

3GPP LTE/LTE-A를 위한 중계기술 무선 프로토콜

이충진, 김준수
한국산업기술대학교

요약

커버리지를 확대하고 다이버시티 이득의 극대화를 통해 전송 신뢰도를 높이는데 효과적인 무선 중계기술은 많은 연구자의 높은 관심을 받아왔으며 그동안의 주요 연구결과를 바탕으로 3GPP Release 10에 LTE/LTE-A를 위한 중계기술로 표준화 되기에 이르렀다. 본고에서는 LTE/LTE-A를 위한 중계기술이 표준기술로 포함된 Release 10을 중심으로 중계 시스템의 전반적인 구조를 소개하고 중계 절차 및 주요 네트워크 프로토콜을 살펴본다.

I. 서론

LTE에서의 중계기술은 기지국, 즉 evolved NodeB (eNB)와 단말인 user equipment (UE)사이의 데이터 전송을 중계하는 기술로서, eNB로부터 멀리 떨어져 있는 UE가 가까운 중계국, 즉 relay node (RN)를 통해 데이터를 송수신할 수 있도록 하여 더 높은 데이터 전송률을 달성 할 수 있을 뿐만 아니라 전송영역, 즉 커버리지의 확장과 음영해소에 효과적인 기술이라 할 수 있다. 그동안 Relay라 부르는 중계국을 전송단과 송신단 사이에 두어 전송 다이버시티 (transmit diversity)이득을 획득함으로써 데이터 전송의 신뢰도를 높이기 위한 다양한 연구가 이루어졌다[1][2][3]. 이러한 연구의 결과물을 바탕으로 셀 커버리지 확대와 전송성능 향상을 목표로 3GPP Release 10에 표준기술로 포함되었다.

본고에서는 문헌 [4]를 기반으로 LTE와 LTE-A를 위한 중계기술의 구조와 동작에 대해 살펴본다. II장에서는 RN의 적용 시나리오를 알아보고, III장에서 기존의 네트워크 아키텍처와 RN 기술을 적용한 네트워크 아키텍처를 비교한다. IV장에서는 RN의 분류법과 각 타입의 특징과 장단점을 비교하였다. V장에서는 RN의 특별한 기능들에 대해 서술하였고, VI장에서 RN의 동작 절차와 Release 10에서 단순화된 RN에 대해 알아본 뒤 VII

장에서 본고를 마무리한다.

II. 적용 시나리오

다수의 지역에 eNB를 배치하기 위해서는 각 eNB에 유선 백홀을 설치해야 하기 때문에 비용적인 측면에서 비효율적일 수 있다. 따라서 기존의 eNB만을 배치하는 방법보다 중간에 릴레이를 배치시키는 방법이 여러 측면에서 유용할 수 있으며 일반적으로 고려하는 시나리오는 다음과 같다.

- 커버리지 확대 : RN은 셀경계(Cell edge)에 배치되어 eNB의 커버리지를 확장시킬 수 있다.
- 음영 해소 : 건물이나 산, 터널과 같은 지형지물로 인하여 발생 할 수 있는 음영을 제거하기 위해 RN을 배치 할 수 있다.
- 전송률(throughput) 향상 : hotspot 지역 또는 도심지역과 같은 특정 지역에 RN을 배치하여 전송율을 향상 시킬 수 있다.
- 일시적 서비스 : 스포츠 게임이나 음악 콘서트가 열리는 특별한 지역 또는 지진과 같은 자연재해가 발생한 지역에 RN을 배치하여 일시적으로 서비스를 제공할 수 있다.
- 그룹 이동성 지원 : RN은 이동하는 기차나 차량 등에 배치 될 수 있다. 다른 시나리오와 달리 이동성(Mobility)이 적용된다.

