
차세대 이동통신 네트워크를 위한 무선 액세스 망 구조 및 가상화 시나리오

김명환* · 김수민** · 정방철*** · 박연식****

Wireless Access Network Architecture and Virtualization Scenarios for Next-Generation Mobile Communication Networks

Myunghwan Kim* · Su Min Kim** · Bang Chul Jung*** · Yeoun-Sik Park****

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구 사업임 (No.2010-0011140)

요 약

차세대 모바일 인터넷의 진화에 따라 2G, 3G, 4G, B4G 이동통신 무선접속네트워크가 공존하게 되며, 기존의 통신 서비스 제공자들은 통합 서비스 제공자로 융합되고, 다수의 가상 서비스 제공자들이 발생하게 될 것으로 예상된다. 이러한 복잡한 미래의 융합 서비스를 제공하기 위해서 미래 인터넷에서는 무선 액세스 네트워크가 융합되고 다양한 서비스 제공자들에 의해 공유되는 무선 네트워크 가상화가 필수적이다. 따라서 본 논문에서는 미래 무선 액세스 네트워크 상에서 여러 서비스 제공자들의 다양한 무선 액세스 기술들이 유연하게 통합 운영될 수 있는 무선 액세스 네트워크 가상화를 위한 망 구조와 가상화 시나리오에 대해서 고찰한다. 본 논문에서 도출된 차세대 이동통신 네트워크를 위한 무선 액세스 망 구조 및 가상화 시나리오는 앞으로 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘 개발을 위한 기틀 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

ABSTRACT

In accordance with evolution of next-generation mobile Internet, 2G, 3G, 4G, and B4G mobile communication wireless access networks will be co-existed and service providers will be merged as an integrated service provider. In addition, multiple virtual service operators will appear. In order to provide complicated unified-services, in the future Internet, wireless network virtualization where network resource is shared by various service operators is necessary. Therefore, in this paper, we investigate network architectures and virtualization scenarios for wireless access network virtualization where various wireless access technologies are flexibly operated by multiple service providers over next-generation wireless access networks. We expect that the virtualization scenario and network architecture yielded from this study can play a role as a basis for development of wireless access network virtualization algorithms.

키워드

무선 액세스 네트워크 가상화, 가상화 시나리오, 무선 액세스 망 구조, 무선 접속 기술, 디지털유닛 (DU)-라디오유닛 (RU) 분리 구조

Key word

Wireless Access Network virtualization, virtualization scenario, wireless access network structure, radio access technology (RAT), digital unit (DU)-radio unit (RU) separated structure

* 정회원 : 경상대학교 정보통신공학과

접수일자 : 2012. 07. 17

** 정회원 : 경상대학교 해양산업연구소 박사 후 연구원

심사완료일자 : 2012. 07. 31

*** 중신회원 : 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양산업연구소

**** 중신회원 : 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양산업연구소(교신저자)

I. 서 론

미래의 네트워크는 현재의 네트워크 기술로는 지원하기 힘든 다양한 혁신적인 서비스, 기능 및 자원들을 지원할 수 있을 것으로 예상되며, 이를 통해 현재 네트워크의 한계를 극복할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 위해 현재의 네트워크 구조에 국한되지 않는 다양한 핵심 기술들의 연구 개발 및 시험을 위한 공통의 수단인 테스트 베드의 구축이 필요하다. 특히, 새로운 네트워크 환경을 필요로 하는 기술을 개발 및 운용할 때는 다른 서비스 또는 현 인터넷에 예기치 않은 영향을 주지 않도록 해야 한다.

최근, 네트워크 가상화 [1-3]의 개념이 이러한 미래 인터넷 연구를 위한 유망 기술로 논의되고 있으며, 단기적으로는 다양한 미래 네트워크 기술들의 연구 개발 및 시험을 위한 테스트 베드의 구축 기술로서, 장기적으로는 다양한 새로운 구조를 가지는 네트워크들의 공존을 가능하게 하는 핵심 기술로서 논의되고 있다. 네트워크 가상화 기술이 미래 인터넷의 핵심 기술인가에 대해서는 논의가 진행되고 있으나, 네트워크 가상화 기술이 네트워크들의 독립성을 제공하고 미래 네트워크를 위한 다양한 기술들의 시험을 위한 테스트 인프라 구축을 위한 핵심 기술이라는 것에는 이견이 없는 상황이다.

네트워크 가상화의 개념은 네트워크 가상화 관련 연구를 수행하는 연구그룹, 회사 등에서 다양하게 정의해서 사용하고 있으나, ITU-T Focus Group on Future Network (FG-FN) [4], IRTF Virtual Networks Research Group (VNRG) [5], TTA 미래 인터넷 PG 등의 표준화 그룹 [6]에서는 네트워크 가상화의 정의를 논의하고 있다. 현재 TTA 미래 인터넷 PG에서 제정된 정의는 다음과 같다. 네트워크 가상화는 현재 네트워크 구조의 경직성을 해결하기 위한 방안으로서, 네트워크 링크와 노드를 포함한 네트워크 내 모든 자원을 가상화하여 하나의 인프라 상에서 요구사항이 다른 응용/서비스/이용자별로 가상네트워크들 (Virtual Networks)이 공존할 수 있게 하는 기술이다. 네트워크 가상화를 통해, 이용자는 단일 인프라 상에서 타 응용/서비스/이용자들 간 독립적으로 가상네트워크를 만들 수 있다.

네트워크 가상화에서 주목할 점은 사용자 요구사항에 기반한 서로 독립된 가상네트워크를 동시에 제공하며 가상네트워크의 구성 시, 네트워크의 특성을 고려해

(유선 또는 무선네트워크) 가상네트워크를 제공해야 한다는 것이다. 네트워크 가상화를 통해 생성되는 가상네트워크는 서로 완전히 독립되어 운용될 수 있으며, 이를 통해 서로 다른 형태의 네트워크 구조, 프로토콜 등을 동시에 수용할 수 있다. 나아가 가상네트워크의 구성요소인 가상자원들에 프로그래밍 가능 (Programmability)을 제공함으로써, 가상네트워크 사용자들은 네트워크 구성요소들에 대해서 물리계층에서 응용계층까지의 전계층에 대해 사용자가 정의한 프로그램을 실장시킬 수 있고 나아가 다른 가상네트워크의 운용을 방해하지 않으며 새로운 네트워크 구조를 설계하고 개발 및 시험할 수 있다. 이러한 가상네트워크 제공을 위해서는 네트워크 가상화 기술이 필수적으로 필요하며, 가상네트워크를 생성하고 상태 관리 및 성능을 측정하기 위한 방법들이 제공되어야 한다.

