다를 수는 있지만 일반적인 네트워크의 가상화에서 언급하는 네트워크 가상화 설계 목적 및 가이드 라인(Flexibility & Heterogeneity, Manageability, Isolation, Programmability, Experimental & Deployment Facility, Legacy Support) 그리고 가상화의 세 가지 기본 구성 요소(Shared Physical Network Infrastruc-

ture, Future Network Structure & Topology, Network Virtualization Algorithm)[12]에 대하여 CBS 가상화 설계 시에도 공통적으로 고려해야 할 부분이라고 판단된다.

IV. 차세대 CBS 연구 개발

한국전자통신연구원에서 차세대 CBS 연구 개발을 진행하고 있으며 차세대 CBS 개념도는 <그림 4>와 같다. 차세대 CBS는 크게 RU Pool, DU Pool 그리고 Smart CBS Controller로 구분되어 있다. RU Pool에는 다양한 다중모드 RRH들이 사이트에 배치되어 있고 DU Pool에는 RU-DU를 매핑시켜 주는 인터페이스 장치와 함께 기지국의 L1, L2, L3 소프트웨어가 탑재 가능한 PU들이 존재하며 Smart CBS Controller를 통해 자유롭게 PU 자원을 선택하여 하나의 VBS 구축을 할 수 있고 에너지 절감의 필요에 따라 RRH Power를 Off를 할 수도 있다. CBS의 핵심 기능은 Smart CBS Controller에 있으며 CBS의 핵심 요소 기술을 가상 기지국 및 동적 관리 기술, 클라우드 무선 자원 관리 기술, 개방형 소프트웨어 플랫폼 기술로 분류하였다.

