

이종 네트워크에서의 간섭 제어 분석

김성의*, 김기수*, 홍인기°

Analysis on Interference Control in Heterogeneous Networks

Seong-eui Kim*, Ki-su Kim*, Een-kee Hong°

요약

본 연구에서는 Heterogeneous Network에서의 간섭제어에 관한 기술 동향을 살펴보고, 간섭 제어 기술 중 3GPP release 10에서의 주요 기술 enhanced Inter-Cell Interference Coordination (enhanced ICIC, eICIC)을 택하여 성능을 분석해 보았다. eICIC기술 중 시간영역에서의 간섭 제어인 Almost Blank Subframe (ABS)와 Cell Range Expansion (CRE) 기술에 의한 성능을 분석하였다. Heterogeneous Network에서 macrocell과 femtocell 간의 간섭 제어를 적절히 하기 위해서는 ABS기술과 CRE 기술 간의 조합이 중요할 것으로 보인다. Heterogeneous Network의 전체 성능 평가는 정량적으로는 분석되기 어려운 system level simulation에 의해서 평가하였다. 본 연구에서는 SLS 방식으로 다양한 환경에 대한 성능을 분석함으로써 Heterogeneous Network 운영에 있어 각각의 요소가 미치는 영향을 파악할 수 있도록 하였으며, Heterogeneous Network에서의 ABS와 CRE의 결합에 의한 효과를 분석하였다.

Key words : LTE-Advanced, Heterogeneous network, CoMP, eICIC, ABS.

ABSTRACT

In this paper, we introduce the technologies to handle the interference in the heterogeneous network and evaluate the performance of enhanced Inter-Cell Interference Coordination (enhanced ICIC, eICIC) techniques that are being introduced in 3GPP Release 10. In the time-domain eICIC scheme, time-domain resources are scheduled to avoid the interference by using Almost Blank Subframe (ABS) and Cell Range Expansion (CRE). To mitigate the cross-tier interference between macro and femtocell, it is important to efficiently combine the ABS and CRE in heterogeneous network. Since it is hard to evaluate the total throughput of heterogeneous network numerically, we evaluate the total throughput by using system level simulation (SLS). As a result of evaluation, the throughputs of many different cases of combination of ABS and CRE are compared.

I. 서론

3GPP에서는 Long-Term Evolution (LTE)을 Release 8으로서 초기 LTE 기술로 정의하였다. 이후 LTE-Advanced 요구조건에 따라 LTE-Advanced는 Release10 또는 그 이후의 기술에 대한 시작단

계이며, 특히 Heterogeneous network 환경은 기존의 매크로셀 환경보다 시스템 성능을 더욱 향상 시켜줄 수 있다는 점에서 매우 활발하게 거론되고 있다. Heterogeneous Network 환경에서 펌토셀, 피코셀 릴레이 같은 저전력 노드들은 매크로셀 전역에 자리 잡고 있으며, 일반적으로 임의 배치가 된다.

※ 본 연구는 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 20120025926)

♦ 주저자 : 경희대학교 전자전파공학과 이동통신 연구실, yoco0405@khu.ac.kr, 학생회원

♦ 주저자 : 경희대학교 전자전파공학과 이동통신 연구실, zpzki@khu.ac.kr, 학생회원

° 교신저자 : 경희대학교 전자전파공학과 이동통신 연구실, ekhong@khu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-12-565, 접수일자 : 2012년 12월 12일, 최종논문접수일자 : 2013년 2월 21일

LTE-Advanced에서 Heterogeneous Network라는 단어는 다른 종류의 노드들이 혼재되어 사용되는 것으로 정의한다. 저전력 노드들 중 피코셀의 도입 이후, 핫스팟 지역이나 전체 시스템 용량을 증가시키는 것으로 높은 트래픽 양을 효과적으로 수용할 수 있다.

