

펄토셀 네트워크를 위한 3GPP-LTE 표준에 따른 분산형 동적 대역 조정 연구

이호재 | 오희석 | 이상훈 | 임재원* | 김병훈*

연세대학교, LG전자*

요 약

최근 가정이나 사무실 등 옥내 사용자들의 통신 환경의 개선을 위해 펄토셀에 대한 관심이 고조되고 있다. 펄토셀의 서비스 반경 특성상 고정된 대역폭을 효율적으로 사용하는 여러 방법들이 제안되고 있으며, 이는 향후 통신환경에서 중요한 이슈로 대두되고 있다 [1][3].

본고에서는 3GPP-Long Term Evolution (LTE) 환경에서 물리 계층 표준의 프레임 구조를 살펴보고, 3GPP-LTE 구조에 여러 펄토셀이 적용되었을 때 효율적인 간섭회피 방법을 제안한다. 펄토셀 환경은 사용자에게 서비스를 제공하는 반경이 넓지 않아 주파수 대역의 재사용이 용이하다. 이와 같은 특성을 이용하여 전체 시스템에 부하를 최소화할 수 있는 분산형 동적 대역폭 조정을 수행하는 방법을 제안한다.

1. 서 론

통신의 발달과 더불어 한정된 주파수 자원의 보다 효율적인 사용은 이동통신 사업자에게 큰 관심사로 떠오르게 되었다. 최근 몇 년간 대안으로 주목 받는 기술중의 하나가 펄토셀이다. 펄토셀이란 10^{-15} 의 매우 작은 단위를 표현하는 펄토(Femto)와 이동통신망에서 전파를 송수신 할 수 있는 단위인 셀(cell)의 합성어으로써, 초소형 실내 기지국을 의미한다 [1][3]. 사용자는 실내에서 이동통신사에 허가된 대역폭을 사

용하며 펄토셀을 통해 음성 및 데이터 신호를 주 기지국의 백본망으로 연결할 수 있다.

펄토셀은 3G이후의 이동통신 시장에서 실내 고속 데이터 서비스 도입과 맞물려 큰 잠재력을 가지고 있는 기술이다. 펄토셀은 기존 유선 서비스가 제공하던 서비스를 무선에서도 효율적으로 제공할 수 있도록 함으로써, 이동통신 서비스 시장에서 실내 통화권 확보에 대한 해답을 제시한다. 한정된 무선 자원을 이용해, 보다 높은 질의 서비스를 필요로 하는 사용자의 요구에 대응하기 위하여, 대역폭의 재활용을 통한 데이터 전송률의 보장은 필수적이다. 향후 펄토셀 기술의 기본적인 목표는 주 기지국의 대역폭을 이용하여 실내에서의 신호 감쇠 문제를 펄토셀의 신호 증폭으로 해결하기 위함이다. 이로써 사용자는 높은 품질의 통신 서비스를 보장받을 수 있다. 또한 중계 탑과 같은 추가 기반시설 설치 비용을 획기적으로 줄임으로써 단순한 이동통신을 넘어 가정과 회사에서 다양하고 새로운 유무선 통합의 통신 어플리케이션 서비스를 제공하는데 경제적인 이점을 가지고 있다. 때문에 현재 이동통신 서비스 업체를 비롯하여 단말기 제조업체, 인터넷 관련 업체들까지 펄토셀에 관심을 보이며 펄토셀 시장으로의 적극적인 진출을 꾀하고 있다 [1][3].

펄토셀은 다양한 통신 서비스의 촉진을 선도하며, 사용자에게 더 나은 품질의 통신환경을 제공함으로써 이전에 구현하기 어려웠던 시장에서의 가치를 창출할 수 있지만, 아직 정책적인 표준은 명확히 정해지지 않은 단계이다. 펄토셀에 대한 표준화 요구는 2007년부터 급부상 하였다 [1]. 3GPP에서 관심을 갖는 주요 표준화 이슈들은 보안관련문제와 더불어

본 연구는 LG 전자의 이기종 망을 이용한 MIH상에서 데이터 전송을 위한 SIGNAL FLOW 연구 과제 지원 하에 이루어졌음.