1. 가상 기지국 및 동적 관리 기술

- 해당 모드의 VBS 구성에 필요한 L1/L2/L3 소프트웨어를 탑재할 다양한 타겟 하드웨어 환경을 고려하여 RAT별, 계층

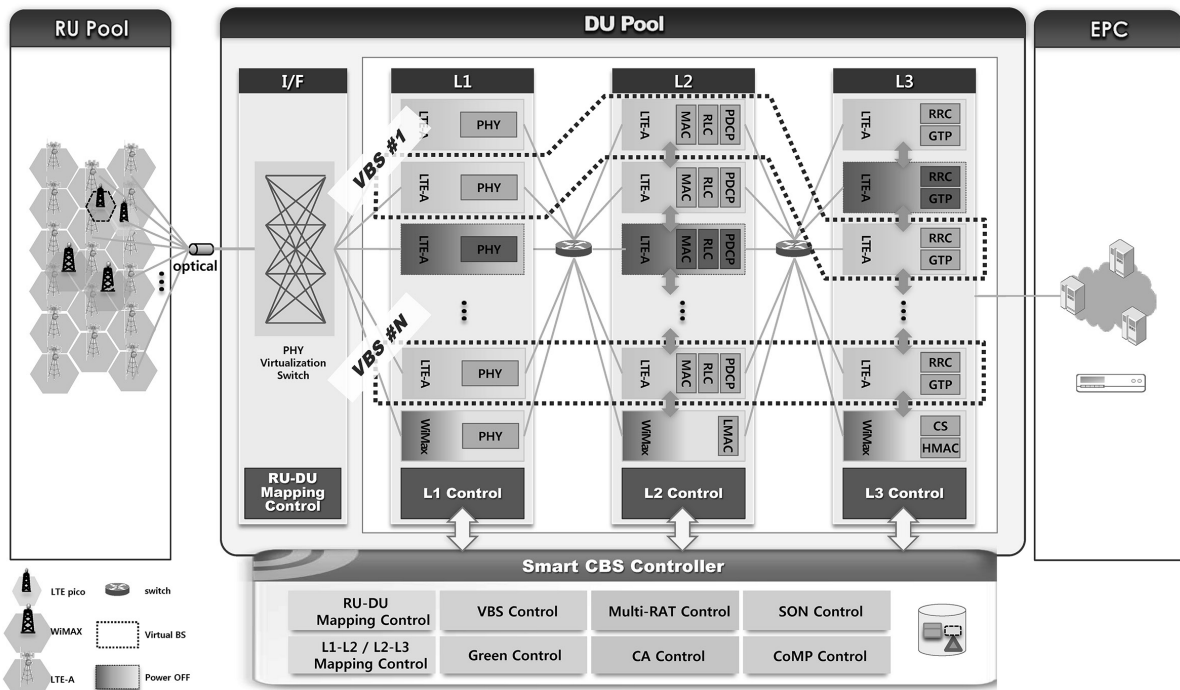


그림 4. 차세대 CBS 개념도

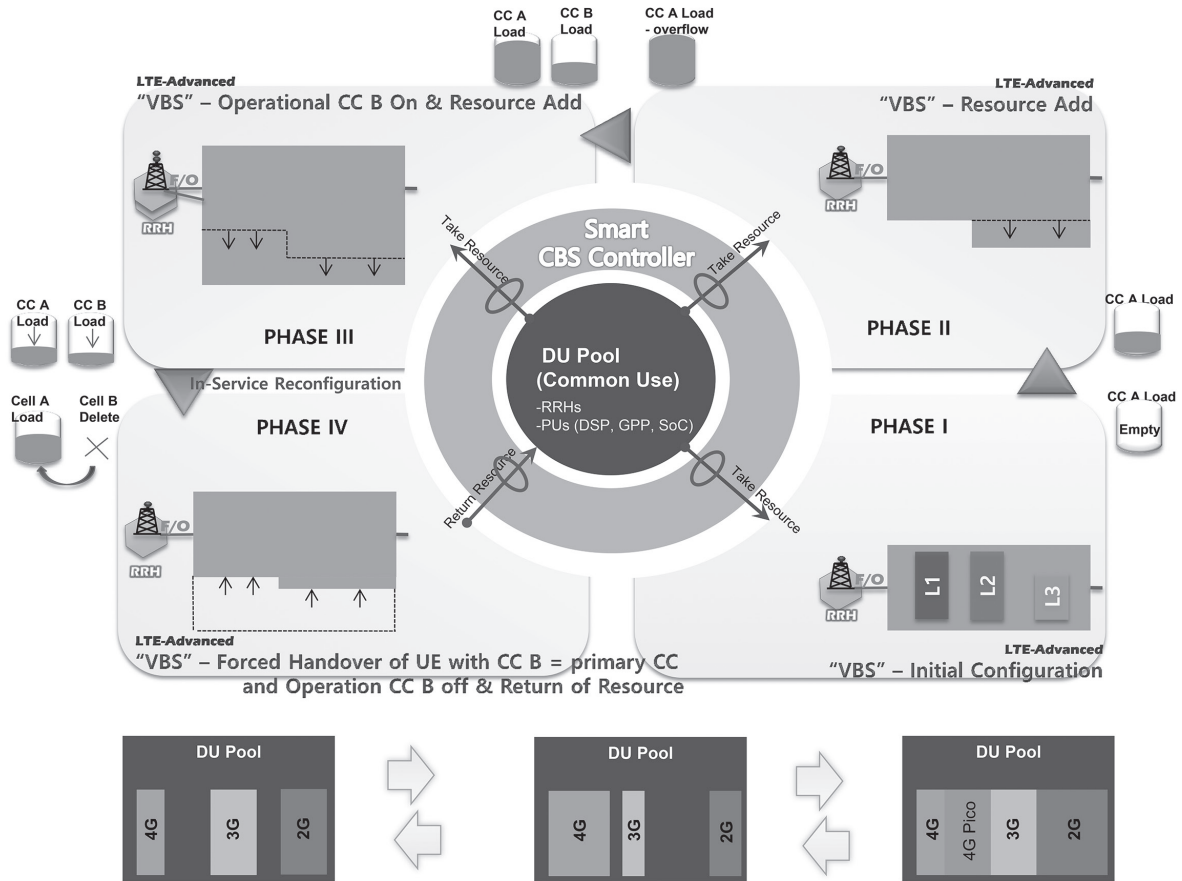


그림 5. 가상 기지국 및 동적 관리

별, 기능별, 모듈별로 소프트웨어 재구성이 가능한 형태로 개발하는 가상 기지국 프로토콜 요소 기술

- 개발된 해당 모드의 VBS 구성에 필요한 L1/L2/L3 소프트웨어를 소프트웨어 저장소에 보관하고 있다가 필요에 따라 해당 VBS를 생성, 운용 중 트래픽 용량에 변화에 따른 자원 추가 등의 증축, 해체에 관련된 VBS 동적 관리 기술