위에서와 같이 다양한 시나리오가 가능하지만 LTE Release 10에서는 사업자 중심의 서비스와 단일홉 (single-hop) 중

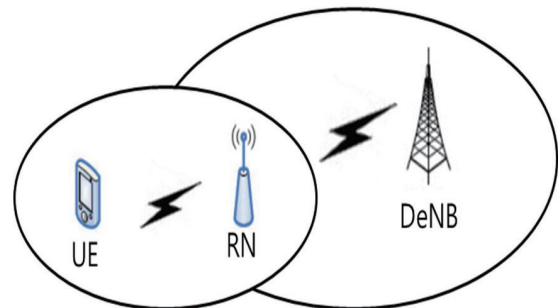


그림 1. RN을 활용하여 커버리지를 확장하는 시나리오의 예

계 등의 단순한 구조를 통해 교외지역에서의 커버리지 확장에 중점을 두고 있다. <그림 1>은 RN을 활용한 커버리지의 확장을 나타낸다. <그림 1>에서 DeNB는 RN을 지원하는 eNB로서 doner eNodeB를 의미한다.

Ⅲ. RN을 위한 네트워크 구조

<그림 2>는 RN을 위한 네트워크 구조를 나타낸다. 이 그림에서 빨간색 점선으로 표시된 부분이 RN이 추가된 부분을 나타낸다. 기존의 기지국에 RN이 추가됨으로써 새롭게 정의되거나 수정된 인터페이스는 Un, S1, X2이다. UE와 RN사이의 Uu 인터페이스는 기존의 UE와 eNB 사이의 Uu 인터페이스와 동일하다. RN은 기존의 eNB와 같이 RRC등 제어평면(Control Plan)과 PDCP, RLC 및 MAC등 사용자 평면(User Plan)이 정의된다. 릴레이 기술의 표준화에서 핵심적인 부분은 Un 인터페이스에 해당하는 무선구간의 기술을 정의 하는 것이다. 또한, RN은 MME (Mobility Management Entity)와 S-GW (Serving Gateway)와도 연결된다. RN과 DeNB 사이에는 S1 인터페이스와 X2 인터페이스로 연결되는데 S1 인터페이스는 시그널링 프로토콜로 DeNB와 RN 간에 데이터 교환을 위해 사용 된다.

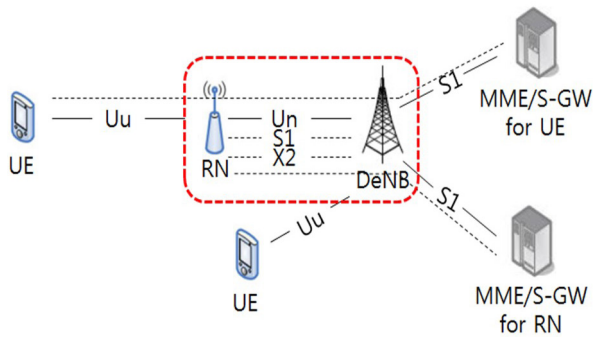


그림 2. RN을 위한 네트워크 구조

DeNB와 MME를 연결하는 S1은 제어평면을 위한 인터페이스이며, DeNB와 S-GW를 연결하는 S1은 사용자 평면을 위한 인터페이스이다. X2는 다른 RN이나 DeNB를 연결하기 위한 인터페이스이다. 제어 평면과 사용자 평면은 <그림 3>과 <그림 4>에서 보여준다.

Ⅳ. RN의 형태

RN의 타입을 구분하는 두 가지 기준은 어떤 계층(layer)이

중계에 관여하는지와 Un 링크가 Uu 링크와 주파수를 공유하는지 여부이다.

RN은 크게 두 가지 타입으로 나누어 볼 수 있다. 릴레이 Layer Performing에 따른 타입과 주파수 Uu 과 Un 링크들의 주파수 분리 타입으로 분류 한다.

