
분산 안테나 시스템에 기반한 무선 액세스망 가상화

김수민* · 정방철**

Wireless Access Network Virtualization Based on Distributed Antenna Systems

Su Min Kim* · Bang Chul Jung**

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

요 약

본 논문에서는 다수 무선 접속 기술 (Radio Access Technology; RAT)이 통합되어 운용되는 셀룰러 네트워크에서 차세대 이동통신 네트워크 진화 방향인 디지털 유닛 (DU)-라디오 유닛 (RU) 분리 구조를 기본으로 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘을 제안한다. 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘은 크게 기본 액세스 네트워크 가상화, RAT 가상화, 액세스 경로 이주 알고리즘으로 구성되고, 순차적인 수행을 통하여 최종 무선 액세스 네트워크 가상화가 이루어진다. 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘은 3GPP LTE와 WiMAX의 두 무선 접속 기술을 예제로 한 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 시스템 수율 측면에서 성능이 평가된다. 이 때, 네트워크 트래픽 로드 의 비대칭성에 따른 두 가지 시나리오를 고려하고, 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘은 비대칭적 네트워크 트래픽 로드와 사용자 분포 상황에서도 상당한 성능 이득을 성취한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a wireless access network virtualization algorithm based on a digital unit (DU)-radio unit (RU) separated network structure in a cellular network with multiple radio access technologies (RATs). The proposed wireless access network virtualization algorithm consists of a baseline access network virtualization, RAT virtualization, and access path migration algorithms. Final wireless access network virtualization is performed by sequentially performing these procedures. Through system-level simulations which assume 3GPP LTE and WiMAX systems, the performance of the proposed wireless access network virtualization is evaluated in terms of system throughput for two scenarios according to asymmetry of network traffic load. Numerical results show that our proposed wireless access network virtualization algorithm achieves significant system throughput gain even in asymmetric traffic load and user distribution situations.

키워드

네트워크 가상화, 무선 접속 기술, 다수 무선 접속 기술, 분산 안테나 시스템, DU-RU 분리 구조, 이종 네트워크

Key word

Network virtualization, radio access technology(RAT), multi-RAT, distributed antenna system(DAS), digital unit(DU)-radio unit(RU) separated structure, heterogenous network(HetNet)

* 정회원 : 경상대학교 해양산업연구소 박사 후 연구원

접수일자 : 2012. 04. 20

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

심사완료일자 : 2012. 05. 01

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.10.2085>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

최근 4세대 이동통신 방식인 3GPP LTE 서비스가 시행되면서 사업자들은 기존의 2세대 CDMA, 3세대 WCDMA 시스템과 LTE 시스템이 공존하는 환경에서 서로 다른 무선 접속 기술 (Radio Access Technology; RAT)을 사용하는 사용자들을 시스템별로 구별하여 수용하게 되었다. 사업자 관점에서 이러한 다중 시스템의 개별적 운용은 무선자원 사용성, 설치비용, 운용비용 측면에서 여러 가지 비효율성을 초래하게 된다. 따라서 사업자들은 이를 보다 효율적으로 통합하여 운용할 수 있는 중앙 집중식 네트워크 구조에 관심을 가지게 되었다. 이에 의하면, 신호 처리는 중앙의 기지국 센터에서 다수 시스템의 통합 하드웨어 플랫폼 상에서 소프트웨어적으로 이루어지고, 실제 무선 신호 전송은 원거리 안테나 유닛들에서 이루어진다. 이러한 구조는 기존의 분산 안테나 시스템 (Distributed Antenna System; DAS) 구조와 유사하지만, 다수 무선 접속 기술을 중앙에서 통합 운영하는 개념으로 디지털 유닛(DU)-라디오 유닛(RU) 분리 구조로 일컬어지고 있다 [1]. 여기서 라디오 유닛은 원거리 라디오 헤드 (Remote Radio Head; RRH)로도 널리 명명되고 있다.

한편, 미래 인터넷의 핵심 기술 중 하나로 네트워크 가상화 (Network Virtualization) 개념이 정립되었다. 네트워크 가상화는 네트워크상의 링크들과 노드들을 포함한 모든 가용 자원을 가상화하여 하나의 인프라 상에서 요구 사항이 다른 응용, 서비스, 사용자 별로 가상 네트워크를 구성하여 공존할 수 있게 하는 기술로서 네트워크 전체를 유연성 있게 통합 운용하게 함으로써 네트워크 전체의 효율성을 높일 수 있게 한다. 이러한 네트워크 가상화 기술에서는 어떤 하나의 공통된 물리적 네트워크 인프라 상에서 서비스 별로 형성되는 서비스 요구들을 가상 네트워크로 형성하고, 이를 실제 물리적 네트워크 자원들에 연결시켜서 처리하는 것을 기본으로 한다.

네트워크 가상화에는 여러 가지 연구 이슈들이 존재하지만, 그 중에서 자원 할당 문제가 가장 중요한 연구 주제 중 하나이다. 네트워크 가상화에서 자원 할당은 물리적 노드와 경로를 가상 노드와 가상 링크들에 연결시켜 할당하는 것으로써 가상 네트워크 임베딩 (Virtual Network Embedding) 문제로 알려져 있다. 이러한 가상

네트워크 임베딩 문제는 그 복잡도로 인하여, 오프라인 문제로 고려하거나 [2-5], 노드 및 링크 요구사항 중 하나를 무시하거나 [2][6], 물리적 노드와 링크의 용량을 무한한 것으로 가정하거나 [2-3][6], 특별한 네트워크 토폴로지에 초점[2]을 맞추는 등의 제한 사항을 주고 해답을 찾는 노력이 이루어져 왔다. 최근에는 노드 및 링크 이주, 다중 경로 라우팅을 통해서 이전 연구에서 제한된 사항들을 모두 고려하면서 가상 네트워크 임베딩 문제를 푸는 연구도 진행되었다 [7].