네트워크 가상화 기술은 크게 유선 네트워크 가상화와 무선 네트워크 가상화 기술로 분류할 수 있다. 미래 인터넷 표준에서 논의되고 있는 네트워크 가상화 기술은 주로 유선 환경에 초점이 맞추어져서 물리자원 인프라 제공자와 서비스 제공사업자를 어떻게 잘 연결시켜 자원을 효율적으로 활용하도록 할 것인가에 논의가 집중되어 왔다. 하지만 최근 차세대 모바일 네트워크의 진화에 따라 2G, 3G, 4G 등의 다양한 모바일 무선 액세스 기술들이 공존하는 무선 네트워크 환경이 되었고, 네트워크 가상화는 더 이상 유선 환경에만 국한되지 않게 되었다. 이러한 추세에 따라 차세대 모바일 네트워크 환경에서의 무선 액세스 네트워크 가상화에 대한 필요성도 점차 커지고 있다. 특히, 다양한 무선 액세스 기술들을 통합 운용해야 하는 이동통신 사업자들의 관심이 여기에 집중되고 있으며, 궁극적으로 유무선 환경을 통합해 나가야 하는 미래 네트워크 진화 방향에서는 그 중요성이 더욱 커지고 있다.

이러한 필요성에 발맞추어, 본 논문에서는 미래 무선 액세스 네트워크 상에서 여러 서비스 제공자들의 다양한 무선 액세스 기술들이 유연하게 통합 운영될 수 있는 무선 액세스 네트워크 가상화를 위한 망 구조와 가상화 시나리오에 대해서 고찰한다. 이를 위해서, 먼저, 현재까지 진행된 네트워크 가상화 연구 동향에 대해서 살펴본다. 그리고 무선 액세스 네트워크 진화 방향을 고려하여 무선 액세스 네트워크 가상화를 위한 후보 망 구조와 시나리오를 정립한다. 최종적으로는 이러한 후보 시나리오

오 중에서 차세대 이동통신 네트워크에서의 무선 액세스 네트워크 가상화에 대한 현재 가장 유력한 시나리오와 망 구조를 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II에서 네트워크 가상화 기술에 대한 연구 동향을 살펴보고, III에서 현재 이동통신 네트워크의 진화 방향을 토대로 차세대 이동통신 네트워크 구조 및 토폴로지에 대해서 토의한다. VI에서는 이를 기반으로 무선 액세스 네트워크 가상화를 위한 망 구조 및 후보 시나리오를 정립한다. 그리고 후보 시나리오들 중에서 가장 유력한 시나리오에 대해서 토의함으로써 앞으로 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘 개발에 기틀을 제시한다. 마지막으로 V에서 본 논문의 내용을 요약하고 결론을 맺는다.

II. 네트워크 가상화 기술 동향 분석

네트워크 가상화는 앞서 설명한 바와 같이 기존에 존재하는 공유 가능한 물리적 네트워크 상에서 서비스 단위의 가상 네트워크를 동적으로 구축하여 물리적, 가상적 네트워크 자원들에 연결시킴으로써 물리적 네트워크와 서비스의 다양성을 통합 운영할 수 있는 기술을 의미한다.

기존 문헌들에서는 일반적으로 네트워크 가상화 기술을 다음과 같이 기술하고 있다.

- 하나의 소프트웨어 기반의 관리 체계에서 하드웨어와 소프트웨어 네트워크 자원 및 네트워크 기능들을 결합하는 과정 [1]
- 무선 네트워크 가상화는 공통의 공유 물리적 네트워크 인프라 상에서 가상 네트워크를 현실화함 [2]
- 특정 애플리케이션이나 사용자 서비스 요구에 맞추어 다수의 네트워크 구조가 하나의 공통 서브스트레이트(substrate) 상에서 운용되도록 하는 강력한 방법 [3]
- 다수의 서비스 제공자 (Service Provider; SP)가 하나의 공통 물리적 인프라 상에서 맞춤 단-대-단 서비스들을 제공하도록 하는 미래인터넷 기술 [3]

결국, 기존 문헌에서 여러 형태로 기술하고 있는 네트워크 가상화는 공통적으로 어떤 하나의 공통된 물리적 네트워크 인프라 상에서 서비스 별로 형성되는 서비스

요구를 가상 네트워크로 형성하고, 이를 실제 물리적 네트워크의 자원들에 연결시킴으로써 기존 네트워크보다 유연하고도 다양한 네트워크 및 서비스들을 수용할 수 있는 기술로 바라볼 수 있다.

2.1. 네트워크 가상화 관련 기존 기술들

현재까지 진행된 네트워크 가상화 프로젝트들을 살펴보기에 앞서 네트워크 가상화 이전에 이와 유사한 개념으로 개발된 기존 기술들에 대해서 고찰한다. 대표적인 기존 기술로는 가상 LAN (VLAN), 가상 개인 네트워크 (VPN), 액티브 프로그래머블 네트워크 (Active and Programmable Network), 오버레이 네트워크 (Overlay Network) 등이 있으며, 각각 기술의 개념은 다음과 같다.

2.1.1. 가상 LAN (Virtual Local Area Network; VLAN) [7]

가상 LAN은 물리적 연결성에 관계없이 하나의 브로드캐스트 영역에서 논리적으로 함께 할 수 있는 공통 관심을 가진 호스트들의 그룹으로 구성된 네트워크이다. 주로 layer 2에서 구현이 된다. 모든 프레임의 MAC 헤더에 공통된 VLAN ID를 포함시키고, 네트워크 상에서 VLAN을 지원하는 스위치는 프레임들을 포워딩할 때, MAC 주소와 VLAN ID를 함께 이용함으로써 이를 가능하게 한다. 이를 프레임 컬러링 (frame coloring)이라 부른다.

2.1.2. 가상개인네트워크 (Virtual Private Network; VPN) [8]

가상 개인 네트워크는 공용 통신 네트워크 (e.g., Internet) 상에서 여러 위치에 산발적으로 분포된 노드들을 논리적인 터널을 통해서 연결하는 하나 이상 기업의 전용 통신 네트워크를 의미한다. 각각의 가상 개인 네트워크 사이트는 하나 이상의 제공자 단 (Provider Edge; PE) 라우터와 소비자 단 (Customer Edge; CE) 라우터를 포함하고, 하나의 가상 개인 네트워크 서비스 제공자에 의해서 관리되고 공급된다. 가상 개인 네트워크의 구현은 여러 계층에서 가능하고, 구현된 네트워크 계층에 따라 layer 1 가상 개인 네트워크 (L1VPN), layer 2 가상 개인 네트워크 (L2VPN), layer 3 가상 개인 네트워크 (L3VPN) 으로 구분된다.

2.1.3. 액티브 프로그래머블 네트워크 (Active and Programmable Network) [9-10]

액티브 프로그래머블 네트워크는 프로그램 가능성을 통한 공존 네트워크의 개념으로 네트워크의 유연성에 초점을 맞춘 네트워크이다. 보통 네트워크의 불안정성과 충돌을 피하기 위해서 고립, 분리된 환경을 제공하는 것을 중요시 한다. 구현 개념에 따라서 두가지 방식으로 나뉘는데, 전송, 제어, 관리 평면 사이의 분명한 구분을 두는 개방된 시그널링 방식 (Open Signaling Approach)와 라우터와 스위치가 패킷에 포함된 특정 내용을 기반으로 맞춤으로 동작하고, 패킷을 수정할 수 있도록 하는 액티브 네트워크 방식 (Active Network Approach)이 있다.