<그림 5>의 상단 그림은 단일 모드 가상 기지국 및 동적 관리에 대한 예로 PHASE I, II, III, IV로 도시되어 있다. PHASE I에서는 필요에 의해 RRH와 DU Pool상에서의 자원을 가져와서 LTE-Advanced VBS 초기 구성이 이루어지고 CC(Component Carrier) A로 서비스가 이루어진다. VBS 초기 구성 시에는 CC A 부하가 적으나 점점 사용자의 접속 및 사용자 트래픽이 증가하면서 PHASE II에서 DU Pool에서 자원을 가져와 기존 VBS에 자원을 추가 한다. 그리고 CC A의 부하가 오히려 과도 상황에 진입한다고 판단될 때 PHASE III에서는 RRH를 하나 더 추가하여 CC B를 추가 운용하기 위한 자원을 DU Pool에서 가져와 기존 VBS에 추가하여 운용함으로써 CC A로의 부하를 CC B로 분산시킨다. 그러나 다시 CC A의 부하 및 CC B

의 부하가 하나의 CC만으로도 서비스가 가능하다고 판단되는 경우에 PHASE IV에서 CC B로 서비스 되는 사용자를 CC A로 강제 핸드오버 하고 CC B에 관련된 자원을 DU pool에 반납한다. <그림 5>의 하단 그림은 시공간적 트래픽 변화에 따라 이중 VBS들의 DU pool 자원 점유 상태가 동적으로 관리되고 있음을 나타내고 있다. 단일 모드 VBS에 대한 관리와 이중 및 동중 VBS간의 이러한 일련의 모든 자원 할당 및 배분 과정을 Smart CBS Controller가 담당한다.

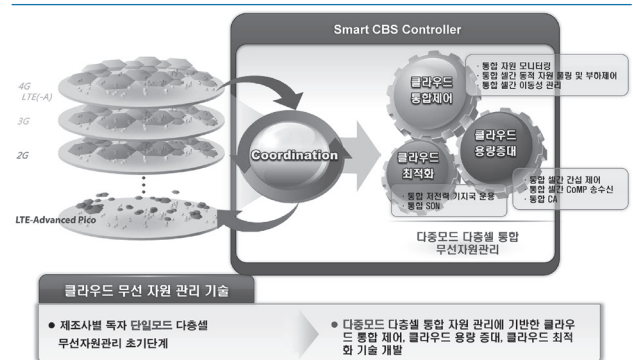


그림 6. 클라우드 무선 자원 관리

2. 클라우드 무선 자원 관리 기술

클라우드 무선 자원 관리의 개념은 <그림 6>에 도시되어 있으며 클라우드 통합 제어, 클라우드 용량증대, 클라우드 최적화로 구분되어 상호간의 유기적인 협력에 의하여 다중모드 다중 셀에 대한 통합 무선 자원 관리를 수행한다.

- 클라우드 통합 제어 요소 기술

- 다중모드 다중 셀 환경에서의 기지국 자원에 대한 자원 상태, 트래픽 분포 및 변화 등 다양한 형태의 정보를 수집하기 위한 제어 및 수집 그리고 그러한 수집된 정보에 대한 의미 있는 처리가 가능한 통합 자원 모니터링 기술
- RU의 셀 사이트들과 DU의 기저대역을 포함한 프로토콜 처리 프로세싱 장치들과의 자유로운 연결이 가능하도록 하는 자원 풀링 기술과 트래픽 분포에 따라 다중모드 다중 셀 환경에서의 트래픽의 무선 경로 제어를 통해 셀 간 부하 분산이 가능한 통합 셀간 동적 자원 풀링 및 부하 제어 기술
- 다중모드 다중 셀 환경에서의 통합 이동성 제어가 가능한 통합 셀간 이동성 관리 기술

- 클라우드 용량 증대 요소 기술

- 다중모드 다중 셀 환경에서의 셀간 간섭을 시간, 공간, 파워 관점에서의 조정을 통하여 간섭을 최소화하기 위한 통합 셀간 간섭 제어 기술
- 다중모드 다중 셀 환경에서의 셀에서의 송신 및 수신 협력을 통하여 셀 경계에서의 사용자 품질을 증가시키고 시스템 용량을 증대시키기 위한 통합 셀간 CoMP 송수신 기술
- 기지국 입장에서 다 수개의 운용 Component Carrier를 추가하거나 삭제하고 사용자별 Component Carrier의 복수 사용을 제어하는 것을 다중모드 다중 셀 환경에서 통합 관리하여 시스템 용량 및 사용자 품질을 증대시킬 수 있는 통합 CA(Carrier Aggregation) 기술