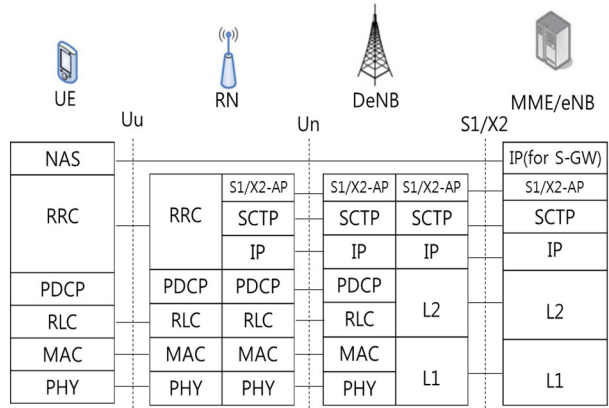


그림 3. RN을 위한 제어평면의 구조

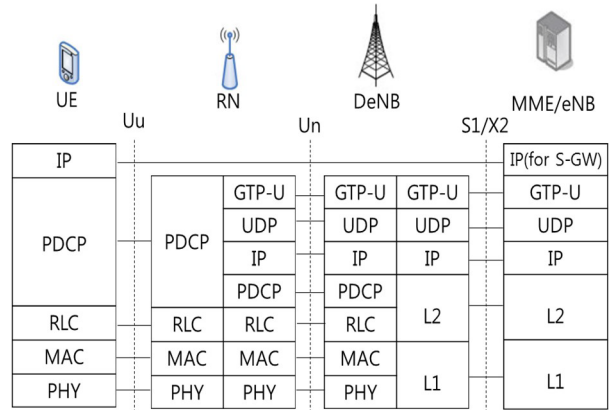


그림 4. RN을 위한 사용자평면의 구조

1. 계층에 따른 분류

중계가 어떤 계층에서 이루어지는지에 따라 세 가지 형태, 즉 1-계층 RN, 2-계층 RN, 3-계층 RN으로 구분할 수 있다.

1-계층 RN은 다른 용어로 리피터(repeater)라 하기도 하며 단순히 물리계층에서 RF 신호를 증폭하여 중계한다. 별도의 신호처리가 사용되지 않기 때문에 다른 형태의 RN에 비해 처리속도가 빠른 반면 잡음이 함께 증폭될 수 있기 때문에 signal-to-interference and noise (SINR)이 향상되지 않는다. 1-계층 RN의 기능은 DeNB의 RRC 계층에 의해 제어된다.

2-계층 RN은 2-계층에서 RF 신호를 디코딩 후 인코딩을 함으로서 1-계층 RN의 단점을 극복하기 위해 설계 되었다. 디코

딩 및 인코딩의 신호처리로 발생할 수 있는 지연은 1-계층 RN에 비해 조금 증가 하지만, 간섭과 잡음 신호를 제거 할 수 있게 된다. 2-계층 RN은 MAC RN, RLC RN, PDCP RN 으로 분류된다. RN에는 RRC 계층이 없기 때문에 DeNB에 있는 RRC 계층이 RN의 1-계층과 2-계층 기능, 즉 데이터 포맷, 재전송, 스케줄링 등을 제어해야 한다. 이는 2-계층 RN이 갖는 가장 심각한 문제라 할 수 있다. 왜냐하면 일반적으로 서로다른 두 네트워크 노드를 제어하는 것이 매우 어렵기 때문이다. 또한 RN과 DeNB를 유기적으로 제어하기 위해 추가적인 기능들이 2-계층에 필요하다. 따라서 우수한 성능에도 불구하고 2-계층 RN은 많은 한계를 가지고 있다.

3-계층 RN은 2-계층 RN과 유사하게 2-계층에서 간섭과 잡음을 제거 할 수 있다. 하지만, 3-계층 RN은 1-계층과 2-계층 뿐만 아니라 RRC 계층의 기능을 가지고 있다. 기존의 Uu 무선 프로토콜들은 3-계층 RN에도 적용된다. 중계는 PDCP 계층 상위의 IP 패킷에 적용되고 RRC는 1-계층과 2-계층의 모든 기능을 제어한다. 이러한 RRC 기능 때문에, 각 RN은 고유한 셀 ID, 즉 PCI를 갖게 되고 결과적으로 UE의 입장에서 RN은 하나의 eNB로 인식될 수 있다. 2-계층 RN과 유사하게 3-계층 RN도 하위계층의 동작에 의한 추가적인 지연이 필연적이다. 이상에서 살펴본 세 종류의 RN 중, 3GPP Release 10에서는 3-계층 RN을 표준으로 채택하였다.