하지만 송신 전력의 차이로 생기는 두 가지 문제점이 있다. 첫 번째로 상향링크, 하향링크의 불균형 문제이다. 단말이 자신의 RSRP(Reference Signal Received Power)가 최대인 셀을 서빙 셀로 선택할 때, 매크로셀과 피코셀의 송신전력 차이로 인해, 매크로셀 하향링크 커버 지역은 피코셀의 것보다 훨씬 더 넓다. 반면, 상향링크에서는 송신기가 단말이기 때문에, 송신 전력 차이 문제는 영향을 미치지 않는다. 따라서 하향링크에서의 최적의 셀 선택 기법은 상향링크와는 다르다. 그런 상황에서 몇몇 단말기는 피코셀이 최적의 셀임에도 불구하고, 매크로셀에 접속한다. 그런 단말들은 피코 셀에게 심각한 간섭 문제를 유발할 수 있다. 그 결과, 전체 네트워크 성능은 극심하게 떨어질 것이다. 두 번째 문제로 매크로셀에 접속한 단말들보다 피코셀에 접속된 단말이 매우 적다는 것이다. 이것은 자원 활용도 면에서 매우 효과적이지 못하다. 이런 문제점들을 극복하기 위해서 단말들에게 핸드오버 기준을 설정해주는 것으로 해결할 수 있다. 이런 기법을 Cell Range Expansion(CRE) 라고 부른다. 하지만 CRE로 위의 문제점들을 해결할 수 있다고 하더라도 하향링크에서는 여전히 문제점들이 남아있다. 매크로셀의 송신 신호 전력이 피코셀의 것보다 크기 때문에, CRE 기법을 사용하여 피코셀에 접속한 단말들은 매크로셀로부터의 심각한 간섭을 겪는다. 따라서 CRE는 상향링크 관점에서는 성능 향상을 도모할 수 있다¹⁾.

본 논문에서는 하향링크에 더 중점을 두고 있으며, enhanced ICIC 기법이 간섭 문제를 해결하는데 효과적이다. 이 기법에는 frequency-domain ICIC와 time-domain ICIC 두 가지 기법이 존재한다. Frequency-domain ICIC를 구현하기 위해서는 2개의 component carriers(CCs)가 사용된다. 본 논문은 time-domain ICIC 기법에 초점을 맞췄으며, 매크로셀에서는 피코셀에 접속한 단말로의 송신을 제어하여 단말에 대한 간섭을 줄이도록 하였다. 이러한 방법으로 CRE와 eICIC 기법의 조합은 시스템 성능을 향상시키는데 보다 효과적일 것이다.

본 연구에서는 이러한 간섭을 통제 및 제거할 수

있는 기법들을 분석하고, 각 기술 간의 장단점을 비교 분석하는 것을 목표로 한다. 아울러, 이들 간섭 기법들의 성능을 더욱 향상시킬 수 있는 알고리즘을 개발하고 그 성능을 평가하는 것을 목표로 한다.

II. 본 론

2.1. Heterogeneous Network

스마트폰과 태블릿 PC, 여러 전자기기 등의 사용이 증대되면서 네트워크의 용량 확대가 화두가 되고 있다. 많은 문서들과 프로젝트들이 진행되면서 용량을 늘리기 위한 기술들에 대한 관심이 커지면서 최근 이기종 네트워크가 가장 중요한 최신 기술로 언급되고 있다. 이기종 네트워크(heterogeneous network)는 macro-cell안에 LPN(low power nodes)가 자리 잡게 되는 기술로, LPN의 종류로는 micro-cell, pico-cell, femto-cell, relay, remote radio head(RRH)가 있다. Heterogeneous network는 macro-cell이 서비스하는 지역에서 가장자리 영역이나 데이터 트래픽이 심하게 몰리는 영역, 음영 지역 등에서도 데이터를 효율적으로 보낼 수 있도록 하는 통신 환경을 형성한다.

HetNet의 여러 네트워크에 대해 설명하도록 한다.

2.1.1. Macro-cellular networks

LTE에서는 enhanced NodeB(eNB)라고 부르며 수 킬로미터의 넓은 커버리지를 가지고 누구나 접근할 수 있는 권한을 제공한다. 보통 최소 전송률을 보장해주고 수 천 명의 사용자들에게 서비스를 제공한다.

표 1. 이기종 네트워크에서 운용되는 다양한 기지국
Table 1. Specification of different elements in HetNet.