클라우드 통합 제어 기능의 한 예가 <그림 7>에 도시되어 있다. <그림 7>의 왼쪽은 통합 자원 모니터링의 일례로 셀 기반 모니터링 차원에서 셀의 부하가 측정되고 있다는 것과 UE(User Equipment) 기반 모니터링 차원에서 UE별 위치가 파악되고 있다는 것을 의미한다. 셀 A, B, C는 Coverage Layer에 속하였고 셀 부하는 각각 High, High, Low로 측정된 상태이고 셀 D는 Capacity Layer에 속한 셀로 셀 부하가 Low로 측정된 상태이다. 그리고 UE1은 셀 A, D가 중첩된 장소에 위치하였고 UE2는 셀 A, B, C가 중첩된 장소에 위치하였다. <그림 7>의 오른쪽에서 UE1의 경우 Capacity Layer의 셀 A에 접속을 유지한 상태에서 UE1의 트래픽을 Capacity Layer의 셀 D로 오

프로딩 할 수 있으며 UE2는 셀 B에 접속한 상태에서 셀 부하가 적은 셀 C로 핸드오버를 수행할 수 있다. 즉 통합 자원 모니터링 결과에 기반하여 UE1에 대한 통합 셀간 동적 자원 풀링 및 부하제어 그리고 UE2에 대한 통합 셀간 이동성 관리를 Smart CBS Controller가 수행함으로써 UE 별 QoS를 보장하고 시스템 자원을 효율적으로 사용할 수 있다.

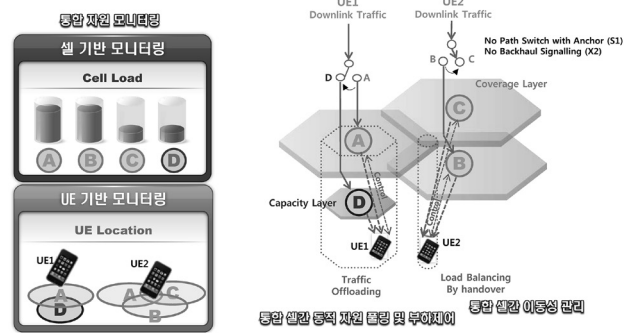


그림 7. 클라우드 통합 제어 예

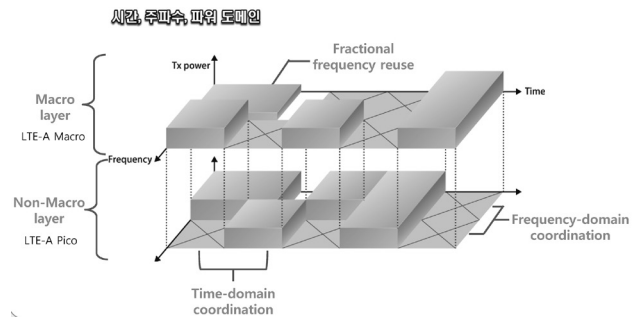


그림 8. 통합 셀간 간섭 제어기반 클라우드 용량 증대

<그림 8>과 같이 CBS가 관리하는 다중모드 다중 셀에 대하여 동일 주파수 밴드를 사용하는 모든 셀들 간의 사전 및 사후 운용 정보에 기반하여 FFR(Fractional Frequency Reuse)과 같은 선형적인(Proactive) 간섭 관리가 시간, 주파수, 파워 측면에서 매우 용이하며 또한 통합 자원 모니터링 기술을 통해 측정된 간섭 정보에 기반하여 간섭의 원인을 파악하고 조치하는 후행적(Reactive) 간섭 관리가 매우 용이하다. 특별히 CBS에 소속된 모든 셀에 대한 시간 동기화가 가능하여 시간 영역에서 ABS(Almost Blank Subframe)와 같은 시간 영역에서의 간섭 관리가 용이하고 다중모드 다중 셀 환경의 모든 셀에 대한 스케줄링 정보를 공유하고 캐싱할 수 있기 때문에 간섭의 원인 파악이 용이할 수 있다.