2. 링크별 주파수 구분에 따른 분류

RN과 연관된 주요 링크는 eNB와 RN과의 링크 (<그림 2>의 Un으로 백홀링크임)와 RN과 UE사이의 링크 (<그림 2>의 Uu)이며, 이 두 링크는 모두 무선 링크이다. 따라서 이 두 무선 링크에 할당된 주파수에 따라 in-band RN과 out-band RN으로 구분할 수 있다. In-band RN은 Uu와 Un 링크가 동일한 대역을 사용하는 경우이고 out-band는 Uu와 Un이 서로 다른 대역을 사용하는 경우를 의미한다.

Un 링크와 Uu 링크가 동일한 대역에서 동작하는 in-band RN의 경우 추가적인 주파수가 필요없기 때문에 경제적으로 효율적이며 손쉽게 설치하는 것이 가능하다. 그러나 두 무선 링크 사이에 발생할 수 있는 간섭, 즉 자가간섭 (self-interference)가 불가피하며 이를 회피하기 위한 시간 자원의 분리와 같은 자원 분리 기법을 사용해야 한다.

Out-band RN의 경우, Un링크와 Uu링크의 주파수 대역이 분리 되어 있기 때문에 동시에 송수신 할 수가 있다. 그렇기 때문에 Uu 링크와 Un링크를 분리하기 위한 특별한 메커니즘이 필요하지 않으며 동작 또한 매우 간단하다. 3GPP Release 10에서는 in-band RN, out-band RN 둘다 지원하도록 결정 되었

다. 즉, RN은 in-band RN 혹은 out-band RN 모드 중 하나에서 동작해야 하며, 주파수 계획에 따라 동작 모드를 선택 할 수 있어야한다.

종합적으로 3GPP Release 10에서는 3-계층 RN을 in-band 혹은 out-band로 사용할 수 있도록 하고 있다. 구체적으로 in-band layer 3 RN을 type-1, out-band layer 3 RN을 type-1a RN이라 정의하고 있다.

V. RN의 동작

RN은 UE로써 혹은 eNB로써 동작하기위해 Uu 인터페이스의 거의 모든 기능을 지원한다. 즉, DeNB와의 링크는 UE의 Uu 기능을 지원하고 UE와의 링크는 eNB의 Uu 기능에 의해 제어된다.

Un기능은 RN이 eNB로 동작할 때 사용된다. Un 기능은 Uu 기능을 기반으로 RN이 eNB로 동작하기 위한 몇가지 기능을 추가한 것이다.

1. 베어러 매핑

Uu 인터페이스에 있는 하나의 UE는 최대 8개의 data radio bearer (DRB)를 지원할 수 있다. 이와 유사하게 Un 인터페이스에 있는 하나의 RN은 최대 8개의 DRB를 지원할 수 있다. 그러나 Uu 인터페이스에 있는 RN은 8개 이상의 DRB를 지원해야만 한다. 즉, 하나의 RN이 여러 UE와 연결될 수 있고 각 UE가 최대 8개의 DRB를 지원하기 때문이다.

상향링크 방향에서 Un DRB의 수가 제한되기 때문에 RN은 Uu DRB와 Un DRB 사이에서 N-to-1 매핑을 수행해야만 한다. 베어러 매핑은 QoS class identifier (QCI)를 기반으로 이루어지며 동일한 QoS를 갖는 다수의 Uu DRB를 하나의 Un DRB에 매핑된다. 하향에서도 동일한 N-to-1 매핑이 일어난다.