지금까지 위에서 언급한 가상 네트워크 임베딩 문제들은 모두 유선 네트워크 환경을 고려하여 진행되었다. 하지만 최근에는 무선 네트워크 환경을 고려한 네트워크 가상화 연구들도 진행되기 시작하였다. [8]에서는 하나의 홉의 셀룰러 환경에서 무선 자원 가상화를 위한 슬라이스 스케줄러 (Slice Scheduler)를 제안하고, WiMAX 시스템 기반 테스트베드에서 성능을 평가하였다. [9]에서는 무선랜 네트워크 테스트베드에서 시간 분할다중화 (TDM) 기반의 무선 가상화를 실험하고 도전 과제를 살펴보았다. [10]에서는 무선 멀티홉 환경에서 가상 네트워크 임베딩 알고리즘을 제안하였다. 이 연구들은 모두 무선 네트워크 환경을 고려하긴 하였지만, 하나의 무선 접속 기술만으로 구성된 네트워크에서 노드와 링크에 자원을 할당하는 방법에 초점을 맞추었다.

다수 무선 접속 기술 (Multi-RAT)을 고려한 셀룰러 환경에서의 연구는 기존의 중앙 집중식 안테나 시스템 (Centralized Antenna System; CAS) 구조에서 Multi-RAT이 지원된다는 조건 하에 네트워크 진입 과정에서의 초기 RAT 선택 방안과 RAT간의 동적 핸드오버 방안 등이 제안되었다 [11-12]. 이 연구들에서는 앞으로의 네트워크 진화 방향인 DU-RU 분리 구조가 고려되지 않음으로써 보다 유연하고 효율적인 무선 자원 활용이 제한되게 되었다.

따라서 본 논문에서는 Multi-RAT을 고려한 셀룰러 환경에서 CAS 구조와 DU-RU 분리 구조를 모두 고려하고, DU-RU 분리 구조에서 보다 효율적으로 무선 자원을 할당하여 운용할 수 있는 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 기본 액세스 네트워크 가상화, RAT 가상화, 액세스 경로 이주 알고리즘으로 구성되며, 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 시스템 수율 측면에서 성능을 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 두 가지 네트워크 구조를 기반으로 시스템 모델을 소개하고, III장에서는 기본 액세스 네트워크 가상화 알고리즘과 제안 다중 RAT 가상화 및 경로 이주 알고리즘을 설명한다. IV장에서는 시스템레벨 시뮬레이션을 통해 기존 시스템과의 성능을 비교하고, V장에서 본 논문을 요약 및 마무리한다.

II. 시스템 모델

본 장에서는 중앙 집중식 안테나 시스템 (Centralized Antenna System; CAS) 구조와 분산 안테나 시스템 (Distributed Antenna System; DAS) 구조의 두 가지 측면으로 본 논문에서 고려하고 있는 시스템 모델 및 환경을 소개한다.

2.1. 중앙 집중식 안테나 시스템 (CAS) 구조

기존 셀룰러 시스템은 기지국에 다중 안테나를 장착하고, 각 기지국이 자신의 셀에서 다중 안테나를 이용하여 전송하는 중앙 집중식 안테나 시스템 구조를 기반으로 한다 [13-14]. 따라서 본 논문에서는 이러한 CAS 구조를 기존 셀룰러 시스템 환경으로 설정하고, 그림 1에서 보는 바와 같이 각 기지국 BS_i 에 다수의 RAT를 채택하여 서로 독립적으로 운용되는 것을 고려한다. 이때, 일반적으로 RAT별로 서로 다른 주파수 대역 (e.g., LTE 1.8GHz, WiMAX 3.4GHz)을 사용하기 때문에, 각 RAT는 서로 다른 서비스 영역과 경로 손실을 갖게 된다. 그리고 사용자 단말 (User Equipment; UE)은 어느 RAT로 운용되는지에 따라 LTE 모드 UE ($UE_{LTE,k}$)와 WiMAX 모드 UE ($UE_{WiMAX,k}$)로 구분되고, 이들은 서로 다른 RAT 주파수 자원을 사용하여 동시에 서비스를 받을 수 있다.

본 논문에서는 각 기지국에 R개의 RAT가 있고, RAT별로 B개의 FA (Frequency Assignment)를 사용하는 것으로 가정한다. 여기서 FA는 할당 가능한 주파수 대역을 의미하며, OFDMA 시스템 관점에서는 일종의 자원 블록 (Resource Block)으로 볼 수 있다. 또한, 각 RAT는 M개의 안테나를 이용하여 하나의 안테나를 장착하고 있는 단말을 서비스 하는 것을 가정한다.