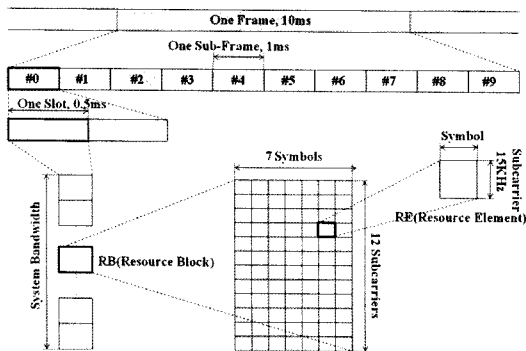
어, 무선자원최적화, 네트워크동기화, 그리고 간섭 제어에 대한 방안 등이 있다 [2][3]. 이 중에서도 통신망의 성능에 심각한 영향을 주는 것이 펠토셀과 매크로셀, 혹은 각 펠토셀 간에 발생하는 간섭의 문제로서, 이를 해결하기 위하여 현재 수 많은 제조업체와 연구기관에서 시뮬레이션을 통한 분석을 행하고 있다.

본고에서는 펠토셀에 대한 표준화 요구가 계속 진행되고 있는 3GPP-LTE의 frame structure를 살펴보고, 간섭 제어를 위해 3GPP-LTE 환경에 적합한 제어신호 교환방법을 제안한다. 또한, 펠토셀 사용 환경에서 발생하는 간섭 문제의 해결을 위해 여러 펠토셀들의 그룹화 (Grouping)와 클러스터화 (Clustering) 방안에 대해 기술 하고, 그에 따른 분산형 동적 대역 조정의 알고리즘에 대해 살펴본다.

II. 펠토셀 환경에서의 간섭과 LTE Frame Structure Type 1

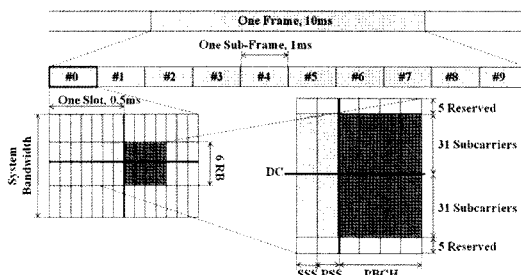
본고에서는 3GPP-LTE 환경에서의 펠토셀 사용과 관련한 대역폭 할당에 대해 논한다. 주어진 무선 자원이 제한적이므로, 효율적인 무선 자원의 재사용 문제는 필연적으로 대두되고 있다 [4]. 각 기지국들은 대역폭을 공유함에 있어 간섭 회피를 위해 적절한 대역폭 할당 과정이 요구된다. 펠토셀 대역폭 할당의 기술을 논하기 위해 3GPP-LTE frame structure type 1 의 구조를 살펴본다 [5]-[8].

본고에서는 3GPP-LTE 물리계층 표준 중, frame structure type 1에서 첫 번째와 여섯 번째 부 프레임(Subframe)에 동



(그림 1) 3GPP LTE Frame Structure Type 1에서의 Time Domain 구조

기화 신호를 필요로 하는 FDD (Frequency Division Duplex) 방식의 하향 링크 표준을 기준으로 한다 [9]. 일반적인 LTE 하향 링크의 접속 방식은 주기적 전치부호 (CP: Cyclic Prefix)를 사용하는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation)에 기반한다. 대역폭 할당은 (그림 1)에서 볼 수 있듯이 RB (Resource Block)라 불리는 기본 단위에 의해 정의된다. 하나의 RB는 다수의 자원요소 (RE: Resource Element)들로 구성되어 있다. 하나의 RB는 주파수 축에서 보통 12개의 부 반송파 (Sub-carrier)의 집합으로 이루어져 있고 이 경우 간격은 15KHz 이다. 본고에서는 여러 RB구조 중에서 일반적으로 사용하는 슬롯 (Slot)당 7개의 심볼을 포함하는 RB구조를 기본으로 한다 [5]-[8][10].



(그림 2) 3GPP LTE Frame Structure Type 1에서의 동기 및 시스템 정보 채널

LTE에서 초기 하향 링크로의 접근은 셀 탐색, 시스템 정보 수신, 임의 액세스의 3가지 과정을 거쳐 데이터 전송 과정에 이른다. 각 과정을 수행하기 위해 LTE 하향링크의 물리 계층에는 다수의 신호와 채널이 존재한다. 셀 탐색 과정에서는 접속을 위한 셀을 찾아내고 프레임의 시간을 찾아낸다. 이를 위해서는 주파수 및 시간의 동기를 맞추기 위한 신호가 필요하며, 셀 식별자의 획득 역시 이와 같은 셀을 특정 짓는 정보의 배열을 포함한 동기화 신호를 이용함으로써 가능하다. 다음은 셀 탐색과 단계적으로 이루어지는 하향 링크 접속 과정에서 다루는 LTE표준의 동기신호 및 채널이다 [5][11][13].