Type of nodes	Transmit power	coverage	backhaul
Macro-cell	46dBm	Few km	S1 interface
Pico-cell	23-30dBm	< 300m	X2 interface
Femto-cell	< 23dBm	< 50m	Internet IP
Relay	30dBm	300 m	Wireless
RRH	46dBm	Few km	Fiber

2.1.2. Pico-cells

저전력으로 서비스하는 cell로 macro-cell과 같은 backhaul과 접근 권한 특징들을 가지고 있다. 방향성을 가지고 있는 macro-cell과 달리 기지국을 중심으로 수십 명의 사용자들 집중적인 서비스를 제공하며 range는 300m이내이다. Pico-cell은 주로 실내외 사이의 빈틈에 있는 macro-cell 사용자들 위해 제공되어 cell 용량을 이용하도록 한다.

2.1.3. Femto-cells

Home BS 또는 home eNB로 알고 있는 femto-cell은 적은 비용과 저전력, 사용자가 개인적으로 설치하고 DSL(digital subscriber line)이나 cable, fiber등의 광대역 연결을 통해 data traffic을 발생시킨다. 열 명 정도의 사용자가 사용하며 집이나 기업 등에서 사용된다. 일반적으로 femto-cell range는 50m 이내이며 누구나 접근할 수 없는 CSG(closed subscriber group)을 형성한다.

2.1.4. Relays

주로 macro-cell의 기지국과 기지국으로부터 멀리 있는 사용자 또는 반대의 경우를 가진 링크의 통신을 돕기 위해 라우터 역할을 하는 접근 포인트이다. 이로 하여금 신호의 세기를 높이고 신호 세기가 약한 지역과 음영 지역 등에 존재하는 네트워크를 이용하는 사용자의 수신 효율을 증가시킨다.

2.1.5. RRH

RRH의 기지국은 macro-cell의 기지국으로부터 많이 떨어진 곳에 설치되고 macro-cell의 기지국보다 크기가 작고 설치가 간단하다. 광케이블로 연결되어 있기 때문에 안테나 케이블에 의한 전력 손실을 줄일 수 있고, 전력 소비 또한 줄일 수 있다. operator들이 네트워크를 유동적으로 구성할 수 있는 장점이 있다.

2.2. 협력통신^[2,3]

LTE-Advanced release 11에서 검토하고 있는 협력통신에 대한 시나리오는 그림 1에 나와 있는 것처럼 4가지를 들 수 있다. 시나리오 1과 2는 모두 동일한 크기의 macro-cell이 존재하는 동종 네트워크를 가정하고 있다. 시나리오 1은 한 기지국 내의 섹터 간 협력통신이 이루어지는 경우이다. 시나리오 2는 기지국 사이에 광케이블이 존재하는 상황에서 기지국 간 협력통신이 이루어지는 경우이다. 하지만 시나리오 2의 경우 구현상의 어려움이 있다. 시나리오 3과 4는 heterogeneous network를 가정하고 있

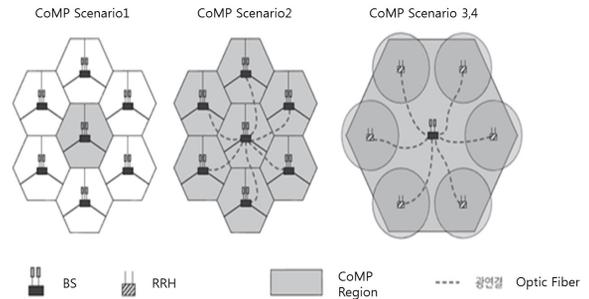


그림 1. 협력통신 시나리오
Fig. 1. CoMP Scenario

으며 macro-cell내에 존재하는 고전력 또는 저전력 RRH간의 협력통신이 이루어지는 경우이다. 저전력 RRH가 각각의 cell ID를 갖는 경우와 저전력 RRH와 macro-cell가 같은 cell ID를 가지는 경우로 시나리오 3과 4를 구분할 수 있다.

협력 통신 기술 발전 이슈에 대해서 설명한다.

2.2.1. Self-organization

Pico-cell이나 femto-cell 같은 여러 cell들은 operator에 구속되지 않고 사용자에게 의해 형성되는데 이를 self-organization이라고 한다.