2.1.4. 오버레이 네트워크 (Overlay Network) [9]

오버레이 네트워크는 다른 네트워크의 물리적인 토폴로지의 상위에서 가상 토폴로지를 생성하는 가상 네트워크이다. 현재까지 오버레이 네트워크와 관련하여 인터넷 라우팅의 성능 및 가능성, 멀티캐스팅의 가능화, QoS 제공, 서비스 공격 보호, 내용 배포 (Content Distribution), 스토리지 시스템에서의 파일 공유 등 다양한 이슈들에 대해서 연구가 되어 왔다. 오버레이 네트워크가 네트워크 가상화와 가장 가까운 개념으로 제시된 기존 기술이긴 하지만 다음의 두 가지 이유로 인해 앞으로 배치될 파급적인 기술로 고려되지 않고 있다 [11].

- 오버레이 네트워크는 보통 공존하는 오버레이들 사이의 상호 작용에 대한 네트워크 전체적인 관점이 아닌 특정 문제에 대해서 폭 좁게 고정되어 배치된다.
- 대부분의 오버레이들은 IP 상위의 애플리케이션 계층에서 설계되고 배치됨으로써 근본적으로 다른 네트워크 구조들을 지원할 수 없다.

2.2. 네트워크 가상화 설계 목적 및 가이드라인

네트워크 가상화와 관련된 연구는 특정 목적에 초점을 맞춘 것에서부터 점점 다수의 목적을 동시에 지원할 수 있는 방향으로 설계가 진화되어 가고 있다. 대표적인 네트워크 가상화 설계 목적 및 가이드라인은 다음과 같이 정리된다 [9].

2.2.1. 유연성 (Flexibility) 및 이종성 (Heterogeneity)

유연성과 이종성은 하위의 네트워킹 기술과 가상화가 어느 계층에서 관리되는가에 따라 결정된다. 하위 계층에서 가상화가 도입될수록 더 높은 유연성과 이종성을 보다 쉽게 지원할 수 있고, 특정 기술에 의존성이 클수록 네트워크 가상화 환경에서의 유연성은 낮아진다. 따라서 보다 많은 이종 네트워크 기술들을 지원하고, 낮은 계층에서 가상화가 도입되는 방향으로 설계가 되고 있다.

2.2.2. 관리성 (Manageability)

관리성은 마이크로 (Micro)와 매크로 (Macro)의 2가지 수준으로 분류가 된다. 마이크로 수준의 관리성은 하나의 구분된 네트워크에 가상 자원들의 관리를 보다 쉽게 하는 것으로서, VNRMS, 가상 라우터마이그레이션 등이 그 예이다. 매크로 수준의 관리성은 관리성을 향상시키기 위해서 네트워킹의 모든 계층에서 책임을 지도록 하는 것으로서, CABO, NouVeau 프로젝트가 대표적이다.

2.2.3. 공존하는 가상 네트워크 간의 물리 (Isolation)

네트워크 간의 분리에는 논리적 분리 (Logical Isolation)와 물리적 분리 (Physical Isolation)의 2가지가 존재한다. 논리적 분리는 관리, 주소 공간 및 프로토콜, 공격과 장애 영향, 자원과 관련된 네트워크 분리를 제공하는 것으로 VIOLIN이 이 관점에서 가장 진보된 프로젝트이다. 물리적 분리는 UCLP가 그 대표적인 예이고, UCLP 프로젝트에서는 물리적인 광 계층에서 가상 네트워크의 빛경로 사이의 물리적인 분리를 제공한다. 최근 프로젝트들 (e.g., VINI, CABO, NouVeau)에서는 2가지 분리 모듈을 지원하는 추세이고, 논리적 분리는 관리의 편의성, 물리적 분리는 프라이버시와 보안의 보장을 위해서 이루어지고 있다.

2.2.4. 프로그램 가능성 (Programmability)

이전 프로젝트들에서 프로그램 가능성에 대한 2가지의 주요 형태가 존재한다. 정의된 프로그램 가능한 인터페이스와 액티브 코드가 2가지이고, 정의된 프로그램 가능한 인터페이스의 대표적인 예는 Tempest와 Genesis이고, 액티브 코드의 대표적인 예로는 NetScript가 있다. 최근 프로젝트들 (e.g., NouVeau)에서는 이러한 명시적

인 구분은 없고, 서비스 제공자가 맞춤형 단-대-단 가상 네트워크 서비스를 가능하게 하도록 상당 수준의 유연성을 가진 안전한 프로그래밍 패러다임을 제시하는 것에 초점을 맞추고 있다.

2.2.5. 실험적 (Experimental) 및 배치적 기능 (Deployment Facility)

네트워크 가상화는 미래 인터넷에서의 다양한 네트워크 형태와 서비스 종류들을 지원하기 위해서 미래 인터넷을 위한 네트워크 테스트베드를 제공해 줄 수 있다. 이런 관점에서 실험적 기능은 네트워크 가상화와 관련된 연구의 주요 동기 부여 인자 중 하나이다. 그래서 PlanetLab 프로젝트를 시작으로 최근 프로젝트들 (e.g., GENI, VINI, FEDERICA)은 실제 트래픽과 실제적인 네트워크 조건 및 네트워크 이벤트들의 재생산 등을 가진 실험적 기능을 제공하려고 하고 있다. 이러한 실험적 기능은 학술적으로 동기부여가 시작되었지만, 상업적으로도 새로운 서비스를 위한 신속하고 신뢰성 있는 배치 경로의 가능성에 영감을 준다. 이와 관련된 프로젝트로는 CABO, 4WARD, AGAVE, NouVeau 가 있다.

2.2.6. 호환성 지원 (Legacy Support)

호환성 지원은 2가지 측면의 접근이 존재한다. 먼저, Clean-slate 설계는 네트워크 패러다임을 완전히 재설계하는 것으로 NouVeau, CABO, 4WARD 프로젝트가 이에 해당한다. 이는 호환성 보다는 효율적인 가상 네트워크 구축에 보다 초점을 맞추는 접근 방법이다. 이와 달리, 진화적인 접근 방식은 존재하는 해결 방법들을 완전히 무시하지 않고 점진적인 변화를 시키는 것으로 FEDERICA와 AGAVE 프로젝트가 대표적이다.

2.3. 네트워크 가상화 기본 구성 요소

네트워크 가상화의 정의에서 살펴보았듯이 네트워크 가상화는 물리적인 네트워크상에 가상 네트워크를 가상 네트워크 알고리즘을 통해서 효율적으로 연결하여 서비스 하는 것이므로, 네트워크 가상화는 다양한 형태로 구성이 가능하지만, 크게 다음과 같은 3가지 기본 구성 요소를 고려할 수 있다.

2.3.1. 공유 물리적 네트워크 인프라 (Shared Physical Network Infrastructure)

네트워크 가상화 환경의 물리적 하위 계층을 의미하고 있으며, 다양한 형태의 이종 네트워크들이 이에 해당된다. 최근에는 이러한 이종 네트워크가 공존되어 있는 형태의 네트워크를 HetNet (Heterogeneous Network)이라 부르며, 관련 연구들이 활발히 진행이 되고 있다.