- PSS (Primary Synchronization Signal): 초기 셀 탐색 과정에서 특정 수신 시점을 검출 할 수 있게 해주며, 또한 현재 탐색된 셀의 식별자를 구분할 수 있도록 최초의 동기를 확인하는 신호이다. Non-coherent 방식으로 검출되며 5ms단위로 물리계층 식별자를 검출한다.
- SSS (Secondary Synchronization Signal): PSS의 바로 앞

심볼에 위치하며, PSS와 마찬가지로 초기 액세스 시에 셀 탐색 과정에 필요한 신호이다. 해당 라디오 프레임의 경계에 대한 정보를 담고 있으며, 역시 물리계층의 셀 식별자를 포함하고 10ms 단위로 검출한다.

- PBCH (Physical Broadcast CHannel): 셀 탐색 과정 이후, 최초로 검출되는 채널로써, 시스템정보를 담고 있다. 이 채널은 다른 물리계층의 신호들을 수신하기 위해 필수적인 시스템정보들을 전송하는 BCH가 대응되는 채널이다.

LTE 액세스 과정은 (그림 2)에서 볼 수 있듯, 주파수 축에서 중심 주파수 (DC)를 기준으로 하여 6RB의 범위에서 이루어진다. 실제 시스템 대역폭은 72개의 부 반송파로 이루어짐으로써 전송 대역폭과 관계 없이 수신 시에 이를 검출하고 복호 할 수 있다. PSS와 SSS는 한 프레임 내의 0번과 5번의 부 프레임에서, 첫 번째 슬롯의 마지막 2개 OFDM 심볼에 삽입되며 그 다음 슬롯의 처음 4개의 심볼에는 PBCH가 삽입된다. 두 가지의 동기화 신호는 셀을 구분하기 위하여 3개의 PSS와 168개의 SSS가 서로간의 조합을 통해 504개의 물리계층 식별자를 형성한다. LTE 환경의 수신 단에서는 PSS를 찾아내기 위하여 5ms단위의 검색을 한다. 따라서 한 프레임당 2개씩의 PSS가 필수적으로 포함되어야 하며, 이는 4.6ms의 프레임 길이를 가지는 GSM과 같이 다른 방식의 기술을 LTE기술에 액세스 할 때, 핸드오버를 단순화 시키는데 유리하다 [5H13].

앞서 LTE 표준을 이용한 펌토셀 무선 환경을 구성할 때, 서비스의 질적 향상을 위해 가장 중요하게 고려해 볼 문제중의 하나로 기지국들 간 대역폭의 재사용 시 일어날 수 있는 서로의 간섭으로 인한 성능과 용량의 저하를 언급하였다. 이의 해결을 위한 적절한 대역폭의 할당과 재사용 기술은 현재도 계속해서 연구 중이며, 중요한 기술적 이슈로 다뤄지고 있다. 본고에서는 살펴본 LTE frame structure type 1의 특징을 바탕으로, 대역폭 사용 효율의 극대화 방안을 제시한다.

III. 그룹화와 클러스터화를 통한 간섭 회피

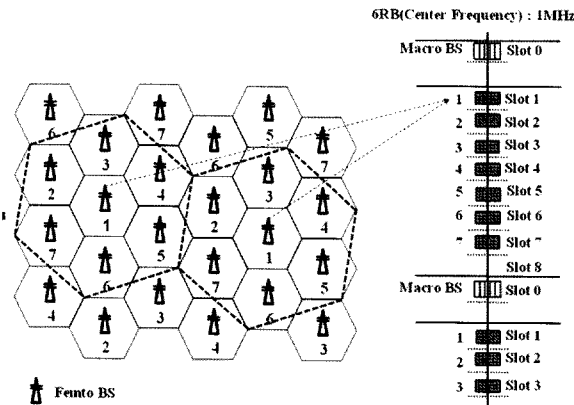
본고에서는 하나의 매크로셀 내에 소수 혹은 다수의 펌토셀이 분포해 있고 소속된 펌토셀들은 중심대역폭 (DC를 중심으로 하는 6RB의 대역)을 통해 동기정보신호 (PSS, SSS)와 시스템정보신호 (PBCH)를 송수신하는 3GPP-LTE frame structure type 1을 고려한다. 고려하는 계층적 셀 구조에서 간섭회피를 위한 대역조정방법의 고려 요소는 첫째로 매크로 기지국의 사용 가능한 대역폭을 최대한 늘릴 수 있어야 한다. 둘째로 펌토 기지국 간, 혹은 매크로 기지국과 펌토 기지국 사이의 간섭을 최소화 할 수 있어야 하고, 셋째로 각 펌토셀에 주어진 대역폭의 사용 효율을 극대화 할 수 있어야 한다.