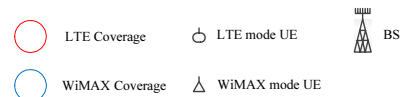
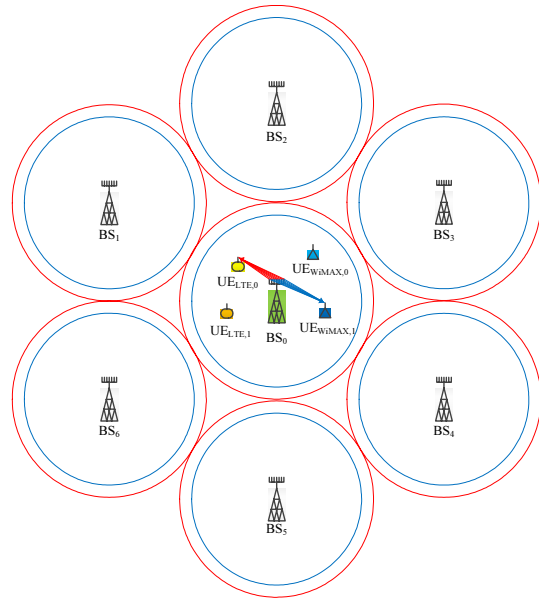


그림 1. 중앙 집중식 안테나 시스템 구조
Fig. 1 Centralized Antenna System Structure

이 때, RAT별로 기지국에 있는 안테나를 모두 사용하여 하나의 단말을 서비스 해주는 Single User-Multiple Input Single Output (SU-MISO) 환경을 고려한다. 그리고 MISO 환경에서 최적으로 알려진 송신 MRC (Maximum Ratio Combining) 기술을 사용하는 것을 가정한다. 이러한 환경에서 매 스케줄링 시점에서 RAT별, FA별 사용자의 무선 채널 상황에 따라 최적의 사용자를 선택하여 서비스하는 것을 기본으로 한다. 결과적으로 본 논문에서 고려하는 CAS 구조에서는 총 ($R \times B$) 명의 사용자를 동시에 서비스할 수 있다.

2.2. 분산 안테나 시스템 (DAS) 구조

차세대 셀룰러 시스템에서는 다수 RAT를 효율적으로 운용하기 위해서 분산 안테나 시스템 형태의 네트워크 구조를 고려하고 있다 [13-14]. 하지만 최근에는 기존의 분산 안테나 시스템과는 달리 기지국에 베이스밴드 신호 처리 등의 업무를 소프트웨어적으로 통합하여 처리할 수 있는 DU를 두고, 안테나 관련 RU만 원거리에 위

치시켜서 운용하는 DU-RU 분리 구조로 발전되어 나가고 있는 추세이다.

조에서는 총 $(A \times R \times B)$ 명의 사용자를 동시에 서비스할 수 있다.

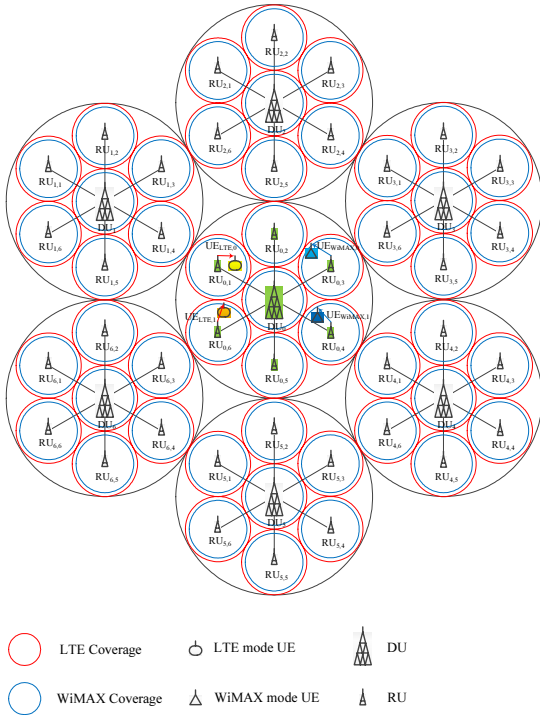


그림 2. 분산 안테나 시스템 구조
Fig. 2 Distributed Antenna System Structure

본 논문에서는 그림 2 에서 보는 바와 같이 하나의 셀이 하나의 DU (DU_i) 와 다수의 RU ($RU_{i,j}$)로 구성된 환경을 고려한다. 일반적으로 DU와 RU 모두에 대해서 다중 안테나를 고려할 수 있지만, 본 논문에서는 DU와 RU 모두 하나의 안테나를 사용하는 것을 가정한다. 그리고 기존 CAS 구조에서의 동일하게 R개의 RAT, B개의 FA를 고려하고, 하나의 셀을 구성하는 DU와 RU의 합이 M개인 것으로 가정하여 기존 CAS구조에서의 동일한 개수의 안테나를 사용하는 것으로 한다. DU와 RU는 각각 하나의 안테나로 구성되어 있으므로, 안테나 유닛 (Antenna Unit; AU)으로 명명하면, M개의 AU이 존재한다. 각 AU에서는 RAT와 FA가 모두 공간적으로 재사용된다고 가정하고, AU별, RAT별, FA별로 한 명의 사용자가 스케줄링을 받아 서비스를 받는다. 결과적으로 본 논문에서 고려하는 분산 안테나 시스템 구

III. 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘

본 장에서는 무선 액세스 네트워크 가상화 (Wireless Access Network Virtualization; WANV) 알고리즘을 제안한다. 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘은 크게 기본 액세스 네트워크 가상화, RAT 가상화 (RAT Virtualization; RV), 액세스 경로 이주 (Access Path Migration; APM) 알고리즘으로 구성된다.

3.1. 기본 액세스 네트워크 가상화

기본 액세스 네트워크 가상화는 초기 RAT 매핑 (Initial RAT Mapping), 초기 AU 매핑 (Initial AU Mapping), 기본 스케줄링 (Basic Scheduling)으로 구성되고, 각 단계가 순차적으로 수행된다.