2.3.2. 미래 네트워크 구조 및 토폴로지 (Future Network Structure and Topology)

네트워크 구조와 토폴로지는 물리적인 네트워크 인프라의 연결성에 관한 것으로, 최근에는 네트워크 운용과 에너지 사용의 효율성을 위해서 네트워크 운영을 위한 연산부인 디지털유닛 (Digital Unit; DU)과 무선 신호 전송을 하기 위한 안테나부인 라디오유닛 (Radio Unit; RU)을 구분하여 배치하는 추세이다 [12]. 이러한 추세에 부합하는 기술로서 분산 안테나 시스템 (Distributed Antenna System; DAS)이 존재하고, 최근 미래 네트워크 구조로서 다시 주목을 받고 있다.

2.3.3. 네트워크 가상화 알고리즘 (Network Virtualization Algorithm)

네트워크 가상화의 핵심은 물리적인 네트워크에 가상 네트워크를 어떻게 연결할 것인가에 대한 이슈이다. 학계에서는 이러한 네트워크 가상화 알고리즘에 대한 연구가 꾸준히 진행이 되어 왔고, 최근 미래 인터넷을 위한 네트워크 가상화를 실재화 하기 위해서 그 중요성이 커지고 있다.

III. 차세대 네트워크 구조 및 토폴로지

지금까지 진행된 네트워크 가상화 연구는 미래 인터넷을 고려하여 주로 유선 환경에 초점을 맞추어 진행되었다. 본 장에서는 차세대 이동통신 네트워크의 진화 방향을 고려하여 무선 모바일 환경에 적합한 가상화 시나리오를 도출하기 위한 차세대 네트워크에서의 망 구조 및 토폴로지를 살펴본다.

3.1. 차세대 네트워크 구조의 진화 방향

미래 네트워크는 HSPA, WCDMA, WiMAX, LTE, LTE-A 등의 다양한 이종 네트워크들이 서로 겹쳐서 공존하는 환경이 될 것이다. 이로 인해 유발되는 현재 네트워크의 비효율성을 줄이기 위해서 다중 표준 라디오 (Multi-Standard Radio; MSR) 구조가 일반화 될 것이고, 이러한 다중 표준 라디오 구조를 기반으로 단계적인 네트워크 구조의 진화가 이루어질 것으로 전망된다 [10]. 무선 네트워크 가상화는 이러한 네트워크 구조의 진화와 미래 네트워크 구조와 밀접한 관련을 갖는다. 네트워크 구조의 기본 진화 방향은 통신 프로토콜 운용을 담당하는 디지털 유닛 (DU)과 무선 신호 전송을 담당하는 라디오 유닛 (RU)으로 분리하는 구조를 갖는 것이다. 이러한 구조에서 DU는 분리, 독립적인 이종 통신 프로토콜을 통합 운용하고, RU는 물리적 라디오 대역에 따라 무선 신호를 송수신하고 DU에 전달한다.

더 나아가, DU에서는 범용 목적 프로세스 (General Purpose Process; GPP) 기반의 베이스밴드 신호 처리를 통하여 이종 통신 프로토콜을 하나의 통합 플랫폼에서 운용하도록 하고, RU에서는 소프트웨어 정의 라디오 (Software Defined Radio; SDR) 기술을 통해서 하나의 라디오 안테나에서 소프트웨어적으로 여러 대역의 무선 신호를 송수신하도록 한다.

그리고 이에 인지적 통신 (Cognitive Radio; CR) 기술을 접목함으로써 완벽한 이종 통신 네트워크와 프로토콜이 하나의 통합된 플랫폼에서 유연성 있게 운용되도록 할 수 있다. SDR과 CR 기술은 상용화되기 위해서 아직 많은 기술적 과제를 안고 있지만, 기본 네트워크 구조가 DU-RU 분리 구조로 진화되어 나갈 것임은 틀림없으며, 이미 현재 이동 통신 네트워크에서 통신 사업자들은 이러한 구조로의 변화를 진행해 나가고 있는 실정이다.

DU-RU 분리 구조는 내부 기술적인 과제들의 차이는 있지만, 기존의 분산 안테나 시스템이라는 이름으로 이미 수년간 연구가 되어 왔다. 그리고 최근 네트워크 구조의 진화 방향과 부합하면서 다시 관심이 집중되고 있다. 따라서 다음 절에서 그 중 미래 네트워크 구조와 부합되는 내용의 최신 연구 내용에 대해서 살펴보고자 한다.

3.2. 분산 안테나 시스템 (DAS)

본 절에서는 DAS와 다른 네트워크 구조의 후보의 비교를 통하여 DAS 구조가 가지는 성능 이득에 대해서 고찰하고, DAS 구조의 기본 분석 방법에 대해서 함께 살펴본다. 여기에서 비교 대상으로 삼은 두 후보 네트워크 구조는 동일한 영역을 더 작은 크기의 셀로 구성하는 Microcellular 시스템과 다중 안테나를 기지국 (Base Station; BS)에 모두 위치시킨 Co-located Antenna 시스템으로 모두 현재 네트워크 구조의 진화 방향에서 함께 고려할 대상으로 볼 수 있다.

3.2.1. DAS와 Microcellular 시스템의 비교 [13]

제한된 전송 파워와 대역폭으로 높은 전송률을 지원하기 위한 하나의 방법은 라디오 전송 거리를 줄이는 것이다. 이는 시스템의 수율, 용량 향상과 더불어 에너지 효율도 높일 수 있는 접근 방법으로 앞으로의 시스템에서 필수적으로 고려되고 있는 시스템 구조라 할 수 있다. 대표적인 시스템으로 DAS와 Microcellular 시스템이 존재한다.

(a) DAS 시스템

- 원격 안테나 유닛 (Remote Antenna Unit; RAU)들이 지리적으로 매크로 셀 (Macrocell)내에 분포함
- 매크로 셀 내의 모든 RAU들은 BS 또는 중앙 유닛 (Central Unit; CU)에 연결됨
- 공간적 다이버시티 (Spatial Diversity)가 시스템 성능을 높이기 위해서 이용됨

(b) Microcellular 시스템

- 하나의 매크로 셀은 다수 개의 마이크로 셀 (Microcell)로 구성됨
- 주파수 재사용 (Frequency Reuse)가 공간당 시스템 용량을 증대시키기 위해서 고려됨
- 동일 채널 간섭 (Co-channel Interference)가 동일한 주파수를 상요하는 셀에 의해서 유발됨.

DAS와 Microcellular 시스템은 미래 무선 이동 통신에 있어서 고속 데이터 전송률을 제공하기 위한 유망한 시스템들이다. Microcellular 시스템에서는 주파수 재사용을 통해, DAS 시스템에서는 공간 다이버시티를 통해 이득을 얻을 수 있다.

추가적으로 DAS 시스템은 공간 다이버시티 이득을 줄이는 대신 주파수 재사용을 통한 이득을 역시 얻을 수 있다.

본 절에서의 두 시스템의 성능 비교는 다음의 3가지로 요약된다.