본 기술에서는 분산형 동적 대역폭 조정을 위해 우선적으로 간섭이 미치는 임의의 범위 안에서 인접한 펌토 기지국끼리의 그룹화와 클러스터화를 수행한다. (본 기술은 그룹화와 클러스터화의 방법을 다루는 것이 아니라 그룹화와 클러스터화를 통한 간섭회피 기법을 다룬다.) 펌토셀 기지국은 매크로 기지국에 비해 상대적으로 적은 자원을 가지고 사용자에게 서비스를 제공하며 이 때에 펌토셀간 혹은 매크로셀과 펌토셀 사이에 간섭이 발생한다. 펌토셀간 간섭회피를 위해 간섭이 큰 펌토 기지국들은 하나의 그룹(Group)을 형성하고 그보다 상대적으로 간섭의 양이 매우 큰 펌토 기지국들이 하나의 세부 클러스터(Cluster)를 구성한다. 그룹과 클러스터는 각각에 속한 펌토 기지국에게 인덱스를 부여하며 이를 통하여 여유 있는 대역폭의 운영을 도모한다.

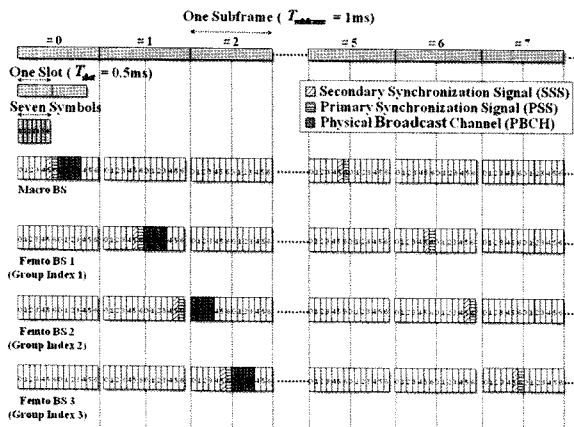
1) 그룹화를 통한 중심대역의 간섭회피

매크로 기지국은 자신의 셀 안의 사용자 수와 그들의 요구되는 서비스품질 (QoS: Quality of Service)에 따라 우선적으로 대역을 할당한다. 매크로 기지국의 대역은 사용자 수의 변화나 요구되는 트래픽 양에 따라 동적으로 변한다고 가정한다. 각각의 펌토 기지국들은 매크로 기지국의 PSS, SSS와 PBCH를 포함하는 중심대역을 수신할 수 있다. 따라서 펌토 기지국들은 매크로 기지국에서 사용하지 않는 대역을 이용하여 자신의 셀에 속한 사용자들 서비스를 하며 매크로셀과 펌토셀 간의 간섭을 회피할 수 있다.

위와 유사하게 각각의 펌토셀은 인접한 펌토셀들의 중심대역을 수신할 수 있으므로, (그림 3)과 같이 간섭이 큰 펌토 기지국들과 그룹을 형성할 수 있다. (그림 4)는 그룹화된 펌



(그림 3) Group Index에 따른 Slot Shift 설정



(그림 4) Time Domain에서 Slot Shift에 따른 동기 및 시스템 정보 채널 할당

토 기지국들이 LTE 시간 축 (Time domain)에서 하나의 슬롯 단위로 Shift하여 중심대역의 PSS, SSS와 PBCH를 빗겨 쓸 수 있음을 보여준다. (그림 3)에서 간섭이 미치는 임의의 지역 내에서 1-tier 셀의 크기를 기준으로 하여 하나의 그룹으로 결정하고, 그룹 인덱스를 할당한다. 각각의 그룹 인덱스에 따라 펠토 기지국들은 사용해야 할 중심대역을 슬롯 별로 할당 받게 된다. 그러면 (그림 4)와 같이 시간 축에서 LTE frame structure type 1에 맞게 슬롯 단위로 PSS, SSS, PBCH를 Shift해서 사용할 수 있다. 따라서 각 펠토기지국이 데이터의 송신에 사용하는 대역과 무관하게 펠토셀간의 중심대역은 간섭 없이 송신이 가능하다.

