

창조 ICT R&D 동향

인지정보 기반 인텔리전트 다중 라디오 기술 개발

김용재 · 송유재 · 한영남

한국과학기술원

I. 요약

많은 무선 스마트 단말의 보급으로 무선 데이터 트래픽이 폭발적으로 증가해 왔고, 이로 인한 주파수 자원의 부족은 피할 수 없는 문제가 되었다. 본 과제에서는 획득한 인지정보를 기반으로 하여 다중 라디오 환경에서 주파수 스펙트럼 감지, 동적 스펙트럼 할당, 다중 라디오 선택 및 다중화, 최적 자원 할당, 적응형 전송 기술을 개발하였고, 이 기술들의 개발로 추가적인 주파수 사용 없이 주파수 사용 효율을 최대화함으로써 네트워크 성능 향상을 이끌어 내었다. 본 기술은 고유 주파수 대역 접속, 공통 주파수 대역 접속, 고유/공통 주파수 대역 동시 접속의 경우로 나누어 개발되었다. 개발된 기술은 사용자의 QoS(Quality of Service)를 만족하는 동시에 네트워크 성능 향상을 이끌어낼 수 있음을 모의실험을 통해 검증하였다. 따라서 본 연구의 결과는 4G뿐만 아니라, 5G에서 핵심적인 기술 개발의 중요한 역할을 담당할 것이며, 앞으로도 추가적인 연구가 필요하다.

II. 기술의 개요 및 필요성

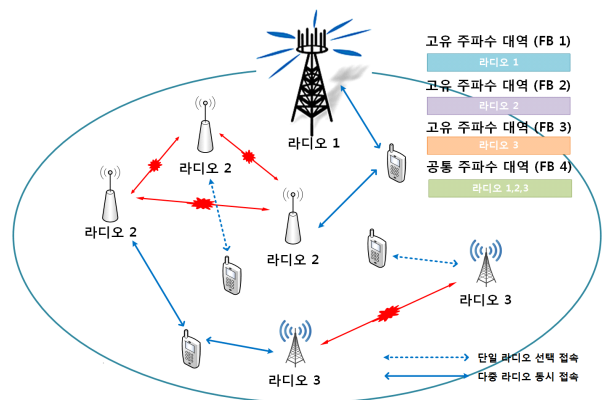
CISCO^[1]의 발표에 따르면 2019년에는 전 세계의 모바일 데이터 트래픽이 292 exabyte로 2014년에 비해 대략 10배 증가한다고 전망했으며, 이는 모바일의 사용자, 접속 수, 네트워크 속도의 증가가 원인임을 제시하였다. 이러한 모바일 데이터 트래픽 문제를 극복하고자 본 과제에서는 인지정보를 사용하여 다중 라디오 환경에서 다양한 기술들을 개발하였다.

다중 라디오 환경에서 각 주파수의 가용 여부와 각 라디오의 부하 정도 등의 정보를 정확하게 판단하기 위하여 센싱

을 통한 환경 인지 기술 연구가 필요하며, 주파수 대역 간 데이터 분산 기술과 끊임 없는 유휴 주파수 대역의 활용을 위해 다중 라디오 선택 또는 동시 접속하는 기술연구가 필요하다. 또한 효과적인 유휴주파수 대역 활용 및 부하 분산을 위해 동적 스펙트럼 할당 기술이 필요하고, 센싱을 통해 얻은 인지 정보를 바탕으로 선택된 다중 라디오를 이용하여 높은 주파수 효율 및 안정적인 전송을 위한 데이터 전처리 기술이 필요하다. 마지막으로 다중 라디오 간에 발생하는 간섭을 효과적으로 제어하고, 주파수 자원을 효과적으로 배분하는 최적화 기술 연구가 필요하다.

III. 기술의 주요 내용

앞서도 언급했듯이, 본 과제에서는 크게 5개 부분으로 기술을 나누었다. 분류된 5개 부분의 기술들은 유기적인 관계를 가지고 있으며, 통합적인 환경에서 결과를 도출 및 분석하였다. [그림 1]은 다중 라디오 시스템 모델을 간략하게 보



[그림 1] 통합 시스템 모델

여주고 있다.