초기 RAT 매핑은 네트워크 진입 단계에서 각 사용자가 기본적으로 어떤 RAT에 의해서 서비스를 받을지를 결정하는 것이다. 기존 셀룰러 시스템에서는 단말이 주로 하나의 RAT를 지원하기 때문에 특별히 RAT의 선택이 필요없지만, 두 개 이상의 RAT를 지원하는 단말의 경우, 네트워크 진입 시 어떤 RAT에 의해 서비스를 받을 것인지를 결정해야 한다. 일반적으로 고려되는 방식은 기설정된 사용자의 네트워크 선호도에 의한 결정과 신호세기가 가장 좋은 RAT를 선택하게 하는 방식이 있다. 이는 모두 UE 카테고리 정보에 의해서 결정되는 것이고, 네트워크 진입 단계에서 최적 RAT가 매핑되면 사용자는 기본적으로 해당 RAT를 통해서 자원 스케줄링을 받게 된다. 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘에서 초기 RAT 매핑은 사용자 선호도에 의한 것으로 보고 랜덤하게 결정되도록 한다.

초기 AU 매핑은 초기 RAT 매핑과 마찬가지로 네트워크 진입 단계에서 어떤 안테나 유닛으로부터 서비스를 받을지를 결정하는 것이다. 기존 CAS 구조와 달리 DU-RU 분리 구조에서는 네트워크 진입 단계에서 어떤 안테나 유닛으로부터 서비스를 받을지가 반드시 결정되어야 한다. 가장 일반적인 접근 방식은 평균 수신 신호 세기가 가장 큰 안테나 유닛을 선택하는 것이다. 이에 의

하면 특별한 장애물에 의한 음영효과가 없으면 주로 가장 가까운 곳에 위치한 안테나 유닛으로부터 서비스를 받게 된다. 또 다른 접근 방식으로는 네트워크 진입 단계에서 트래픽 로드를 고려하여 선택하는 방법이 있다. 하지만, 트래픽 로드는 실시간적으로 변하는 것이므로 네트워크 진입 단계에서 로드 분산 효과는 얻을 수 있지만, 사용자의 최적 성능 측면에서는 수신 신호 기반으로 안테나 유닛을 선택해주는 것이 보다 일반적이라 할 수 있다. 따라서 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘에서 초기 AU 매핑은 경로 손실 기반의 수신 신호 세기가 가장 큰 안테나 유닛을 선택하여 매핑하는 것을 고려한다.

기본 스케줄링은 본 논문에서 고려하고 있는 DU-RU 분리 구조에서 AU별, RAT별, FA별 최적의 사용자를 선택하는 것이다. 즉, 네트워크 진입 단계에서 기설정된 AU와 RAT가 동일한 사용자 집합에서 주어진 특정 가용자원 (i.e., FA)에서 현재 최적의 채널 상황을 가진 사용자가 선택적으로 자원을 할당받게 된다. 이러한 스케줄링은 자원 관점에서 좋은 사용자를 선택하는 방식과 사용자 관점에서 좋은 자원을 선택하는 방식으로 나누어지는데, 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘에서는 네트워크 중심의 운용이기 때문에 기본적으로 자원 관점에서 최적의 사용자를 선택하는 방식을 취한다.

또한, 사용자들이 서로 다른 위치에 분포하면, 서비스 받는 AU로부터의 거리에 따라 평균 채널 상황이 다르기 때문에 사용자간의 공정성 문제가 발생한다. 이는 스케줄링 기반 시스템에서 항상 발생하는 쟁점으로써 일반적으로 잘 알려져 있고, 사용자 공정성을 만족시켜 주기 위해서 현재 시스템에서 널리 채택되어 있는 비례공정 (Proportional Fair; PF) 스케줄러를 고려한다 [15]. 비례공정 스케줄러에 의하면 사용자는 아래의 수식을 통해서 선정된다.

$$k^* = \operatorname{argmax}_{k \in \Pi} \frac{R_{inst,k}(t)}{T_k(t)} \quad (1)$$

여기서 Π 는 사용자 집합, $R_{inst,k}(t)$ 는 t시점에서 k번째 사용자의 순간 전송률, $T_k(t)$ 는 t시점에서 k번째 사용자의 평균 수율을 의미한다.

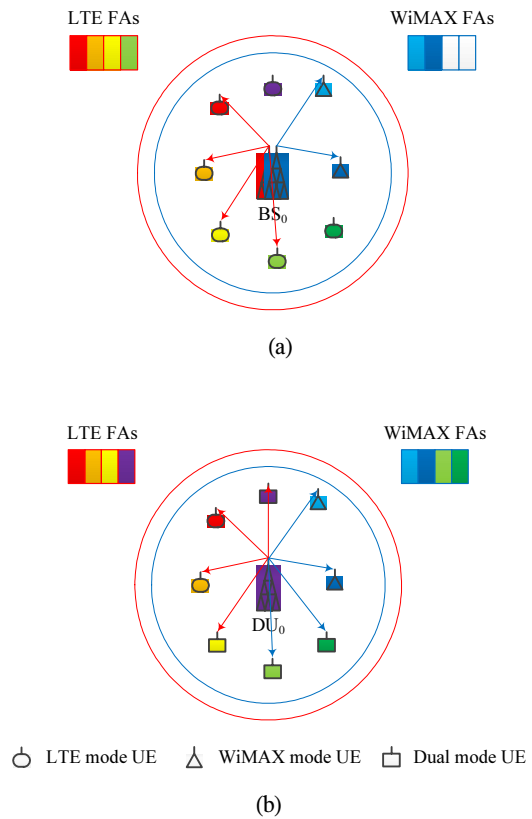


그림 3. RAT 가상화의 동기 예시
Fig. 3 An Example of Motivation of RAT Virtualization (RV)