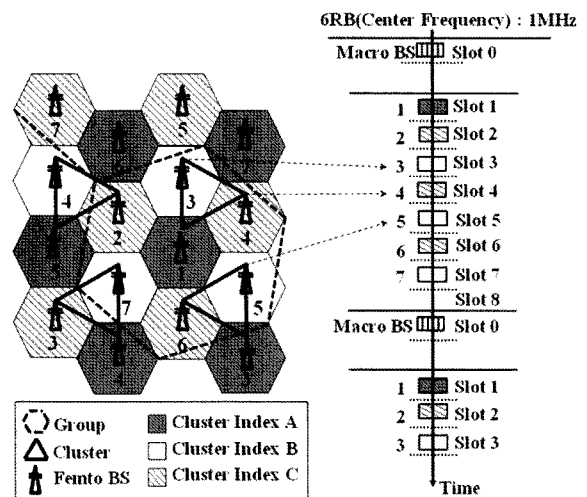
위와 같이 그룹화를 통해 중심대역을 시간 축으로 Shift하는 기술을 통해, 매크로 기지국과 주변 펠토 기지국들의

PSS, SSS, PBCH를 중심대역 (6RB)을 통하여 충돌 없이 수신할 수 있다. 시간 축에서의 슬롯 단위 Shift는 그룹화에 따라 최대 8개의 펠토 기지국이 한 개의 그룹을 형성할 수 있다. (슬롯 단위는 최소 Shift의 단위로 가정한 것이지만, 부 프레임이나 그 외의 단위를 이용해 동적으로 조절할 수 있다.) 실제 환경에서는 하나의 그룹을 형성하는 펠토 기지국의 수는 각각의 간섭 여부에 따라 자유롭게 결정될 수 있다.

2) 클러스터화를 통한 데이터 송신대역의 간섭회피

펠토셀간의 데이터 송신대역 간섭회피를 위한 클러스터화는 그룹화와 독립적으로 이루어진다. 즉, 다른 그룹에 속해 있는 펠토 기지국끼리의 클러스터화가 가능함을 의미하며, 각 펠토셀은 그룹 인덱스와 무관하게 클러스터 인덱스를 추가적으로 가진다. 그룹화를 통한 그룹 인덱스에 의해 Shift된 슬롯을 결정한 후, 상대적으로 간섭이 심한 펠토셀들간의 클러스터화를 통해 클러스터 인덱스를 부여한다. 각 펠토 기지국들은 클러스터 인덱스에 의해 데이터 송신을 위해 할당된 대역폭을 사용하게 된다. (그림 5)에서는 7개의 펠토 기지국으로 구성된 그룹과 그와는 독립적으로 3개의 펠토 기지국들로 구성된 클러스터들의 환경을 도식화 하였다.

하나의 클러스터에 속한 펠토 기지국들은 요구되는 서비스 품질에 따라 펠토셀에 할당된 (매크로셀에서 사용하지 않는) 전체 대역폭을 나누어 사용하게 된다. (그림 5)에서 그룹 인덱스 1과 클러스터 인덱스 A를 가지는 펠토셀의 경우



(그림 5) Cluster Index에 따른 Slot Shift와 대역 할당 관계

인접하는 6개의 셀과 클러스터 인덱스가 다르기 때문에 데이터 송신대역의 충돌이 발생하지 않는다. 또한, 이 펠토셀은 인접하는 6개의 셀과 그룹 인덱스가 달라 중심대역에서 PSS, SSS와 PBCH를 빗겨 쓸 수 있으므로 중심대역에서 중요 제어채널의 충돌이 발생하지 않는다. 따라서, 모든 펠토셀은 그룹 인덱스와 클러스터 인덱스를 통해 중심대역의 제어 채널과 데이터 송신대역에서 간섭을 회피할 수 있다.