3-1 주파수 감지 기술^[2]

광역 주파수 검출 기술을 바탕으로 여러 대역 협력 인지 라디오 네트워크에 알맞은 주파수 검출 기술을 개발하였고, 여러 대역의 주파수 검출 결과를 동시에 살펴면서 여러 인지 라디오의 인지 정보를 바탕으로 한 시스템 요구 검파 성능을 만족시키는 주파수 검출 기술을 개발하였다. 주파수 효율을 높이기 위해 여러 대역의 주파수 검출 결과를 바탕으로 각 인지 라디오마다 활용에 적합한 주파수 대역을 선택 접속하는 방법을 도입하였다. 또한 주파수 감지 복잡도가 고려된 압축을 통한 감지 관측 수 감소 방법을 제안하였고, 기존의 협력 기술인 equal gain combining 기법 대신, 인지 무선통신망에서 감지 거리를 고려한 신뢰 전송 기반 협력 주파수 감지 기술을 개발하였다. 신뢰 전송 기반 협력 주파수 감지 연구에서는 복잡도와 수렴속도 감소를 위한 minimum description length tree 구조 기술을 도입하였다. 이를 통해 다중 라디오 환경에서 감지 성능을 향상시켰다.

3-2 동적 스펙트럼 할당 기술^{[3][4]}

인지 센터를 중심으로 한 동적 스펙트럼 할당의 계층 구조를 정립했고, 이를 바탕으로 이진 정수 계획법을 사용해 최적의 동적 스펙트럼 할당을 수행하였다. 효율적인 간섭 관리를 위해 간섭 그래프를 도입하였으며, 간섭 그래프 기반의 제약 조건 하에 다양한 목적함수(주파수 효율 또는 인지 센터의 수익)에 따른 동적 스펙트럼 할당 결과를 비교하였다. 또한 다수의 이기종 단말기로부터 누적되어 수신되는 인접 채널 간섭의 확률 분포를 로그 정규 가중함으로 새롭게 모델링함으로써 기존의 로그 정규 분포보다 더 높은 정확도를 보였다. 이를 이용하여 동적 스펙트럼 할당에 있어 최소 시스템 outage 확률을 만족시키는 보호대역 설정연구를 진행하였다. 각 라디오별 트래픽 차이에 대한 관점과 동적 스펙트럼 할당을 수행하는 간격에 대한 관점에 대해서 다차원의 Erlang 손실 모델을 도입하여 최소 트래픽 차이와 최소 할당 간격을 도출하였다.

3-3 다중 라디오 선택 및 다중화 기술^[5]

다중 라디오에 동시 접속 방법을 개발하고, 동시 접속 시 outage 확률을 분석 및 검증하였다. 각 라디오마다 여러 개의 이기종 계층이 혼재하는 환경에서 복수개의 라디오에 동시 접속 및 라디오 내부의 이기종 계층들을 통한 부하분산 기술을 개발함으로써 사용자 접속 확률, 대역폭 할당 확률, 부하경감, 평균 사용자 데이터 전송률을 분석하였다. 또한 최대 사용자 접속/에너지 효율 최대화를 위한 이기종 기지국간 최소 이격거리를 찾는 알고리즘과 부하 분산 알고리즘을 제안하였다. 동종 라디오를 사용하는 Ad hoc 네트워크에서 순차적 스케줄링을 통한 간섭 제어방법을 개발하였고, 최대 자유도를 달성함을 증명하였다. 같은 환경에서 일부 사용자는 라디오를 선택 접속, 다른 일부 사용자는 동시 접속을 할 때, 평균 사용자 데이터 전송률을 분석하였고, 네트워크 전체 throughput 최대화를 위한 최적 사용자 접속 기법을 개발하였다.

3-4 최적 자원 할당 기술^[6]

다중 라디오 환경에서 상향링크 시스템 용량 최대화를 위한 스펙트럼 및 전력 할당 기술을 개발하였다. 또한 인지 정보 기반 다중 라디오의 특징을 반영한 utility 함수를 선택하고, 이를 바탕으로 상향링크 시스템 utility를 최대화 하는 스펙트럼 및 전력 할당 기술을 개발하였다. 공통 주파수 대역 사용 환경에서 발생하는 라디오 간 간섭을 모델링하였으며, primary user의 활동을 보장하면서 secondary user의 총 달성 achievable rate 최대화를 위한 최적의 자원 할당 알고리즘을 개발하고 검증하였다. 고유 및 공통 주파수 대역 사용이 혼재하는 환경에서 최적 자원 할당 기술을 통합하고, 개발하여 검증을 하였다.

3-5 적응형 전송 기술

다중 라디오 환경에 적합한 적응형 전송 구조의 구성 및 분석을 진행하며, 기계 학습을 활용한 전송 파라미터 선택 기법을 연구하였다. 기계 학습을 적용하여 사용 메모리와 알고리즘 복잡도를 줄이면서 최적의 통신 성능을 얻을 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 또한 에너지 효율 및 데이터 전송률 최대화를 위한 라디오 선택 알고리즘을 개발하였다. 동종 및 이종 라디오 간의 간섭이 존재하는 환경에서 간섭

이 PHY 단계 통신 성능에 끼치는 영향을 분석하여, 간섭이 존재하는 환경에서도 통신 성능을 보장하는 적응형 전송 기술을 개발하였다. 또한 truncated channel inversion 기법을 활용한 전력 분배 기술 연구를 진행하여 실질적인 시스템 모델을 고려한 전력 분배 및 사용 stream 수 결정 기술을 개발하였다.