- Microcellular 시스템은 주파수 재사용이 없는 DAS 보다 높은 스펙트럼 효율을 달성함
- 주파수 재사용 DAS는 Microcellular 시스템보다 높은 스펙트럼 효율을 달성함
- 하나의 섹터의 셀 경계에서 스펙트럼 효율에 대해서, Microcellular 시스템과 주파수 재사용 DAS는 섹터의 중심보다 섹터의 경계에서 더 낮고, 주파수 재사용 없는 DAS는 섹터의 중심보다 섹터의 경계에서 더 높음

[13]에서는 DAS와 더불어 작은 셀로 구성된 Microcellular 시스템을 고려하여 평등한 환경에서 비교하여 성능의 지표를 보여주었다. 하지만, BS와 RAU들은 모두 하나의 안테나를 채택하고 있고, 고정 위치의 분산 안테나들과 특정 네트워크 토폴로지만을 고려하였다. 또한, 수학적 분석에 있어서도 닫힌 형태 (Closed Form)의 결과를 도출하지는 못하였다. 따라서 추후 네트워크 가상화 연구에 있어서는 DAS 시스템의 주파수 재사용과 셀룰러 셀 구조에 대한 참고는 할 수 있으나, 다중안테나 설정과 유연한 네트워크 토폴로지 환경을 추가적으로 고려하는 것이 필요하다.

3.3. 차세대 네트워크의 망 구조 및 토폴로지

4세대 이후 무선 액세스 네트워크에서는 새로이 이중 네트워크에서 다수 다중 액세스 기술 (Radio Access Technology; RAT)의 지원과 주파수 자원 사용에 있어 스펙트럼의 인지 및 폴링 등을 가능케 하려 한다 [14]. 차세대 무선 액세스 네트워크에서는 기존의 4G 시스템에서 고려하고 있던 소형셀, 간섭조정, 릴레이, MIMO 기술 외에도 위에서 언급한 이중 네트워크의 공존과 자원의 결합 운용을 새로이 고려하고 있다.

이 중에서 이중 네트워크 (Heterogeneous Network; HetNet)은 현재 네트워크의 진화에서 자연스럽게 이루어지고 있는 방향이며, 앞으로 3G, 4G, WiFi 등의 이중의 다수 RAT가 시스템에서 통합되어 운용되는 쪽으로

발전될 것으로 예상된다. 이에 따라 서로 다른 서비스 영역을 가지는 셀들과 서로 다른 RAT 기술을 사용하는 셀들이 공존하는 환경이 될 것이고, 이러한 환경에서 전체 네트워크의 자원을 효율적으로 활용하여 운용하는 것이 사업자의 숙제로 남겨지게 될 것이다. 이러한 추세 속에서 국내 무선 액세스 네트워크 진화 방향을 살펴보면 유사한 방향으로 계획된 진화가 진행되고 있음을 알 수 있다 [14]. 국내의 KT는 이중의 다수 RAT (3G, LTE, WiBro, WiFi 등)를 통합하고 이중 RAT 간의 상호 변환이 가능하도록 네트워크를 진화시켜 나갈 전략을 세우고 진행 중에 있다 [15]. 또한, 망 구조 상에서는 클라우드 통신 센터 (Cloud Communication Center; CCC)라는 이름으로 DU와 RU를 분리하는 구조를 만들고, DU에서 다수 RAT의 전체 시스템 자원을 통합 관리하고, SDR과 CR 기술을 적용하여 단계적으로 실체화시키고 네트워크를 최적화시키려는 계획을 수립하고 진행 중에 있다 [15].

KT 뿐만 아니라 SKT에서도 W-SCAN이라는 이름으로 비슷한 전략을 수립하여 진행해 나가고 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 이러한 추세로 볼 때, 무선 액세스 네트워크 진화 방향에서 중요하게 고려해야 할 사항은 다수 RAT의 통합 운용과 DU-RU 분리 구조라 할 수 있다.

차세대 무선 액세스 네트워크에서는 위에서 살펴본 네트워크 구조와 더불어 고려해야 할 사항은 자원 결합 운용에 있다.

현재 설치되고 있는 3GPP LTE 시스템의 진화인 LTE-Advanced (LTE-A)에서는 주파수 자원의 효율적 사용을 위해서 반송파 결합 (Carrier Aggregation; CA) 기술을 고려하고 있다. 반송파 결합 기술은 인접하지 않더라도 주파수 자원들을 논리적으로 결합하여 사용할 수 있도록 함으로써 자원 활용을 효율성을 높이고, 광대역의 대역폭을 확보해 줌으로써 고속 데이터 통신이 가능하도록 한다. 결합하고자 하는 반송파가 주파수 대역상 분포 형태에 따라서 연속적 반송파 결합과 비연속적 반송파 결합으로 나누어진다. 2가지 형태는 서로 다른 특징을 가지지만, 논리적으로 반송파 결합 후에는 사용자는 동일하게 광대역의 주파수 자원을 할당 받아 사용할 수 있다.

VI. 무선 액세스 네트워크 가상화를 위한 후보 망 구조 및 시나리오

무선 액세스 네트워크 가상화를 위한 후보 시나리오는 사업자, RAT, FA (Frequency Assignment)의 구성에 따라서 다음의 4가지를 고려할 수 있다.

(1) 시나리오1: 1-Operator/1-RAT/m-FAs

- 반송파 결합 (CA) 기법을 활용한 Multi-FA 사용을 고려한 가상화
- 단말의 Multi-FA 지원 여부에 따른 UE (User Equipment) category에 의한 차별화된 가상화

(2) 시나리오2: 1-Operator/m-RATs/1-FA or m-FAs

- Multi-RAT 환경 고려 (WCDMA, HSPA, LTE, LTE-A, WiMAX, WiFi 등의 이종시스템)
- RAT의 특성에 따른 서로 다른 자원들을 고려한 가상화
- 단말의 FA 및 RAT 지원 여부에 따른 UE category에 의한 차별화된 가상화
- 다중 시스템 운용에 대해서 RU-DU 분리 구조 고려 가능

(3) 시나리오3: m-Operator/1-RAT/1-FA or m-FAs

- 동종 시스템에 대한 다수 사업자의 액세스망 공유 환경에서의 가상화
- 사업자의 자원 공유 지원 여부에 따른 UE category에 의한 차별화된 가상화.

(4) 시나리오4: m-Operator/m-RATs/1-FAs or m-FAs

- 이종 시스템을 가진 다수 사업자의 액세스망 공유 환경에서의 가상화
- FA, RAT 및 사업자 자원 공유 지원 여부에 따른 UE category에 의한 차별화된 가상화
- 각 사업자의 액세스망에 대해서 DU-RU 분리 구조 고려 가능.

후보 시나리오 모두에 대하여 UE category는 무선 액세스 네트워크 가상화를 위해서 매우 중요한 역할을 하게 되고, 기본적으로 다음과 같은 UE category 항목들을 고려할 수 있다.