3.2. RAT 가상화 (RV)

기존 Multi-RAT 환경의 RAT 선택 및 RAT 핸드오버 관련 연구들에서는 기본적으로 RAT가 네트워크 진입 단계에서 결정되고, 선택된 RAT로 서비스를 받다가 사용자의 이동성에 의해 서비스 질이 일정 수준 이하로 떨어지게 되면, 최적의 RAT를 다시 결정하여 핸드오버를 수행하는 것을 고려하였다. 따라서 그림 3 (a)에서와 같이 셀 내의 사용자는 모두 특정 RAT로 결정이 되어 있고, 해당 RAT의 가용자원에 대해서 서비스를 받게 된다. 이 경우, 네트워크 트래픽 로드의 불균형이 발생하면 특정 RAT는 가용 자원이 더 이상 없어서 전송하고자 하는 사용자가 남아 있더라도 서비스를 못해주고, 다른 RAT는 가용 자원이 있더라도 전송하고자 하는 사용자가 없어서 자원이 할당되지 않는 문제가 발생하게 된다. 따라서 이러한 경우, 듀얼 (Dual) 모드를 가진 단말이 서비스

표 1. RAT 가상화 알고리즘
Table. 1 RAT Virtualization Algorithm

[RAT Virtualization Algorithm]
After a baseline wireless access network virtualization (WANV) procedure,
For $AU_a, a \in \mathcal{A}$ where \mathcal{A} is set of AUs
For $RAT_i, i \in \mathcal{R}$ where \mathcal{R} is set of RATs
For $FA_j, j \in \bar{\mathcal{F}}$ where $\bar{\mathcal{F}}$ is set of non-allocated FAs
- Measure SINR of user k for RAT_i and $FA_j, \gamma_k^{(i,j)}$ when $k \in \Pi_{a,\bar{i}}$, where $\Pi_{a,\bar{i}} = \{k \text{active \& not scheduled \& dual mode \& serving AU} = a \text{ \& serving RAT} \neq i\}$.
- Determine a best user, $k_{(i,j)}^*$,
$k_{(i,j)}^* = \underset{k \in \Pi_{a,\bar{i}}}{\operatorname{argmax}} \frac{\gamma_k^{(i,j)}}{T_k(t)}$ where $T_k(t)$ is the average throughput of user k at t .
End
End
End

RAT를 일시적으로 바꾸어 서비스를 받게 되면 자원의 효율성을 그림 3 (b)처럼 높일 수 있게 된다. 이 예시가 RAT 가상화의 동기이다.

RAT 가상화 알고리즘은 기본 무선 액세스 네트워크 가상화 절차의 기본 스케줄링이 끝난 이후, 할당되지 않고 남아 있는 자원 (i.e., FA)에 대해서 수행된다. 표 1은 RAT 가상화 알고리즘을 모식적으로 설명한 것이다. 기본 무선 액세스 네트워크 가상화 절차가 끝나면, AU별, RAT별 할당되지 않고 남은 FA를 검색하고, 해당 AU, RAT, FA에서 보낼 데이터가 있고, 자원 할당을 받지 않았고, 듀얼 모드 단말이면서 해당 AU가 서비스 AU이지만, 해당 RAT가 서비스 RAT는 아닌 단말들에 대해서 신호 대 간섭 및 잡음비 (SINR)을 측정한다. 그리고 측정된 SINR을 기반으로 할당되는 단말들에 대해서 PF 스케줄링을 다시 수행해서 최적 사용자를 선정하여 남은 FA에 선택된 사용자를 할당한다. 이러한 과정이 끝나면, 할당되지 않고 남은 FA에 대해서 자신의 서비스 RAT는 아니지만 듀얼 모드인 단말들이 다시 매핑되어서 네트워크 전체의 자원 효율성을 높이는 데 기여한다. RAT 가상화 알고리즘은 서비스 AU는 동일하게 유지하면서 서비스 RAT가 다른 단말들을 남은 자원에 대해 다시 매핑하는 것이므로 AU내 가상화 (Intra-AU Virtualization)라 할 수 있다.

3.3. 액세스 경로 이주 (APM)

액세스 경로 (Access Path)는 AU와 RAT의 선택에 의해서 결정되기 때문에, AU별 트래픽 로드에서 불균

형이 있을 경우, RAT 가상화를 수행한다고 해도 여전히 자원의 비효율성이 발생할 수 있다.

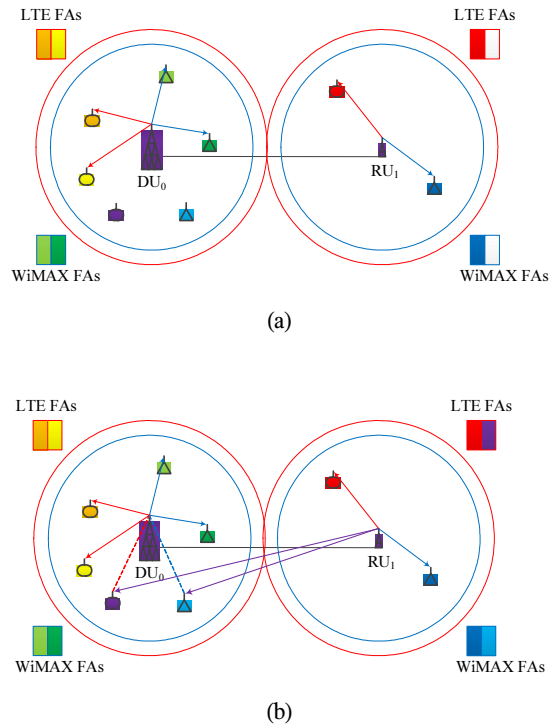


그림 4. 액세스 경로 이주의 동기 예시
Fig. 4 An Example of Motivation of Access Path Migration (APM)