IV. 동향 및 전망

5G 주요 적용 시스템인 IoT(Internet of Things)가 대두되고 있으며, 주파수 자원은 더욱더 부족해질 것이다. 따라서 인 지정보를 사용한 기술들이 중요하게 부각될 것이다. 2015년 MWC(Mobile World Congress)에서 KT는 삼성전자, Qualcomm과 공동으로 LTE와 WiFi간 병합 기술인 LTE-H(LTE-HetNet)을 세계 최초로 선보였다. LTE-H는 여러 개의 주파수 밴드를 묶는 기존 LTE-A의 carrier aggregation을 넘어 서로 다른 통신망을 하나의 전송 기술로 묶는 link aggregation을 적용한 것이다. 이 기술은 기존 LTE(75 Mbps)보다 8배 빠르고 3 밴드 LTE-A(300 Mbps) 대비 2배의 속도를 낸다. SKT도 Intel과 함께 고품질 음성통화와 데이터 전송을 동시에 할 수 있도록 지원하는 Anchor-Booster Cell 기술을 발표하였다. 또한 Ericsson, Qualcomm, Nokia, Huawei 등의 회사에선 5 GHz 대역의 unlicensed 밴드를 사용해 LTE서비스를 하는 LTE LAA (License Assisted Access) 기술을 시연하여 약 2배에서 4배 정도의 throughput을 선보였다. 이에 3GPP는 2014년부터 표준화 연구에 돌입하여, 실내, 실외에서의 배치, 각기 다른 지역에서 동작할 수 있는 global solution 등의 문제들을 다루었다. 이외에도 많은 센싱 기술들이 개발되면서 secondary user

가 opportunistic하게 주파수를 사용하는 기술들도 많이 개발될 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] Cisco Visual Networking Index(VNI), "Forecast and Methodology", *Cisco White Paper*, pp. 2014-2019.
- [2] W. Lee, J. Kang, and J. Kang, "Joint resource allocation for throughput enhancement in cognitive radio femtocell networks", *IEEE Wireless Commun. Lett.*, 4(2), pp. 181-184, Apr. 2015.
- [3] M. Kim, Y. Han, Y. Yoon, Y. J. Chong, and H. Lee, "Modeling of adjacent channel interference in heterogeneous wireless networks", *IEEE Commun. Lett.*, 17(9), pp. 1774-1777, Sep. 2013.
- [4] Y. Kim, M. Kim, H. Lee, and Y. Han, "Dynamic spectrum allocation considering adjacent channel interference", in *Proc. IEEE Asia Pacific Wireless Commun. (APWCS) 2014*, Aug. 2014.
- [5] S. Cho, W. Choi, "Energy-efficient repulsive cell activation for heterogeneous cellular networks", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, 31(5), pp. 870-882, May 2013.
- [6] Y. Song, Y. Han, and Y. Choi, "Radio resource management based on QoE-aware model for uplink multi-radio access in heterogeneous networks", in *Proc. 2014 IEEE 79th Veh. Tech. Conf.(VTC Spring)*, May 2014.

≡ 필자소개 ≡

김 용 재



2013년: 세종대학교 전자공학과 (공학사)
2015년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2015년~현재: 한국과학기술원 전기·전자공학과 박사과정
[주 관심분야] Cognitive Radio, Radio Resource Management

송 유 재



2010년: 영남대학교 전자공학과 (공학사)
2012년: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
2012년~현재: 한국과학기술원 전기·전자공학과 박사과정
[주 관심분야] Radio Resource Management, Vertical Handover

한 영 남



1978년: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1980년: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년: University of Massachusetts (공학박사)
1992년~1997년: 한국전자통신연구원 이동통신 방식연구실장
1998년~2009년: 한국정보통신대학교 교수
2001년~2002년: Qualcomm 선임연구원

2003년~2005년: IEEE VTC Seoul Chapter Chairman

2009년~2010년: BoG, IEEE VTS APWCS Chairman

2009년~현재: 한국과학기술원 전기·전자공학과 교수

2013년~현재: 5G Forum 운영위원장

[주 관심분야] Radio Resource Management Scheme, Optimization of Systems, Cognitive Radio Systems