<그림 5>는 RN의 베어러 매핑의 예를 나타낸다. 이 그림에

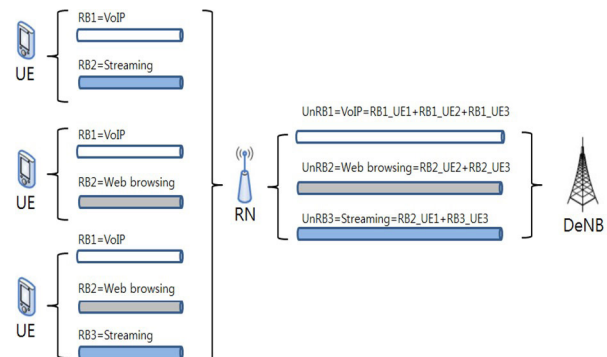


그림 5. RN에서의 베어러 매핑의 예.

서 모든 VoIP 베어러들이 UnRB1에 매핑되고 웹 브라우징 베어러들은 UnRB2에, 스트리밍 베어러는 UnRB3에 매핑되고 있다. N-to-1 매핑은 근본적으로 다수의 Uu DRB가 하나의 Un DRB로 다중화되는 것을 의미한다. Release 10에서 3-계층 RN을 지원하기 때문에, RN은 PDCP 계층 상위에서 IP 패킷에 대해 다중화를 수행한다. 하나의 Un DRB에 다중화된 Uu DRB 들은 GTP 헤더에 들어있는 GTP-U tunneling endpoint ID, 즉 TEID를 통해 식별할 수 있다.

2. UnDRB를 위한 무결성 보호 (Integrity Protection)

LTE Release 8에서는 추가적인 오버헤드의 부담 때문에 DRB에 대한 무결성 보호 (integrity protection)를 적용하지 않았다. 이는 패킷의 내용이 갖는 중요성을 고려했을 때 사용자 평면에 오버헤드를 추가하는 것이 큰 의미가 없다는 판단이 있었기 때문이었다. 따라서 DRB 대신 signaling radio bearer, 즉 SRB에 대한 무결성 보호만을 적용했었다.

그러나 중계 시스템이 적용되면 기존과 다른 상황이 발생한다. 즉, S1과 X2의 제어평면 메시지가 Un 링크에서 DRB를 통해 전송되어야 하는 것이다. 따라서 DRB라 하더라도 단순히 사용자 평면의 데이터가 아니라 제어평면의 메시지를 포함할 수 있게 된 것이다. 이를 위해 Un 인터페이스에서는 SRB 뿐만 아니라 DRB에도 무결성 보호가 적용되어야 한다. Release 10에는 중계 시스템의 도입으로 변화된 환경에서의 무결성 보호를 위해 다음과 같은 몇 가지 변경 사항이 반영되었다.

첫 째 사항은 PDCP 설정 메시지에서 각 DRB에 대한 무결성 보호 여부를 알려주기 위한 새로운 인디케이터를 추가하였다. 새로운 인디케이터의 이름은 `rn-IntegrityProtection`이다. 이 인디케이터를 통해 선택적으로 무결성 보호를 수행할지 여부를 알려줄 수 있다. 여기서 주목할 것은 DRB에 대한 무결성 보호를 여전히 '선택사항'으로 남겨두었다는 점이다. 즉, 모든 DRB에 대해 의무적으로 무결성 보호를 수행하는 것이 아니라 제어평면 메시지를 포함한 일부 DRB에 대해서만 무결성 보호를 수행할 수 있도록 하여 추가적인 오버헤드를 최소화한 것이다. 또한 DRB에 대한 무결성 보호를 위해 새로운 보안 키 (security key)를 도입하였다. 세 번째로는 새로운 포맷의 PDCP PDU를 정의하였다. 무결성 보호를 위해서는 PDCP PDU에 4 byte 길이의 MAC-I 필드가 필요하다. SRB에 대해서만 무결성 보호를 수행하던 release 8에서는 SRB를 위한 PDCP PDU에만 MAC-I 필드를 포함한다. 그러나 DRB에서 무결성 보호를 수행하기 위해서는 DRB를 위한 PDCP PDU에도 MAC-I 필드가 필요한 것이다. <그림 6>은 이를 위해 새로이 정의된 PDCP data PDU를 나타낸다. 이 그림에 4 byte의 MAC-I 필드가 추

D/C (1bit)	PDCP SN (12 bits)	Data	MAC-I (4bytes)
------------	-------------------	------	----------------

그림 6. Un DRB를 위한 PDCP Data PDU format.