(a) 시스템 (RAT) 의존 특성

- 무선 채널 상황 / 사용자 이동성
- 네트워크 트래픽 로드
- 서비스 과금
- 서비스 영역

(b) 사용자 단말 (UE) 능력

- Multi-FA 지원 유/무
- Multi-RAT 지원 유/무 (다중모드 지원 유/무, 동시 전송 가능 유/무)
- 안테나 개수
- 지원 가능한 MIMO 기술 (MU-MIMO, STBC, SFBC, V-BLAST, D-BLAST 등)
- Modulation & Coding 능력
- 단말 배터리 용량

위에서 언급한 후보 시나리오들에 대해 망 구조를 고려하여 보다 자세히 살펴보면 다음과 같다.

4.1. 시나리오1: 1-Operator/1-RAT/m-FAs

시나리오1은 기본적으로 하나의 사업자가 하나의 RAT로 다수의 FA를 이용하여 서비스하는 시나리오이다. 앞서 소개한 차세대 이동통신 시스템인 3GPP LTE-A에서 고려되고 있는 반송파 결합 (CA) 기법과 크로스 반송파 스케줄링 (CCS) 기법을 FA들을 사용함에 있어 적용할 수 있고, 이에 따라 크게 2가지 시나리오로 다시 나누어 볼 수 있다.

(1) 시나리오 1-1: 반송파 결합 (CA)를 가진 Multi-FA 시나리오

이 시나리오는 다수의 FA를 UE category에 고려하여 사용자들에 어떻게 매핑해 줄 것인가가 주요 가상화 쟁점이 된다. 그림 1에서 보는 바와 같이 기지국은 하나의 사업자에 의해 운용되고, 하나의 RAT만 채택하여 해당 RAT로 지원되는 단말만을 서비스한다. 이 때, 주파수 영역에서 다수의 FA를 확보하여 단말에 가장 적합한 FA들을 매핑해 줌으로써 자원 효율성을 최적으로 하는 것이 본 시나리오에서의 무선 액세스망 가상화 목적이 된다. UE category에 따라서 특정 단말은 다수의 FA를 사용할 수 있는 능력을 가질 수 있고, 이에 따라 다수 FA 지원이 가능한 단말은 동시에 여러 FA를 통해서 서비스 받는

것도 가능하다. 따라서 본 시나리오에서는 단말의 FA 지원 가능 정도에 따라 가용한 FA들을 단말에 최적으로 매핑해주는 것이 무선 액세스망 가상화에서 이루어야 할 과제이다.

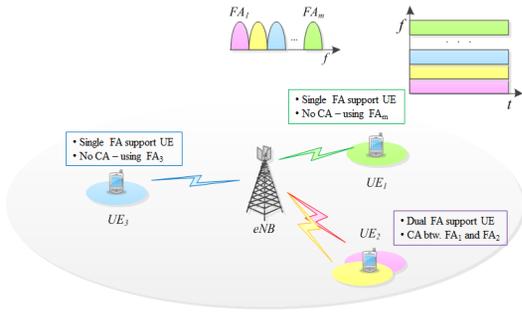


그림 1. 시나리오 1-1: 반송파 결합 (CA) 기법을 가진 Multi-FA를 이용한 가상화 시나리오
 Fig. 1 Scenario 1-1: Virtualization Scenario Using Multi-FA with Carrier Aggregation (CA) Scheme

(2) 시나리오 1-2: 반송파 결합 (CA)와 크로스 반송파 스케줄링 (CCS)를 가진 Multi-FA 시나리오

반송파 결합 기법과 더불어 3GPP LTE-A에서는 크로스 반송파 스케줄링 기법을 고려하고 있다. 크로스 반송파 스케줄링 기법을 고려하면 시간 영역에서 제어 채널과 데이터 채널의 구분이 이루어지고, 제어 채널을 통해 특정 FA 내의 특정 반송파 (Sub-carrier) 들을 할당해 주는 것이 가능해진다.

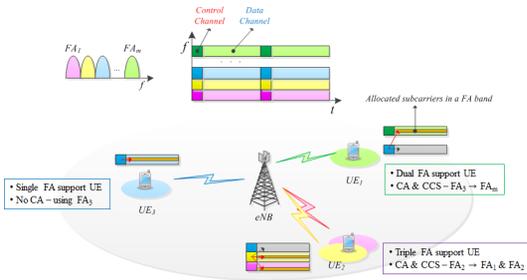


그림 2. 시나리오 1-2: 반송파 결합과 크로스 반송파 스케줄링을 가진 Multi-FA 시나리오
 Fig. 2 Scenario 1-2: Multi-FA Scenario with Carrier Aggregation (CA) and Cross-Carrier Scheduling (CCS)

이는 시간 영역에서 스케줄링 시점마다 제어 채널을 통한 동적 할당을 가능케 해주며, 자원 할당의 세밀도 (Granularity)를 높여준다. 이 시나리오에 의하면 하나의 사업자가 하나의 RAT로 해당 RAT을 지원하는 단말들을 다수 FA 지원 여부와 다수 FA에서 동시전송 가능 여부에 따라 구분하여 FA와 반송파를 할당하는 방식이다. 다수 FA 지원 단말의 경우, 크로스 반송파 스케줄링 기법에 의해서 여러 FA에 걸쳐서 논리적으로 반송파들을 결합하여 사용하는 것이 가능해 지므로, 자원의 효율성을 보다 높이는 것이 가능하다.

4.2. 시나리오2: 1-Operator/m-RATs/1-FA or m-FAs

시나리오2는 하나의 사업자가 다수의 RAT를 운용하여 단말의 다수 RAT 지원 여부에 따라 네트워크 전체의 자원을 가상화하는 시나리오이다. 본 시나리오에서는 다수 RAT를 UE category에 따라서 사용자들에 어떻게 매핑하고, 해당 RAT에서 자원을 어떻게 할당해 줄 것인가 하는 문제가 주요 쟁점이다. 망구조에 따라서 다시 다음의 2가지 시나리오로 나누어진다.

(1) 시나리오 2-1: CAS (Centralized Antenna System) 망 구조의 Multi-RAT 시나리오

기존의 CAS 망 구조에서는 특정 위치에 설치된 기지국에 다수의 RAT가 지원된다. 이 때, 일반적으로 다수 RAT는 서로 다른 시스템으로서 운용된다. 즉, 동일한 위치에 설치된 서로 다른 RAT의 기지국이 각자 자신의 액세스 기술을 지원하는 단말을 서비스하는 방식이다.

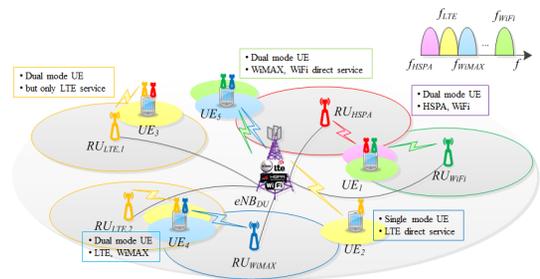


그림 3. 시나리오 2-1: CAS 망 구조 기반의 Multi-RAT 시나리오
 Fig. 3 CAS Network Structure Based Multi-RAT Scenario

그림 3에서 보는 바와 같이 단말의 다수 RAT 지원 여부와 동시 전송 가능 여부에 따라서 어떤 RAT가 어떤 사용자에게 매핑이 되는지를 결정하는 것이 주요 가상화 쟁점이 된다. 특히, 사용자의 RAT 지원 여부에 해당하는 UE category 정보가 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 이 시나리오에서 사업자는 각각의 RAT에 주어진 자원들을 Single 혹은 Multi 모드를 가진 단말들에 어떻게 매핑하고 스케줄링해 줄 것인가를 결정해야 한다. 추가적으로 시나리오1에서 고려한 다수 FA에 대한 네트워크 가상화와 자원 할당 역시 본 시나리오2에서도 고려가 될 수 있다.