표 2. 액세스 경로 이주 알고리즘
Table. 2 Access Path Migration Algorithm

[Access Path Migration (APM) Algorithm]
After RAT Virtualization,
For $AU_a, a \in \mathcal{A}$ where \mathcal{A} is set of AUs
For $RAT_i, i \in \mathcal{R}$ where \mathcal{R} is set of RATs
For $FA_j, j \in \mathcal{F}$ where \mathcal{F} is set of non-allocated FAs
- Measure SINR of user k for RAT_i and $FA_j, \gamma_k^{\{(a),(i,j)\}}$ when $k \in \Pi_{\bar{a},i}$,
where $\Pi_{\bar{a},i} = \{k \text{active \& not scheduled \& serving AU } \neq a \text{ \& serving RAT} = i\}$.
$\gamma_k^{\{(a),(i,j)\}} = \frac{S_{i,j}^{(0,a)}}{\sum_{l \in \mathcal{A} \setminus \{a\}} I_{i,j}^{(0,l)} + \sum_{c \in \mathcal{C}} \sum_{l \in \mathcal{A}} I_{i,j}^{(c,l)} + 1/\rho}$,
where S is the signal term, I is the interference term, and ρ denotes the transmit SNR, $\rho = \frac{\mathbb{E}[x ^2]}{N_0}$.
- Determine a best user, $k_{\{(a),(i,j)\}}^*$,
$k_{\{(a),(i,j)\}}^* = \underset{k \in \Pi_{\bar{a},i}}{\operatorname{argmax}} \frac{\gamma_k^{\{(a),(i,j)\}}}{T_k(t)}$ where $T_k(t)$ is the average throughput of user k at t .
End
End
End

그림 4는 액세스 경로 이주의 동기를 예시를 통하여 나타낸 것이다. 그림 4 (a)에서 DU의 FA는 모두 할당되었지만, 해당 DU를 서비스 AU로 하는 사용자가 남아 있고, RU의 경우에는 활성 사용자가 적어 FA를 모두 할당해 주어도 FA가 남는 상황이 발생한다. DU-RU 분리 구조에서 DU와 RU들은 우선으로 연결성을 가지므로 DU-RU 간 FA 할당 정보 및 사용자 스케줄링 정보가 DU에서 통합 처리된다. 따라서 그림 4 (b)처럼 비록 네트워크 진입과정에서 선택된 주 액세스 경로가 DU라 하더라도 FA 할당에 있어 불균형이 나타날 경우, 액세스 경로를 다른 AU쪽으로 변경하여 할당해주면 자원이 사용성을 높일 수 있게 된다. 이 때, 액세스 경로를 이주하여 서비스 받은 사용자들은 원하는 신호의 세기가 자신의 주 액세스 경로보다는 작아지지만, 독립적으로 변하는 간섭 채널의 상황에 따라서 SINR에서는 여전히 전송 효율을 보장할 수 있는 사용자가 존재하게 되어 네트워크 관점에서 성능을 향상시킬 수 있게 된다. 하지만, 기본적으로 주 액세스 경로의 수신 신호 세기가 가장 크기 때문에 다음 스케줄링 시점에서는 여전히 주 액세스 경로에서 자원 할당을 받도록 주 액세스 경로 정도는 유지하는 것이 필요하다.

액세스 경로 이주 알고리즘은 RAT 가상화 알고리즘이 수행된 이후에도 특정 AU, RAT에서 FA가 할당되지 않은 경우에 해당 FA에 대해서 수행된다. 표 2는 액세스 경로 이주 알고리즘을 모식적으로 설명한 것이다. RAT

가상화가 완료된 후, RAT 가상화 알고리즘과 마찬가지로 먼저 AU별, RAT별 할당되지 않은 남은 FA를 검색한다. 그리고 나서 해당 FA의 AU와 RAT에 대해서, 서비스 AU는 다르면서 서비스 RAT는 같고, 보낼 데이터가 있고, 이전 과정에서 스케줄링 되지 않은 사용자들을 선정한다. 선정된 사용자들은 원하는 신호를 자신의 서비스 AU가 아닌 해당 FA의 AU로 바꾸어 SINR을 측정한다. 이를 실제로 구현하기 위해서는 추가적인 피어릿 신호 전송 과정이 추가될 수 있다. 결과적으로 이렇게 선정된 사용자 집합에서 측정된 SINR 정보를 기반으로 해당 FA에 대한 최적의 사용자를 PF 스케줄러를 수행함으로써 결정한다. 결국, 해당 FA에 다시 매핑된 최적 사용자는 주 액세스 경로는 다른 AU이지만, 해당 FA의 AU에서 서비스 받도록 액세스 경로를 바꾸어 신호를 수신하게 된다. 액세스 경로 이주 알고리즘은 서비스 AU를 다른 AU로 바꾸어 다시 자원을 매핑하게 되므로 RAT 가상화보다 공격적인 가상화 방안이라 할 수 있고, AU 간 가상화 (Inter-AU Virtualization)라 할 수 있다.

IV. 성능 평가

본 장에서는 시스템레벨 시뮬레이션을 통하여 앞장에서 제안한 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘의 성능을 비교, 평가한다.