가된 것을 확인할 수 있다.

이상에서 언급한 사항 이외에 무결성 검증 및 추가적인 부분에 관한 변경 사항 등이 release 10에 반영되었다.

3. RN Subframe 설정

3-계층 RN은 in-band와 Out-band의 서로 다른 두 개의 모드로 동작 할 수 있다. Out-band 동작은 Uu 링크와 Un 링크가 주파수에 의해 분리 되어있기 때문에 간단하다. 하지만, in-band 동작의 경우 Uu 링크와 Un 링크가 시간 영역에서만 분리되어 있어 상대적으로 복잡하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 RN으로부터 UE로 전송하기 위한 갭 (gap)을 설정하고, 갭 동안 RN은 UE에 전송하지 않고 DeNB로부터 수신한다. 이러한 갭 정보는 RN으로부터 각 UE에 전달되는데 이 정보는 MBSFN (multicast/broadcast single frequency network) 서브프레임 설정 방식을 이용해 전달된다. MBSFN 서브프레임은 원래 MBMS (multimedia broadcast multicast service) 전송을 위해 설계 되었지만, RN에서도 사용할 수 있으며 이를 RN 서브프레임이라 한다.

UE의 이전 버전과의 호환성을 위해서, RN은 매 서브프레임 간격으로 PDCCH, PCFICH, PHICH와 같은 제어 정보를 전송해야 하며 RN 서브프레임 중에도 제어정보를 전송해야 한다. 제어정보는 각 서브프레임의 시작부분에 위치한다.

RN이 Uu 링크에 대한 제어정보를 전송할 때에는 DeNB로부터 전송되는 제어정보를 수신할 수 없다. 당연히 RN이 제어정보를 수신하지 못하면 DeNB로부터 데이터를 수신할 수 없다. 이를 해결하기 위해 Relay-PDCCH (R-PDCCH)라는 새로운 물리계층 제어 채널이 도입되었다. R-PDCCH는 RN 서브프레임이 끝나는 시점에 전송된다.

상향링크에서는 RN이 UE의 상향링크 전송을 완전히 제어할 수 있기 때문에 RN 서브프레임 설정이 필요없다. 즉 RN이 DeNB로 전송하고자 할 경우 UE들에 대한 자원할당을 막아 상향링크 전송을 중단할 수 있다. 따라서 RN 서브프레임을 하향링크 서브프레임이라 부르기도 한다.

4. 시스템 정보의 갱신

Release 8에서, UE는 시스템 정보 취득 절차를 통해서 업데이트 된 시스템 정보를 취득한다. 이러한 절차는 페이징 메시지, 최대 유효기간의 만료 등과 같은 다양한 트리거에 의해 시

작 될 수 있다. 절차가 시작 될 때, UE는 사전에 정의된 서브프레임에서 브로드캐스트 시스템 정보를 판독하고, 업데이트된 시스템 정보를 얻는다.

동일한 메커니즘이 out-band RN에서도 사용된다. Out-band RN은 Un 인터페이스에서 다른 주파수를 사용하기 때문에, 서브프레임 제약 없이 시스템 정보를 업데이트 할 수 있다. 그러나 in-band RN은 RN 서브프레임 설정에 적합한 Un 서브프레임만을 모니터링하기 때문에 갱신된 최신 시스템 정보를 획득하지 못할 수도 있다. 그러므로, in-band RN의 경우 시스템 정보의 갱신을 위해 전용 RRC 시그널링이 사용된다. RN과 관련된 모든 시스템 정보를 변경시, DeNB는 RNReconfiguration이라는 전용 RRC 메시지를 이용하여 in-band RN에 업데이트 된 시스템 정보를 제공한다.