(2) 시나리오 2-2: DU-RU 망 구조의 Multi-RAT 시나리오

이 시나리오에서는 DU-RU 분리를 고려한 망 구조에서 다수 RAT와 해당 RAT내의 자원들을 효율적으로 단말에 매핑하고 자원을 할당하는 것이 주요 쟁점이다. 차세대 이동통신 시스템의 망구조가 기본적으로 분산 안테나 시스템 (DAS) 구조로 진화되어 가고, 이러한 망구조에서 DU와 RU를 구분하여 중점 기지국에서는 다수 RAT를 소프트웨어적으로 통합하여 운영하는 방향으로 나아가고 있기 때문에, 본 시나리오에서 고려하는 망구조가 차세대 이동통신 시스템에서 일반적으로 고려될 것으로 예상된다.

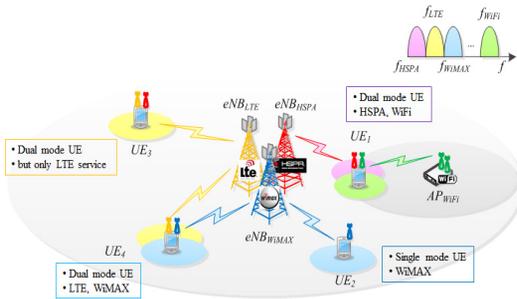


그림 4. 시나리오 2-2: DU-RU 망 구조 기반의 Multi-RAT 시나리오
Fig. 4 DU-RU Network Structure Based Multi-RAT Scenario

본 시나리오에서는 다수 RAT가 DU에 통합되어 있고, DU와 RU가 광케이블과 같은 유선망으로 연결되어

있는 것으로 일반적으로 고려되기 때문에, 다수 RU들에서 다수 RAT에 의한 서비스가 DU에서의 결정에 따라 손쉽게 이루어질 수 있다.

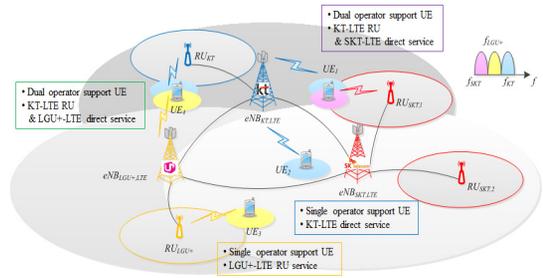


그림 5. 시나리오 3: 하나의 RAT를 운영하는 다수 사업자 시나리오
Fig. 5 Multi-Operator Scenario where Each Operator Has One RAT

따라서 기존 CAS 망 구조에서의 가상화와 비교하여 추가적으로 단말이 어떤 안테나로부터 서비스를 받을 것인지도 매우 중요한 쟁점이 된다. 이 때, 동일한 FA 및 부반송파를 사용하는 다른 DU 혹은 RU에 의해서 간섭이 유발될 수 있어서 이를 고려한 자원의 스케줄링도 중요한 쟁점이 된다.

따라서 본 시나리오에서는 UE category에 따른 DU-RU 및 RAT 선택과 RAT 내의 다수 FA의 자원을 사용자에게 어떻게 매핑할 것인가가 주요 액세스 네트워크 가상화 쟁점이 된다.

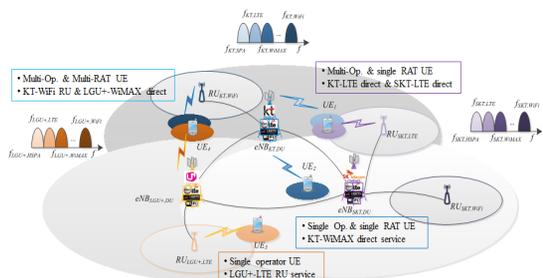


그림 6. 시나리오 4: 다수 RAT 지원하는 다수 사업자 시나리오.
Fig. 6 Multi-Operator Scenario where Each Operator Supports Multi-RAT

4.3. 시나리오 3: m-Operater/1-RAT/1-FA or m-FAs

시나리오3은 시나리오1에서 고려하는 바를 다수 사업자 환경으로 확장한 것이다. 다수 사업자가 하나의 동일한 RAT로 각각 운용하는 것을 고려하고, 사업자들 간의 물리적 자원 공유가 가능한 상황이라고 가정하고 있다.

따라서 서로 다른 주파수 대역을 사용하는 다수 사업자의 자원을 이를 지원하는 단말과 그렇지 않은 단말과 같은 UE category에 따라서 차등적이지만 효율적으로 전체 공유 자원을 사용자에 매핑하고 할당하는 것이 주요 쟁점이 된다. 망 구조는 기본적으로 각 사업자가 하나의 RAT만 사용하는 DAS 구조로 이루어져 있다고 가정하고, 서로 다른 사업자의 DU와 RU들도 우선으로 연결성을 가진다고 본다. 이 시나리오는 현재 각 사업자들이 운용하고 있는 상황과 각 사업자의 이해관계를 고려하였을 때, 다소 현실성은 떨어질 수 있지만, 앞으로 서로 다른 사업자 혹은 가상망 사업자들이 필요한 경우, 서로의 망을 빌려서 사용하는 것이 가능해질 수 있기 때문에, 여전히 미래에 유효한 시나리오로 볼 수 있다.

4.4. 시나리오 4: m-Operater/1-RAT/1-FA or m-FAs

시나리오4는 가장 일반화된 시나리오로서 시나리오 2-2를 다수 사업자 환경으로 확장한 것이다. 따라서 기본적인 망 구조는 시나리오3과 마찬가지로 DU-RU 분리 구조이고, 각 사업자가 다수 RAT를 DU에서 통합 운용하는 것을 고려한다. 단말이 다수 사업자, 다수 RAT, 다수 FA를 지원하는지에 대한 여부를 UE category 정보에 의해서 구분 짓고, 서로 다른 지원 여부를 가지는 사용자들을 최적의 사업자, RAT, 안테나 유닛, FA로 매핑하는 것이 주요 가상화 쟁점이다. 가상 일반화된 시나리오이기 때문에, 전체 네트워크 최적화 관점에서 그 복잡도가 가장 높을 것으로 예상이 되고, 시나리오3에서처럼 사업자 간의 실제적인 공유 정도에 대한 제약조건들이 발생할 수 있다.