<그림 9>의 왼쪽은 RRH로 구성된 셀 A와 셀 B에서 UE가 셀 A에서 셀 B로 이동하는 경우를 가정하여 CoMP 송수신 적용 시나리오를 도시하고 있다. 셀 A의 신호 세기가 T1보다 적은 경우

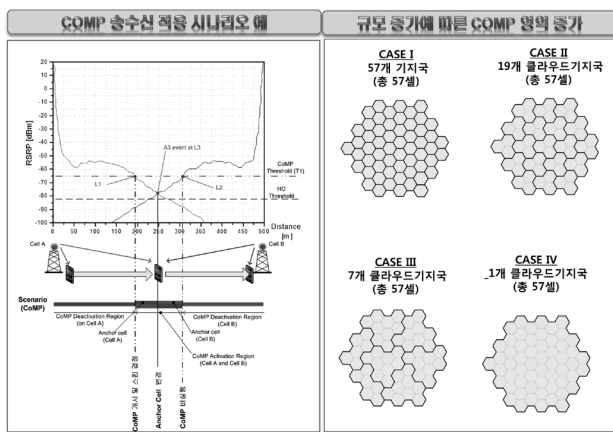


그림 9. 통합 셀간 CoMP 송수신 기반 클라우드 용량 증대

에 셀 B와의 CoMP 적용이 이루어지고 셀 A의 신호 세기보다 셀 B의 신호 세기가 커지는 경우 Anchor 셀이 셀 A에서 셀 B로 변경되고 셀 B의 신호 세기가 T1보다 커지면 CoMP 적용이 해제 된다. <그림 9>의 오른쪽에서 CASE I은 기지국당 한 개의 셀이 서비스되는 것을 의미하고 CASE II는 3개의 셀이 하나의 CBS가 되는 것을 의미하고 CASE III는 6개 혹은 9개 셀이 하나의 CBS가 되는 것을 의미하고 CASE IV는 57개의 셀이 하나의 CBS가 되는 것을 의미한다. Intra-CBS내에서의 셀간 경계에서만 CoMP JT(Joint Transmission)/JR(Joint Reception)이 가능하므로 CASE I에서는 CoMP가 적용되지 않고 CASE II, CASE III, CASE IV로 갈수록 CoMP 적용 영역(점선 부근에서 CoMP 적용이 가능)인 점선이 많아진다. CBS의 규모가 커질수록 CoMP를 통해 전체 시스템 용량 및 Cell Edge 용량이 증가하고 이동성 성능도 개선된다[13][14].

- 클라우드 최적화 요소 기술

- 다중모드 다층 셀 환경을 고려하여 자동으로 CCO(Coverage & Capacity Optimization), PCI(Physical Cell Identity) 구성, RACH Optimization을 가능하게 하는 통합 SON 기술
- 다중모드 다층 셀 환경에서의 트래픽 상태(트래픽 용량 분포, 접속자 수)에 따라 VBS 운용을 자동 제어함으로써 기지국에서 사용하는 소비전력을 절감하기 위한 통합 저전력 기지국 운용 기술

3. 개방형 소프트웨어 플랫폼 기술

제조사사 특정 하드웨어가 아닌 범용 HW 및 HW 플랫폼 사용이 가능하도록 하는 개방형 SW 플랫폼을 정의하고 상호 및 기지국 내부 인터페이스를 공개하여 제조사가 다른 범용 하드웨어 및 하드웨어 플랫폼 상에서도 다중모드 지원 가상기지국

소프트웨어의 본질적인 코드 변경 없이 다중모드 기지국 또는 다양한 무선 대역폭 재구성 지원 등의 실시간 제어 요구사항과 시스템 동기화 기능 등을 만족시키는 다중모드 다층 셀 지원 가능한 개방형 소프트웨어 플랫폼 구축 기술 <그림 3 참조>.