5. RN 재설정 절차

RN 재설정 절차는 <그림 7>과 같다. DeNB가 RNReconfiguration 메시지를 RRC_CONNECTED상태에 있는 RN으로 전송함으로써 절차가 시작된다. DeNB는 RN에서 보안이 활성화 된 후에 언제든지 메시지를 전송 할 수 있다. RNReconfiguration 메시지는 RN 서브프레임 설정과 RN 전용 시스템 정보 등 두 가지 정보를 포함하고 있다. RNReconfiguration 메시지에서 제공하는 설정을 적용한 후, RN은 RNReconfigurationComplete 메시지를 DeNB에게 재설정에 대한 답을 전송하면 RN은 eNB로서 UE를 서비스할 준비가 완료된다.

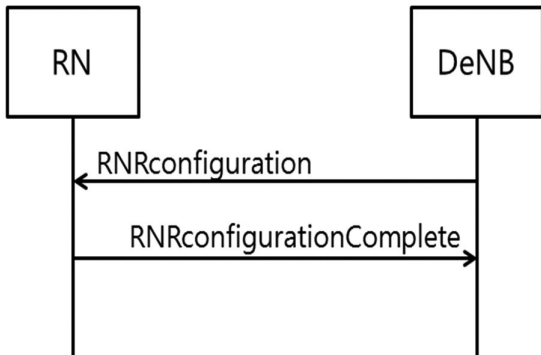


그림 7. RN 재설정 절차

VI. RN 시작절차

RN 시작절차는 RN의 동작을 시작하도록 준비하는데 필요한

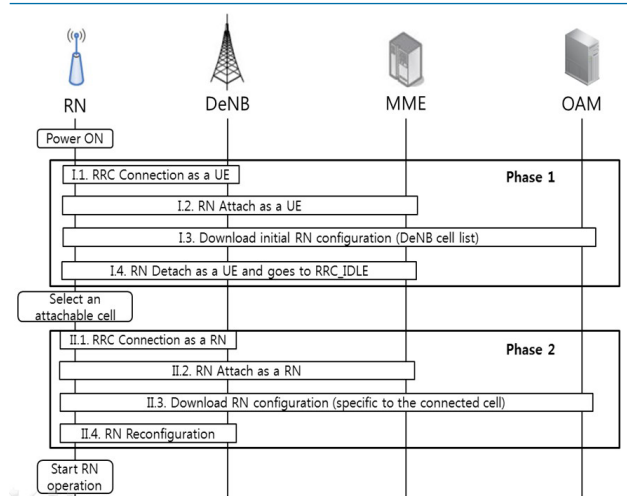


그림 8. RN 시작절차.

파라미터를 이용해 RN을 설정하는데 사용된다. <그림 8>에 나타난 것과 같이 RN 시작절차는 크게 두 가지 절차로 나뉜다. Phase-I은 RN의 전원이 on되고 난 뒤 어떤 셀과 연결할지를 결정하는 단계이다. 즉, 모든 셀이 RN을 지원하는 것이 아니기 때문에 RN은 최초로 연결을 설정할 셀을 탐색하고 결정해야 한다. 그러나 연결한 셀을 이미 알고 있는 경우에는 Phase-I을 건너뛸 수 있다. Phase-II는 RN으로서 RRC 연결을 설정하는 단계이다. 여기에서 설정되는 RRC 연결은 Phase-I에서 설정하는 RRC 연결과는 다른 것이다. Phase-II에서 DeNB는 RN을 지원할 수 있는 MME를 검색하고 이를 찾게되면 RN은 MME에 접속한 뒤 OAM, 즉 operations and management에서 현재 접속한 셀에 적합한 RN 설정을 다운받아 RN을 설정한다. 이상에서 설명한 Phase-I과 Phase-II를 통해 RN이 시작되며 동작 준비를 마치게 된다.