4.5. 후보 시나리오에 관한 결론

본 장에서는 차세대 무선 액세스 네트워크의 진화 방향을 고찰하고, 무선 액세스 네트워크 가상화 시나리오로 고려할 수 있는 다양한 후보 시나리오에 대해서 살펴보았다. 사업자, RAT, FA 그리고 망 구조에 따라서 총 6

가지 후보 시나리오를 도출하였고, 그 중에서 가까운 미래에 가장 현실성 있게 고려할 수 있는 시나리오는 시나리오 2-2에 해당되는 하나의 사업자가 다수의 RAT를 DU-RU 망 구조에서 다수 FA를 가지고서 운영하는 시나리오이다.

시나리오 2-1은 기존의 CAS 망 구조를 고려한 것인데, 이는 이미 현재 시스템에서 고려되고 있는 시나리오로 볼 수 있다. 그리고 시나리오 3과 시나리오 4에서는 다수 사업자가 네트워크 자원을 서로 공유하여 사용하는 것을 고려하였는데, 이는 기술적으로는 가능한 시나리오이지만, 실제적으로는 정책적 이슈들 때문에 실현 가능성이 낮다고 볼 수 있다. 따라서 현재 네트워크의 진화 방향과 실제적인 환경을 고려하였을 때, 본 논문에서는 시나리오 2-2이 차세대 이동통신 네트워크의 무선 액세스 네트워크 가상화를 위한 가장 유력한 시나리오로 고려될 수 있을 것으로 본다.

V. 결 론

본 논문에서는 미래 무선 접속 네트워크 상에서 여러 서비스 제공자들의 다양한 무선 접속 기술들이 유연하게 통합 운영될 수 있는 무선 액세스 네트워크 가상화를 위한 망 구조와 가상화 시나리오에 대해서 고찰하였다. 이를 위해서, 먼저, 현재까지 진행된 유무선 네트워크에서의 가상화 연구 동향에 대해서 살펴보았, 무선 액세스 네트워크 진화 방향을 고려하여 무선 액세스 네트워크 가상화를 위한 후보 망 구조와 시나리오를 도출하였다.

최종적으로는 이러한 후보 시나리오 중에서 차세대 이동통신 네트워크에서의 무선 액세스 네트워크 가상화에 대한 현재 가장 유력한 시나리오와 망 구조를 제시하였다. 무선 액세스 네트워크 가상화는 아직 초기 단계에 머물러 있는 수준이다. 따라서 본 논문에서 도출된 차세대 이동통신 네트워크를 위한 무선 액세스 망 구조 및 가상화 시나리오는 앞으로 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘 개발을 위한 기틀 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] N. M. M. K. Chowdhury, R. Boutaba, "Network Virtualization: State of the Art and Research Challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 7, pp. 20-26, Jul. 2009.

[2] Joachim Sachs and Stephan Baucke, "Virtual radio - a framework for configurable radio networks," in Proc. *the 4th Annual International Conference on Wireless Internet*, 2008.

[3] M. Yu, Y. Yi, J. Rexford, and M. Chiang, "Rethinking Virtual Network Embedding: Substrate Support for Path Splitting and Migration," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 38, no. 2, pp. 17-29, Apr. 2008.

[4] <http://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/fn>

[5] <http://irtf.org/concluded/vnrg>

[6] <http://www.tta.or.kr>

[7] L.S. Committee, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Virtual Bridged Local Area Networks*, IEEE Std 802.1Q-2005, May 2006.

[8] P. Ferguson and G. Huston, *What is a VPN?*, Technical Report, Cisco Systems, 1998.

[9] N. M. M. K. Chowdhury and R. Boutaba, "A survey of network virtualization," *Computer Networks*, vol. 54, no. 5, pp. 862 - 876, Apr. 2010.

[10] A. T. Campbell, H. G. D. Meer, M. E. Kounavis, K. Miki, J. B. Vicente, and D. Villela, "A survey of programmable networks," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, vol. 29, no. 2, pp. 7 - 23, Apr. 1999.

[11] T. Anderson, L. Peterson, S. Shenker, and J. Turner, "Overcoming the Internet impasse through virtualization," *IEEE Computer*, vol. 38, no. 4, pp. 34 - 41, Apr. 2005.

[12] 이기호, 박중호, 지영하, 안태효, "무선 네트워크 가상화를 위한 핵심 기술," *TTA Journal*, no. 128, pp. 82 - 87, Mar./Apr. 2010.

[13] H. Zhu, "Performance Comparison Between Distributed Antenna and Microcellular Systems," *IEEE Journal of Selected Area on Communications*, vol. 29, no. 6, pp. 1151 - 1163, June 2011.

[14] Nokia Siemens Networks, *2020: Beyond 4G Radio Evaluation for the Gigabit Experience*, White Paper, Aug. 2011.

[15] 김현표, "스마트 모바일 세상을 위한 KT의 이동통신 네트워크 기술 및 고도화 계획," HSN 2011 Presentation Slide, Jan. 2011.

저자소개



김명환 (Myunghwan Kim)

1999년 2월 경남과학기술대학교 전자공학과 학사
2004년 2월 경남과학기술대학원 전자공학과 석사

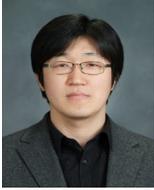
2006년 2월 경상대학교 정보통신공학 박사수료
1983년 5월~1987년 6월 GS건설 전기부 근무
1987년 7월~1994년 8월 아남건설 전기부 근무
1994년 9월~1997년 11월 한주 종합건설 기전부근무
2000년 1월~현재 (주) 재원엔지니어링 대표이사
※ 관심분야: 자원관리, 이동통신, 인지통신



김수민 (Su Min Kim)

2005년 2월 인하대학교 전기전자공학과 학사
2007년 2월 KAIST 전자전산학부 석사

2012년 2월 KAIST 전기전자공학과 박사
2012년 2월 ~ 2012년 8월 KAIST 정보전자연구소 박사 후 연구원
2012년 9월 ~ 현재 경상대학교 해양산업연구소 박사 후 연구원
※ 관심분야: 이동통신, 자원관리, 간섭관리, 협력 및 중계통신, 인지통신, 차세대 이동통신 시스템



정방철(Bang Chul Jung)

2002년 2월 아주대학교
전자공학부 학사
2004년 8월 KAIST 전자전산학과
석사

2008년 2월 KAIST 전자전산학과 박사
2008년 3월~2009년 8월 KAIST IT 융합연구소 팀장
2009년 9월~2010년 2월 KAIST IT 융합연구소
연구교수
2010년 3월~현재 경상대학교 정보통신공학과
조교수

※관심분야: 이동통신, 신호처리, 협력 및 중계통신,
Cognitive Radios, Compressed Sensing, 차세대이동
통신 시스템



박연식(Yeoun-Sik Park)

1971년 광운대학교
무선통신공학과 공학사
1980년 건국대학교 행정대학원
행정학석사

1995년 경상대학교 전자계산학과 공학석사
1999년 해양대학교 전자통신공학과 공학박사
1979년~현재 경상대학교 정보통신공학과 교수
해양산업연구소 연구원

※관심분야: 수중화상통신, 컴퓨터 네트워크, 센서
네트워크