Heterogeneous network에서 self-organizing은 여러 타입의 cell들과 함께 복잡하게 얽혀 있으며 네트워크에서 고려해야 할 요소들이 증가하게 된다.

2.2.2. Backhauling

셀에 존재하는 여러 종류의 저전력 cell들에 의해 생기는 복잡한 지형 때문에 heterogeneous network에서의 Backhaul network 구현은 가장 큰 이슈가 되고 있다. Operator는 효율적이고 QoS를 보장해 주기 위한 해결책으로 heterogeneous network에서의 backhaul 구현을 필요로 하고 있다.

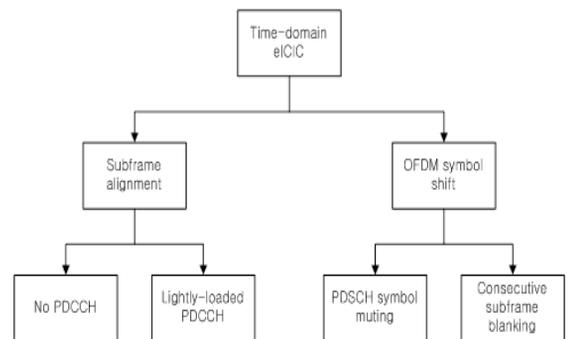


그림 2. 시간 영역 eICIC 기법의 종류
Fig. 2. Categorization of the time-domain eICIC solutions

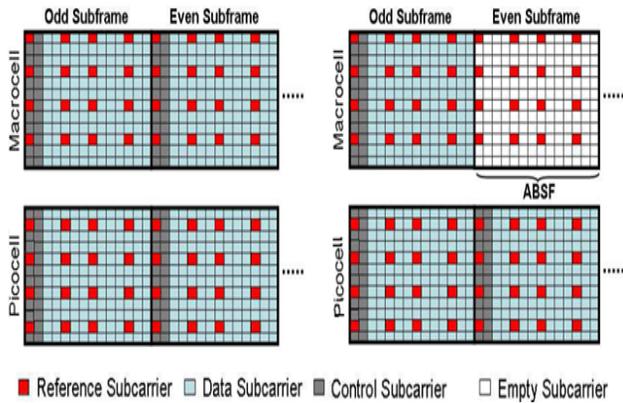


그림 3. 매크로 셀 과 피코셀의 서브프레임 eICIC 적용 전(좌), eICIC 적용 후(우)
 Fig. 3. Macro-cell and pico-cell subframes without any eICIC (좌) and with eICIC(우)

2.2.3. Handover

Handover는 트래픽 로드의 균형과 인접 셀 또는 겹치는 셀들과의 효율적인 서비스를 제공하기 위한 기술이다. 그럼에도 불구하고 많은 수의 작은 셀들과 여러 타입의 backhaul 연결들 때문에 생기는 시스템 부하 또한 무시할 수 없다 게다가 handover 기술이 실패할 확률로 인해 사용자의 연결이 끊길 확률 또한 높아지는 문제점이 있다.

2.2.4. Interference

Homogeneous network와는 달리 여러 네트워크가 혼잡해 있는 heterogeneous network에서는 하나의 셀 안에서도 pico-cell, femto-cell, RRH 등 여러 네트워크에 의해 생기는 cross-tier과 intra-tier 간섭 문제가 생긴다.

2.3. enhanced Inter-Cell Interference Coordination(eICIC)^[4,5,6,7]

전송시간 구간의 일부를 매크로셀이 전송하지 않게 설정하고 이 구간에서 피코셀들에서 데이터 전송을 수행하게 성능을 개선하는 기술인 eICIC를 구현한다.

eICIC 기술은 heterogeneous network에서 간섭 문제가 크게 화두 됨에 따라 기존 release 8, 9에서 사용되던 ICIC기술을 더 발전시켜 최근 release 10에서 논의되고 있는 기술이며 시간 영역 eICIC와 주파수 영역 eICIC, 전력 제어 eICIC 이렇게 3가지로 분류 되고 있다.