IV. 분산형 대역폭 조정의 동작 과정

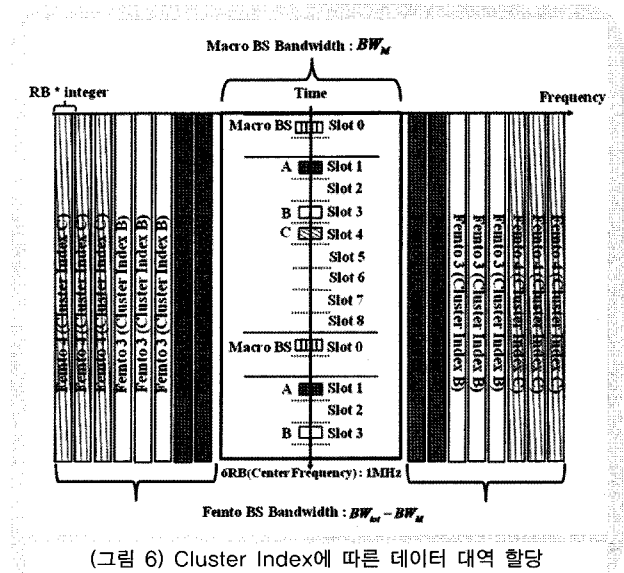
본 장에서는 앞서 설명한 그룹화 및 클러스터화를 수행하여 각각의 펠토 기지국이 자신의 셀 내의 트래픽 양에 따라 대역폭을 결정하는 방법을 소개한다. 집중형 대역 조정 기술은 매크로기지국과 펠토 기지국의 정보를 수집하는 상위 계층의 기기나 추가적인 중앙 조정자에 의해 한번에 자원 할당을 수행한다. 이 경우 전체 시스템에서 추가적인 정보 교환에 의한 자원손실과 정보를 모으는데 드는 심한 부하를 책임져야 한다.

반면에 제안하는 분산형 대역폭 조정 기법은 앞서 설명한 그룹화를 통해 중심대역의 PSS, SSS와 PBCH의 간섭회피를 수행한다. (그림 6)에서 확인할 수 있듯이, 매크로 기지국에서 사용하는 중심대역 슬롯과 하나의 클러스터에 속한 펠토 기지국들에서 사용하는 중심대역 슬롯은 그룹 인덱스를 통해 Shift해서 사용하므로 충돌을 회피할 수 있다.

앞서 설명한 바와 같이 각 펠토 기지국은 매크로 기지국의 중심대역을 수신하고 시스템 정보를 검출할 수 있다. 따라서 (그림 6)과 같이 펠토셀들은 매크로 기지국에서 사용하는 데이터 송수신 대역을 피해서 각 펠토셀의 데이터 송수신 대역을 할당할 수 있다. 예를 들어, 매크로 기지국에서 BWM을 사용한다면, 펠토 기지국들은 전체 대역에서 매크로 대역을 제외한, $BW_{tot}-BWM$ 의 대역을 이용해 자신의 셀 내의 사용자를 서비스한다.

마찬가지로 각 펠토셀은 인접 펠토셀들의 중심대역을 수신하고 시스템 정보를 검출할 수 있다. 따라서 (그림 6)과 같이 각 펠토셀들은 클러스터 인덱스에 따라 간섭이 일어나지 않도록 데이터 송수신 대역을 분산적으로 수행할 수 있다.

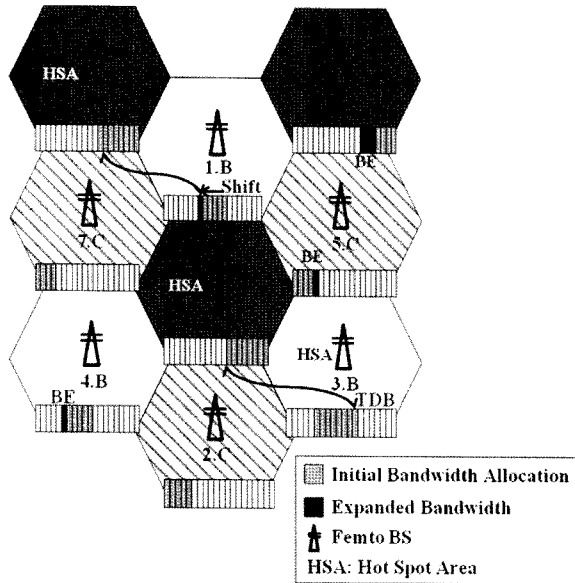
각 펠토셀들의 데이터 송수신을 위한 초기 대역폭 할당은, 매크로셀에서 사용하는 대역을 제외한 전체 대역에서 클러스터 인덱스에 따라 Graph coloring등의 기존 클러스터링 기법을 통한 대역할당을 수행할 수 있다 [14]. 각 펠토셀에서 초기에는 일정 대역만을 할당해 놓고, 이후 트래픽 양의 변화에 따라 높은 데이터 전송률의 서비스를 위하여 대역폭의 조정이 가능하다.



(그림 6) Cluster Index에 따른 데이터 대역 할당

펠토 기지국은 주위의 다른 펠토 기지국들의 중심대역 수신을 통해 인접 펠토 기지국들이 사용하는 시스템 대역에 대한 시스템 정보를 확인할 수 있기 때문에, 스스로의 대역폭을 대역확장 (BE: Bandwidth Expansion), 대역이동 (Shift: Bandwidth Push out), 대역시분할 (TDB: Time Division Bandwidth), 대역축소 (BR: Bandwidth Reduction) 등을 수행하여 동적으로 결정하여 대역할당을 최적화 할 수 있다.