성능 비교 기법은 기존 셀룰러 CAS 구조에서의 SU-MISO 스케줄링 기법, DU-RU 분리 구조에서 기본 무선 액세스 네트워크 가상화만 수행한 기법, DU-RU 분리 구조에서 RAT 가상화까지 수행한 기법, DU-RU 분리 구조에서 액세스 네트워크 가상화까지 수행한 기법의 4가지이다. 결과 그래프에서 각각 CAS, DURU, DURU-RV, DURU-RV-APM으로 명명한다.

시스템 시뮬레이션 파라미터는 그림1과 그림2의 시스템 환경에서처럼 셀 7개, 안테나 유닛 7개, RAT 2개, FA 5개로 설정하고, BS-BS 간 거리 또는 DU-DU 간 거리는 2.4km, DU-RU 간 거리는 800m, 송신 SNR은 40dB로 설정하였다. RAT는 LTE와 WiMAX을 가정하여, LTE는 1.8GHz 대역에서 경로손실지수 3, 1km에서 경로 손실 37dB, 대역폭 10MHz로 설정하고, WiMAX는 3.4GHz 대역에서 경로손실지수 3.3, 1km에서 경로 손실 35dB, 대역폭 10MHz로 설정하였다. 사용자의 위치 (r, θ) 는 홈셀에서 $r \sim U[100m, 1100m]$, $\theta \sim U[-\pi, \pi]$ 로 램덤하게 분포시켰다. 평균 사용자 트래픽 활성화도는 0.5로 설정하고 각 안테나 유닛에 포함된 사용자들의 트래픽 활성화도에 따라 2가지 시나리오에 대해서 살펴본다. 시나리오1에서는 인접 안테나 유닛과의 활성화도 차이가 비교적 작은 경우로서 $[DU, RU1, RU2, RU3, RU4, RU5, RU6] = [0.5, 0.8, 0.7, 0.6, 0.4, 0.3, 0.2]$ 로 각 안테나 유닛에 포함된 사용자의 트래픽 활성화도를 설정하였다. 다음으로 시나리오2에서는 인접 안테나 유닛간의 트래픽 활성화도의 차이가 큰 경우로서 $[DU, RU1, RU2, RU3, RU4, RU5, RU6] = [0.5, 0.9, 0.1, 0.9, 0.1, 0.9, 0.1]$ 로 설정하였다. 각 시나리오에 대해서 시스템 수율 성능의 범위와 편차를 보여줄 수 있는 누적 분포 함수를 전체 사용자 140명 일 때에 대해서 살펴봄으로써 각 기법들의 성능을 비교, 분석한다.

그림 5는 시나리오1에 대한 시스템 수율의 누적 분포를 나타낸다. 먼저, 기존 CAS 기법보다 DU-RU 구조에서의 무선 액세스 네트워크 가상화 절차가 적용된 기법들은 약 3배 가량 큰 시스템 수율을 성취하고 있음을 확인할 수 있다. DU-RU 구조의 기법들만 비교해서 살펴보면, 하위 10% 성능에 해당하는 y축 0.1 값에 대해서, DURU 기법에 비해 DURU-RV 기법은 5% 정도의 성능 향상을 보이고, DURU-RV-APM 기법은 추가적으로 5% 정도의 성능 향상을 성취하여, 총 10% 가량의 시스템 수율 성능 향상을 가져오는 것을 확인할 수 있다.

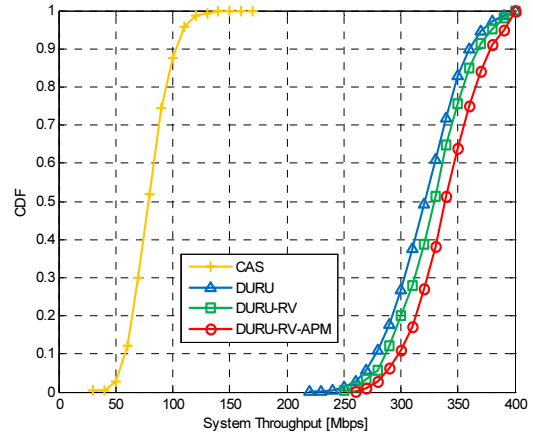


그림 5. 시나리오1 - 시스템 수율 누적 분포 (셀 개수: 7, AU 개수: 7, RAT 개수: 2, FA 개수: 5)
Fig. 5 Scenario1 - CDF of System Throughput

그림 6은 시나리오2에 대한 시스템 수율의 누적 분포를 나타낸다. 앞서 설명한 것처럼 시나리오2는 트래픽로드의 비대칭성이 보다 심각한 상황을 모사한다. 시나리오1에서와 마찬가지로 기존 CAS 기법과 비교하여 DU-RU 구조의 기법들은 평균 시스템 수율에서 약 3배의 성능이득을 성취하고 있다.

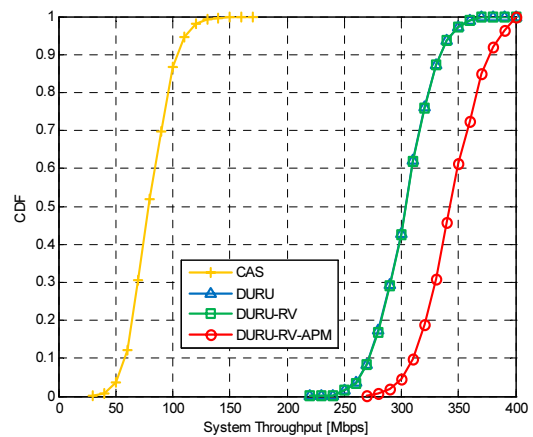


그림 6. 시나리오2 - 시스템 수율 누적 분포 (셀 개수: 7, AU 개수: 7, RAT 개수: 2, FA 개수: 5)
Fig. 6 Scenario2 - CDF of System Throughput