2.3.1. 시간 영역 eICIC

시간 영역에서의 eICIC 기술은 몇 명의 UE들이

다른 node들로부터의 간섭을 줄이기 위한 수단으로 전송 시간 구간의 일부분을 할당 받지 못하게 된다. 이는 두 가지 방법으로 설명할 수 있다.

2.3.1.1. Subframe alignment

Macro-cell과 pico-cell의 subframe에 실리는 제어 채널과 데이터 채널은 그림 3과 같이 서로 겹치게 된다. 따라서 pico-cell이 macro-cell의 UE로부터 받는 간섭을 줄이기 위한 방법으로 Almost Blank Subframes(ABS)을 적용시킬 수 있다. Macro-cell의 downlink 간섭이 사라짐에 따라 pico-cell은 serving 영역을 확장시킬 수 있고, macro-cell로부터의 subframe이 겹침에 따라 생기는 간섭 문제는 그림 3과 같이 ABS를 macro-cell에 사용함에 따라 개선 될 수 있다.

2.3.1.2. OFDM symbol shift

시간 영역에서의 eICIC 기술의 두 번째는 femto-cell의 제어 채널과 macro-cell의 제어 채널이 서로 겹치지 않도록 Home eNB의 OFDM symbol을 shift시키는 방법이다. 그림 4와 같이 제어 채널을 보호하기 위해 MeNB의 제어 채널 영역만큼 HeNB에서 OFDM symbol을 shift 시켜주게 된다. 이렇게 함으로써 HeNB의 CRS 또는 제어 채널의 간섭을 줄일 수 있다. 물론 macro-cell의 제어 채널과 femto-cell의 데이터 채널간의 간섭은 존재하게 된다.

이 문제를 해결하기 위해서는 PDSCH의 symbol muting하는 방법과 femto-cell의 subframe들에 ABS를 사용하는 방법이 있다.

2.3.2. 주파수 영역 eICIC

주파수 영역에서의 eICIC 기술은 제어 채널과 물리적인 신호(동기 신호 등)이 서로 다른 셀 간의 간섭을 줄이기 위해 완전히 직교 전송이 될 수 있도록 할당 받은 주파수 대역에 scheduling 되는 것이다.

2.3.3. 전력 제어 eICIC

가장 지배적인 간섭 처리에 대해 3GPP에서 중요하게 언급된 마지막 접근 방식은 Femto-cell 각각에서 다른 전력 제어 방식을 적용하는 것이다. Femto-cell에서의 방사 전력을 감소시킨다면, 희생되는 MUE들의 성능은 상당히 향상될 것이다.