전체 대역에서 남는 대역폭이 충분할 경우에 Hot Spot Area (많은 트래픽이 발생하는 셀)에 해당하는 펠토셀은 인접 펠토 셀의 여유부분으로 자신의 대역확장을 수행해 추가적으로 대역폭을 할당 받아 트래픽에 대한 지원이 가능하다. 하지만 남는 대역폭이 충분치 못할 경우엔 일정 프레임 주기로 하여 각 클러스터의 상황에 따라 대역폭의 재할당을 수행함으로써 최소한의 서비스품질을 보장할 수 있어야 한다.



(그림 7) 펠토셀의 분산형 동적 대역 할당의 예

앞서 언급하였던 알고리즘의 설명을 위하여 9개의 펠토셀이 모여있는 상황을 예로 들고 이를 (그림 7)에 도식화 하였다. 7개의 펠토 기지국이 하나의 그룹을 이루고 있으며, 그와 독립적으로 3개의 펠토 기지국들이 하나의 클러스터는 형성하고 있다. 2.A (그룹 인덱스 2, 클러스터 인덱스 A)의 인덱스를 갖는 펠토셀은 많은 트래픽이 요구되는 Hot Spot Area이다. 따라서 처음 할당된 대역폭에서 4.A 펠토셀의 경우처럼 대역확장(BE)을 시도해 서비스품질을 높여려 한다. 상대적으로 트래픽이 적은 1.B 펠토셀의 기지국은 주위 정보를 수합해 상황을 인지하고, 대역이동(Shift)과 동시에 Hot Spot Area를 위한 자원을 할애하면서 남은 대역폭으로 자신의 대역폭을 확장한다. C의 클러스터 인덱스를 가지는 펠토 기지국은 초기 대역폭 할당량이 적었기 때문에 전체 대역폭 중 남은 부분으로의 확장을 도모한다. 하나의 클러스터가 대역폭의 재할당을 수행하였으나, 6.A와 3.B의 펠토셀이 여전히 Hot Spot Area로 남아있다. 이 두 펠토셀은 대역폭의 여유가 없기 때문에 중복되는 대역폭을 시분할(TDB)로써 공유한다. 이러한 일련의 과정은 일정한 프레임 주기로 하여 수행되며, 분산된 펠토셀들이 상호 보완적으로 대역폭을 동적 조정하는 모습을 보인다.

분산형 동적 대역 조정 기법은 위의 예에서와 같이 중심대

역을 매크로 기지국과 펠토기지국들이 공동으로 사용하면 시간 에 따른 Shift를 통해 충돌 없이 사용할 수 있다. 또한 각 펠토셀들은 클러스터 인덱스와 요구되는 QoS에 따라 분산적으로 자신의 대역을 결정하고, 요구되는 트래픽 양의 변화에 따라 동적으로 대역을 조정할 수 있다. 집중형 대역 조정과 비교해서 완벽한 충돌회피는 어려울 수 있으나 트래픽의 변화에 따라 일정 프레임 주기로 반복적인 대역 조정은 밀도 높은 펠토셀 환경에서 매우 효과적일 수 있음을 예상할 수 있다.

V. 결 론

본고에서는 통신용량 증대 요구에 대한 펠토셀의 필요성과 3GPP-LTE FDD 환경의 물리 계층 프레임 구조를 살펴보았다. 3GPP-LTE 펠토셀 환경의 특성에 따라, 매크로 기지국과 펠토 기지국, 펠토 기지국과 펠토 기지국 사이의 간섭을 회피할 수 있는 중심대역 시간 축 Shift방법을 소개하였다. 언급한 간섭 회피 방법을 이용하여 추가적으로 각 펠토 기지국들이 분산적으로 대역할당을 수행하면서, 트래픽의 변화에 따라 동적으로 대역을 조정할 수 있는 방법을 소개하였다.

본고에서 언급한 해결책 이외에도 향후 펠토셀의 안정적인 상용화를 위하여, 차세대 이동통신 시스템에서 사용자가 요구하는 네트워크 환경에 부합할 수 있도록 펠토셀의 대역 할당에 관련한 추가적인 연구가 진행되어야 한다.