VII. Release 10에서의 RN 단순화

3GPP에서 Release 10이 처음 논의되던 당시 중계 기술을 LTE-A를 위한 핵심 기술 중 하나로 고려하였다. 그러나 표준화 스케줄에 맞추기 위해 Release 10에서는 하나의 단순한 형태의 RN만을 지원하는 것으로 결정되었다. 앞서 설명한 바와 같이 Release 10에서는 셀 커버리지 향상에 초점을 맞추어 RN을 설계하였다. 따라서 다중-홉 전송, 셀간 이동성, RN간 이동성은 지원하지 않으며 사업자 주도의 RN, 정적 RN, 단일-홉 전송만 지원한다. 이처럼 Release 10의 단순화된 RN으로 인해 Uu 무선 프로토콜 역시 단순화 되었다. 결론적으로 Release 10에서 지원하지 않는 주요 기능을 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫 번째는 핸드오버시 데이터 포워딩의 미지원이다. Release 10에서는 RN 핸드오버 뿐만 아니라 UE 핸드오버도 지원하지 않는다. 따라서 Un 인터페이스에서 데이터 포워딩을 지원하지 않는다. 그러나 핸드오버는 매우 중요한 기능이기에 때문에 추후에 발표되는 release에 추가될 가능성이 높다.

두 번째는 Un 인터페이스에서의 하향링크 흐름제어 (flow control)의 부재이다. RN은 기본적으로 두 개의 무선 링크를 갖기 때문에 무선자원의 낭비를 최소화하기 위해서는 Uu 링크와 Un 링크 사이의 균형을 조절하는 것이 중요하다. 그러나 Release 10에서는 이를 조절하기 위한 하향링크에서의 흐름제어 기능을 지원하지 않는다.

이상에서 언급한 것 이외에 무선 프로토콜의 관점에서 지원되지 않는 여러 기능들이 존재한다. 이러한 기능들이 비록 Release 10에서는 지원되지 않더라도 중계 시스템을 통해 주요 이득을 얻기 위해서 꼭 필요한 것들이므로 향후 release에 포함될 가능성이 높다고 할 수 있다.

VIII. 결론

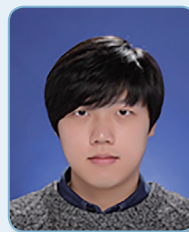
본고에서는 LTE 및 LTE-A의 핵심기술로 Release 10에서 표준화된 중계기술에 대해 무선 프로토콜의 관점에서 살펴보았다. RN은 carrier aggregation (CA)과 함께 LTE-A를 구성하는 주요 기술로 자리잡고 있으며 향후 셀 커버리지 확장 뿐만 아니라 small cell 등의 차세대 시스템을 위한 핵심적인 역할을 할 것으로 예상된다.

참고 문헌

- [1] Seong Hwan Kim, T. V. K. Chaitanya, Tho Le-Ngoc and Junsu Kim, "Rate Maximization Based Power Allocation and Relay Selection With IRI Consideration for Two-Path AF Relaying," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 14, no. 11, pp. 6012–6027, Nov. 2015.
- [2] J. Kim, D. S. Michalopoulos and R. Schober, "Diversity Analysis of Multi-User Multi-Relay Networks," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 10, no. 7, pp. 2380–2389, July 2011.

- [3] A. Krendzel, "LTE-A Mobile Relay Handling: Architecture Aspects," Wireless Conference (EW), Proceedings of the 2013 19th European, Guildford, UK, 2013, pp. 1–6.
- [4] SeungJune Yi, Sung Duck Chun, Young Dae Lee, Sung Jun Park, Sung Hoon Jung, Radio Protocols for LTE and LTE-Advanced, Wiley, 2012.

약 력



이 충 진

2009년~2015년 한국산업기술대학교, 학사
2015년~현재 한국산업기술대학교, 석사
관심분야: 무선자원관리, 협력통신



김 준 수

2001년 KAIST 공학사
2003년 KAIST 공학석사
2009년 KAIST 공학박사
2009년 KAIST 정보전자연구소, 연구원
2009년~2011년 University of British Columbia (UBC), 박사후연구원
2011년~현재 한국산업기술대학교, 조교수
관심분야: 무선자원관리, 협력통신, 인지무선통신, 물리계층보안