하지만 시나리오1과 달리, DURU-RV 기법은 DURU 기법과 거의 동일한 결과를 보이고, DURU-RV-APM 기법은 상당한 성능이득을 성취하고 있음을 확인할 수 있다. 하위 10%의 시스템 수율 성능에 있어서, DURU-RV 기법은 DURU 기법과 비교하여 특별한 성능이득이 없지만, DURU-RV-APM 기법은 약 20% 정도의 시스템 수율 향상을 보인다. 이는 사용자의 트래픽 활성도의 비대칭성이 커서 AU 내에서는 이미 RAT별로 FA 자원 할당이 모두 다 되었거나, 활성 듀얼 모드 사용자 수가 적어서 FA 자원 할당이 제대로 이루어지지 않는 양 극단의 상황이 번갈아 가면서 나와서 RAT 가상화에 대한 이득이 실제적으로 거의 없어지기 때문이다. 하지만 AU 간의 트래픽 로드의 불균형으로 인한 자원 할당의 비효율성이 액세스 경로 이주에 의해서는 해소가 될 수 있기 때문에 DURU-RV-APM 기법에서는 상당 수준의 성능 향상을 얻을 수 있는 것이다. 특히, 트래픽 로드의 비대칭성이 클수록 이 이득은 더 커지는 것을 시나리오2에서 확인할 수 있다.

결과적으로 RAT 가상화 알고리즘과 액세스 경로 이주 알고리즘은 트래픽 로드 상황과 사용자 분포 상황에 따라서 상호 보완될 수 있는 알고리즘으로서 이들을 단계적으로 수행하는 최종 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘은 어떤 트래픽 로드와 사용자 분포 상황에서든 시스템 수율 관점에서 상당 수준의 성능 이득을 가져올 수 있다.

V. 결론

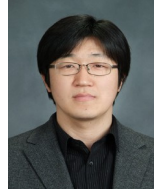
본 논문에서는 다수 무선 접속 기술이 통합되어 운용되는 셀룰러 네트워크에서 차세대 네트워크 진화 방향인 DU-RU 분리 구조를 기본으로 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘을 제안하였다. 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘은 크게 기본 액세스 네트워크 가상화, RAT 가상화, 액세스 경로 이주 알고리즘으로 구성되고, 순차적으로 수행된다. 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘은 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해서 네트워크 트래픽의 비대칭성 정도에 따라 두 가지 시나리오에 대해서 평가되었다. 최종 제안 무선 액세스 네트워크 가상화 알고리즘은 효율적인 자원

할당 및 트래픽 분산을 통하여 비대칭적 트래픽 로드와 사용자 분포 상황에서도 상당 수준의 시스템 수율 이득을 성취하였다.

참고문헌

- [1] <http://www.3gpp.org>, TSG-RAN WG.
- [2] J. Lu and J. Turner, Efficient Mapping of Virtual Networks onto a Shared Substrate, Tech. Rep. WUCSE-2006-35, Washington University, 2006.
- [3] Y. Zhu and M. Ammar, "Algorithms for assigning substrate network resources to virtual network components," in Proc. *IEEE INFOCOM*, 2006.
- [4] W. Szeto, Y. Iraqi, and R. Boutaba, "A multi-commodity flow based approach to virtual network resource allocation," in Proc. *IEEE GLOBECOM*, 2003.
- [5] A. Gupta, J.M. Kleinberg, A. Kumar, R. Rastogi, and B. Yener, "Provisioning a virtual private network: a network design problem for multicommodity flow," in Proc. *ACM STC*, 2001.
- [6] J. Fan and M. Ammar, "Dynamic topology configuration in service overlay networks - a study of reconfiguration policies," in Proc. *IEEE INFOCOM*, 2006.
- [7] 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.
- [8] R. Kokku, R. Mahindra, H. Zhang, and S. Rangarajan, "NVS: A Substrate for Virtualizing Wireless Resources in Cellular Networks," *IEEE/ACM Trans. Network*, 2011. (To appear)
- [9] G. Smith, A. Chaturvedi, A. Mishra, S. Bnerjee, "Wireless Virtualization on Commodity 802.11 Hardware," in Proc. *ACM WINTeCH*, Sep. 2007.
- [10] D. Yun and Y. Yi, "Virtual Network Embedding in Wireless Multihop Networks," in Proc. *ACM CFI*,

- June 2011.
- [11] E. H. Ong and J. Y. Khan, "On Optimal Network Selection in a Dynamic Multi-RAT Environment," *IEEE Communications Letters*, vol. 14, no. 3, Mar. 2010.
- [12] J. Perez-Romero, O. Sallent, and R. Agusti, "A Generalized Framework for Multi-RAT Scenarios Characterisation," in Proc. *IEEE VTC-Spring*, Apr. 2007.
- [13] H. Zhu, "Performance Comparison Between Distributed Antenna and Microcellular Systems," *IEEE Journal on Selected Area on Communications*, vol. 29, no. 6, pp. 1151 - 1163, June 2011.
- [14] L. Dai, "A Comparative Study on Uplink Sum Capacity with Co-Located and Distributed Antennas," *IEEE Journal on Selected Area on Communications*, vol. 29, no. 6, pp. 1200 - 1213, June 2011.
- [15] D. Tse, *Forward link multiuser diversity through rate adaptation and scheduling*, presented at the Bell Laboratories Presentation, Aug. 1999.



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, 차세대
이동통신 시스템

저자소개



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