참 고 문 헌

- [1] 정정수, 최성호, "LTE 초소형 기지국", 한국통신학회지 (정보와 통신) 제25권 제9호, 2008년 8월, pp. 41-48
- [2] 상영진, 김광순, "펠토셀 자기구성 기술 동향", 한국통신학회지 (정보와 통신) 제25권 제12호, 2008년 11월, pp. 49-56
- [3] 노미진, 김주성, "유무선 통합 시대의 펠토셀 동향 및

- 비즈니스 모델” 전자통신동향분석 제23권 제2호, 2008년 4월, pp. 91-97
- [4] Tae-Hwan Kim, Tae-Jin Lee, “ Throughput Enhancement of Macro and Femto Networks By Frequency Reuse and Pilot Sensing”, Computing and Communications Conference, Dec. 2008, pp. 390-394
- [5] 윤영우, 노동욱, 서동현, 이정훈, 김은선, “LTE 하향 링크의 물리 계층 주요 요소 기술 소개”, 한국통신학회지 (정보와 통신) 제25권 제9호, 2008년 8월, pp. 9-23
- [6] 3GPP 36.211, R8, “Physical channels and modulation for E-UTRA and E-UTRAN”, v8.3.0.
- [7] 3GPP 36.213, R8, “Physical layer procedure for E-UTRA and E-UTRAN”, v8.3.0.
- [8] 3GPP 36.300, R8, “E-UTRA and E-UTRAN overall descriptions stage”, v8.5.0.
- [9] Sung-won Kim, Kun-yong Kim, “Physical Layer Verification for 3GPP LTE (FDD)”, Advanced Communication Technology, ICAC 2009, Vol. 02, Feb 2009, pp. 1095-1100
- [10] Toskala A., Holma H., Pajukoski K, Tirola E. “Utran Long Term Evolution in 3GPP”, PIMRC 2006, Sept. 2006, pp. 1-5
- [11] Yingming Tsai, Guodong Zhang, Grieco D, Ozluturk F, “Cell search in 3GPP long term evolution systems”, Vehicular Technology Magazine, vol. 2, June 2007, pp. 23-29
- [12] Farooq Khan, “LTE for 4G Mobile Broadband”, Cambridge, 2009
- [13] Stefania Sesia, Issam Toufik and Matthew Baker, “LTE - The UMTS Long Term Evolution”, Wiley, 2009
- [14] David W. Matula and Leland L. Beck, “Smallest-last ordering and clustering and graph coloring algorithms”, Journal of the ACM (JACM), vol.30, no.3, July 1983, pp. 417-427

약 력



이 호 재

2008년 경희대학교 전자정보공학부 공학사
 2008년 - 현재 연세대학교 전기전자공학부 석박사 통합과정
 관심분야: Femto Network System, Ubiquitous Sensor Network, MIMO-OFDM Cellular System, Cooperative System



오 희 석

2003년 - 현재 연세대학교 전기전자공학부 학사과정
 관심분야: Femto Network System, MIMO-OFDM Cellular System



이 상 훈

1989년 연세대학교 전자공학과 공학사
 1991년 KAIST 전자공학과 공학석사
 1991년 - 1996년 KT 전임연구원
 1999년 - 1999년 Bell Labs, Lucent Technologies, Member of Technical Staff
 2000년 University of Texas Electrical Engineering 박사
 2000년 - 2002년 Lucent Technologies, Member of Technical Staff
 2003년 - 2007년 연세대학교 전기전자공학과 조교수

2007년 - 현재 연세대학교 전기전자공학과 부교수
 관심분야: Femto Network System, Ubiquitous Sensor Network, MIMO-OFDM Cellular System, Cooperative System, Multimedia Communication System, Multi-hop Network System, Cognitive Radio System



임 재 원

2002년 한성대학교 컴퓨터공학과 공학사
 2006년 연세대학교 컴퓨터공학과 공학석사
 2006년 - 현재 LG전자, 주임연구원
 관심분야: 이동 통신 MAC Layer, SON, Femto Network System, Ubiquitous Sensor Network, LBS



김 병 훈

1994년 서울대학교 전자공학과 공학사
 1996년 서울대학교 전자공학과 공학석사
 2000년 서울대학교 전기전자공학부 공학박사
 2000년 - 2003년 GCT Semiconductor, Staff Engineer
 2003년 - 2008년 Qualcomm, Senior Staff Engineer/Manager
 2008년 - 현재 LG전자, 상무/연구위원
 관심분야: 이동 통신 Physical Layer, Cross Layer 설계, Relay, 협력 통신, MIMO, SON, WLAN