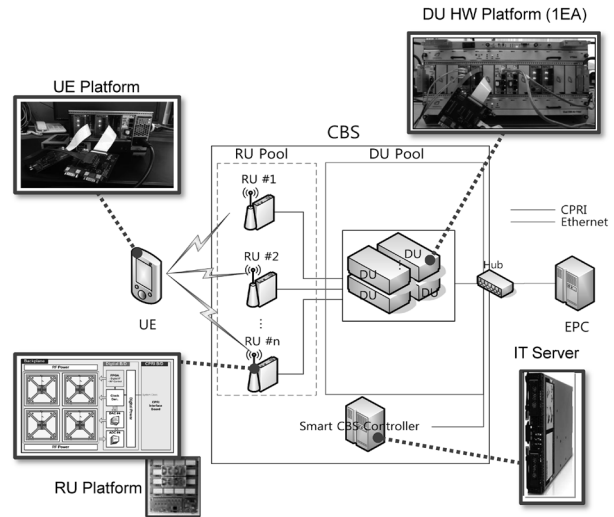


그림 10. 차세대 CBS 시제품

<그림 10>은 현재 한국전자통신연구원에서 개발 중인 차세대 CBS 시제품의 형상을 도시하고 있다. LTE-Advanced R10 기반의 가상 기지국 소프트웨어 L1, L2, L3를 개발하였고 이것은 Smart CBS Controller에 저장되고 필요에 따라 자동으로 DU HW 플랫폼에 로딩 및 실행되어 가상 기지국 기능을 수행할 수 있다. Smart CBS Controller기능을 위해 IT 서버를 준비하였고 DU HW Platform은 microTCA 범용 플랫폼에 AMC(Advanced Mezzanine Card)형태의 멀티 코어 DSP 혹은 멀티 코어 GPP의 범용 하드웨어를 사용하였고 PHY/MAC 소프트웨어는 DSP에 탑재되었다.

V. 결론

CBS 기본 구조란 기존 기지국 형태 측면에서 기지국(BS)을 RRH와 BS(-)의 두 부분으로 분리하고 RRH와 BS(-) 사이를 광섬유로 연결하여 서로 다른 장소에 분리하여 배치시킬 수 있는 이원화된 분리 형태를 의미한다. 그리고 수백 혹은 수천 개의 기존 기지국들이 하나의 CBS 구조로 재구성되는 것을 가정한다면 많은 RRH들이 지리적으로 분산된 각각의 셀 사이트에 위치한 것을 총칭하여 RU Pool이라 하고 많은 BS(-)들이 하나의 장소에 집결된 것을 총칭하여 DU Pool라 하는 분리 구조로 확장시킬 수 있다. CBS에 소속된 모든 다중모드 다층 셀의

기지 대역 처리가 집중화 (centralized Baseband) 되고 CBS가 가진 모든 자원에 공유 사용의 개념 (real-time Cloud)을 적용할 수 있다. 이러한 CBS의 본질적인 목표는 자신이 가진 모든 자원들에 대한 활용도 및 시스템 이득을 최대화 및 최적화하는 것이며 특히 이러한 구조는 CoMP 송수신 등과 같은 cooperative Radio 실현을 용이하게 해주기 때문에 무선 자원에 대한 활용도를 높이는데 매우 유리할 수 있다. 즉, CBS가 제공하는 'centralized Baseband', 'real-time Cloud', 'cooperative Radio' 와 같은 세 가지 주요 환경은 운영자의 CAPEX, OPEX를 획기적으로 줄일 수 있는 미래의 진보된 이동 통신 구조의 한 줄기로서 인식되고 있고 이와 관련된 많은 연구들이 진행되고 있는 중이며 초기 단계의 CBS는 이미 국내에서 상용화 되었다.

본고에서는 CBS의 구조 및 특징, 현재 및 미래 진화에 필요한 기반 기술과 무선 액세스 네트워크에 특화된 시스템 요소 기술들(가상 기지국 및 동적 관리 기술, 클라우드 무선 자원 관리 기술, 개방형 소프트웨어 플랫폼 기술)을 살펴 보았다. 그리고 기존 기술의 심화 및 새로운 기술의 도입으로 차세대 CBS에 새로운 목적이 부여될 것이고 새로운 기능들이 추가할 것으로 예상된다.

다만, CBS의 규모가 클수록 전체 시스템 자원 활용도 및 시스템 이득이 증가하는 것처럼 기술하였지만 인구가 밀집된 도심 혹은 경기장과 같은 장소가 아닌 셀 환경이 큰 지역에서는 광 인프라 구축 비용과의 비교가 필요하며 CBS의 자원 공유 및 규모가 커질수록 얻게 되는 장점과는 달리 시스템의 복잡도 증가 혹은 관리를 위한 새로운 프로세싱 파워의 필요성 등의 단점도 존재할 수 있다. 예를 들어 하나의 동일 하드웨어상에 다수의 가상 기지국들의 이용 등이 자원 활용도를 높일 수 있지만 지역적인 고장이 전체 시스템으로 파급될 수 있고 다시 이를 막기 위한 보호 시스템 설계 및 구현, 좀 더 조밀하고 큰 규모의 협력 통신 등의 새로운 요구사항이 존재하기 때문에 CBS의 CAPEX/OPEX를 오히려 증가시킬 수 있는 요인들이 존재하게 되므로 이러한 단점과 장점에 대한 상호 관계를 파악하기 위한 노력이 필요하다.

Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부에서 추진하는 산업융합원천기술개발 사업인 “차세대 기지국 환경(기능분산형)에서 다중모드 (Multi-RAT) 다층 셀(Multi-tier) 지원 통합 액세스 시스템을 위한 기저대역 원천기술개발(10041734)” 연구의 일환으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] ALU, A new RAN for a new era of mobility: http://www2.alcatel-lucent.com/knowledge-center/public_files/waa/Wireless-All-Around-New-RAN-Era.pdf.
- [2] CMCC/ZTE C-RAN: http://www.zte.com.cn/en/press_center/news/201102/t20110215_351065.html.
- [3] ALU(Bell Lab) Light Radio: <http://www.lgsinnovations.com/solutions/broadband-wireless-network-light-radio>.
- [4] CPRI(Common Public Radio Interface): <http://www.cpri.info>.
- [5] OBSAI(Open Base Station Architecture Initiative): <http://www.obsai.org>.
- [6] DAS(Distributed Antenna System): <http://www.alino.com/Info/DistributedAntennaSystems/das.htm>.
- [7] EU FP7 OMEGA Project: <http://www.ict-omega.eu/>.
- [8] 이한협, 조승현, 이지현, 명승일, 이상수, “차세대 광가입자망 기술 및 표준화 동향”, pp. 89-98, ETRI 전자통신동향분석 차세대통신기술특집, 2012.
- [9] EU FP7 MCN Project: <http://www.fp7-mobilecloud.eu/>.
- [10] Xiao-Feng Tao, Yan-Zhao Hou, Kai-Dong Wang, Hai-Yang He, Y. Jay Guo, GPP-Based Base Station Designing and Optimization, Journal of Computer Science and Technology 28(9): pp 420-428, May 2013.
- [11] Gudaitis M S, Hinman R D. Tactical software radio concept. In Proc. MILCOM1997, November 1997, Vol.3, pp.1207-1211.
- [12] 정상진, 신명기, 김형준, “미래 인터넷을 위한 네트워크 가상화 표준기술 개발 동향”, pp 84-92, TTA Journal, 2010.
- [13] Soon-Gi Park, Dae-Young Kim, “Downlink Multi-point transmission effect using Aggregate Base Station Architecture,” IEICE Transaction on Communications, E94B(12), pp. 3374-3377, Dec. 2011.
- [14] Soon Gi Park, Byung Han Ryu, Nam-Hun Park, Dae Young Kim, “The Impact of Cloud Base Station's Coordinated Multi-point Schemes on Mobility Performance,” International Conference on ICT Conver-

gence(ICTC), pp. 660-665, Oct. 2012.

약 력



박 순 기

1993년 충남대학교 공학사
1995년 충남대학교 공학석사
2012년 충남대학교 공학박사
1995년~2000년 대우중공업 주임연구원
2000년~현재 한국전자통신연구원 통신인터넷연구
소 소프트기지국연구실 책임연구원
관심분야: 이동통신, 무선자원관리



유 병 한

1985년 한양대학교 공학사
1988년 서울대학교 공학석사
1997년 오사카대학교 공학박사
1988년~현재 한국전자통신연구원 통신인터넷연구
소 소프트기지국연구실 책임연구원
관심분야: 이동통신 프로토콜 설계, 성능분석



신 연 승

1984년 고려대학교 이학석사
1984년~현재 한국전자통신연구원 통신인터넷연구
소 소프트기지국연구실 실장
관심분야: 이동통신 가상 기지국 기술,
유연한 무선 네트워크 구조



권 동 승

1985년 연세대학교 공학사
1997년 연세대학교 공학석사
2004년 연세대학교 공학박사
1988년~현재 한국전자통신연구원 통신인터넷연구
소 무선응용연구부 부장
관심분야: 이동통신 시스템 및 무선전송기술