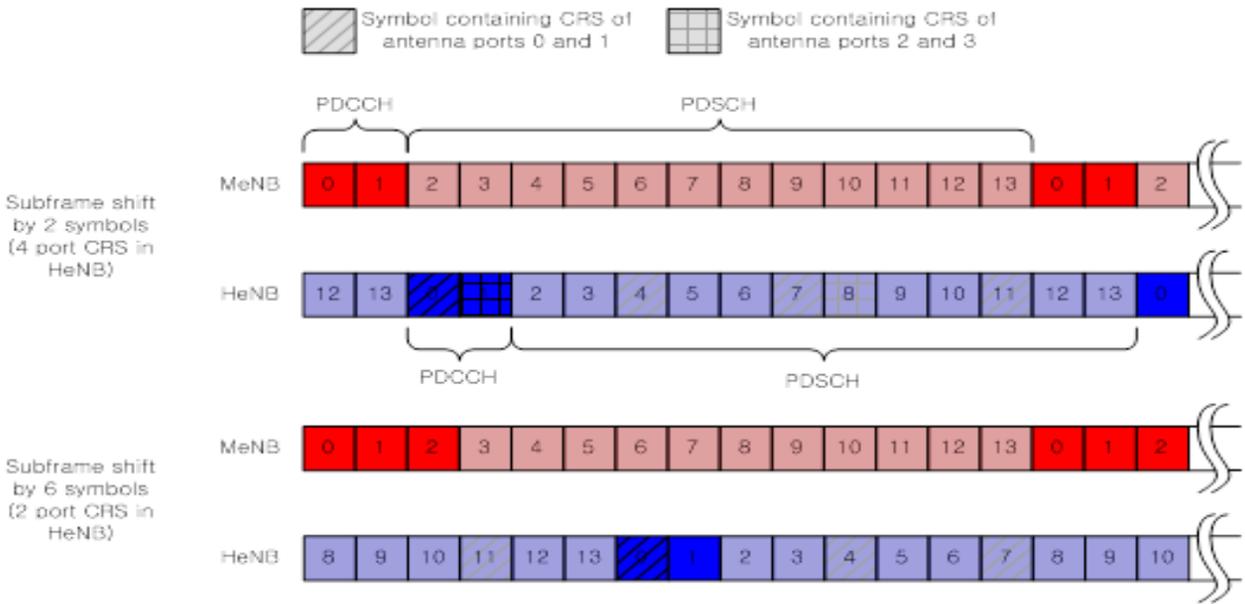


그림 4. 매크로 셀 기지국과 홈 기지국의 OFDM 심볼 쉬프트의 예
 Fig. 4. Some examples of OFDM symbol shift between MeNB and HeNB

III. 실험

이 논문에서 주로 다룰 기술은 시간 영역에서의 eICIC 기술이다. Heterogeneous network에서 macro-cell과 pico-cell이 공존함에 따라 제어신호와 데이터가 서로 간섭을 야기하게 된다. 따라서 macro-cell이 특정 시간 구간에만 전송을 하게 된다면 macro-cell로부터 받는 간섭을 줄일 수 있게 되어 pico-cell의 성능을 개선시킬 수 있다.

3.1. Simulation cases

3.1.1. Based technique

협력 통신을 하지 않았을 때 가장 기본적인 Heterogeneous network의 전송 방식이다. Macro-cell과 pico-cell이 독립적으로 스케줄링하고 이에 따른 간섭이 생기게 된다.

3.1.2. ABS 구간 rate에 따른 eICIC

이 방식은 전송시간 구간의 일부를 macro-cell이 전송하지 않게 설정하고 이 구간에서 pico-cell에서만 전송하도록 설정하는 방식이다. 이렇게 전송하지 않도록 하는 구간이 ABS라고 하는데, macro-cell에 ABS를 적용하게 되면 ABS가 적용된 구간, 즉 macro-cell이 전송하지 않는 구간에서 pico-cell이 전송할 때는 macro-cell으로부터의 간섭을 피할 수 있다. 논문에서는 ABS의 빈도수를 다르게 설정하여 ABS rate에 따른 성능을 확인해보도록 한다.

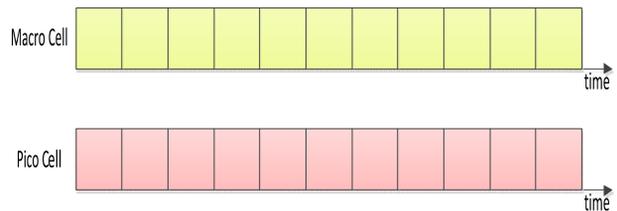


그림 5. 이기종 네트워크에서의 전송 방식
 Fig. 5. Transmission of heterogeneous network

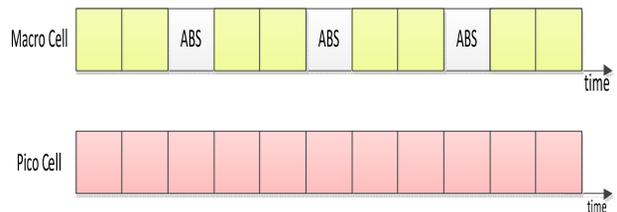


그림 6. ABS를 운용하는 매크로 셀의 전송 방식
 Fig. 6. Transmission of ABS from macro layer

3.1.3. Range expansion에 따른 eICIC

일반적으로 Homogeneous network에서 UE가 가장 큰 제어신호의 수신 전력(reference signal received power, RSRP)을 제공하는 eNB를 선택했던 것과 마찬가지로, heterogeneous network에서는 macro-cell과 pico-cell 중 UE의 serving cell은 RSRP에 의해 측정된 값으로 결정된다.

Pico-cell은 낮은 전송 전력 때문에 pico-cell을 serving-cell로 잡는 UE가 적게 되는 결과를 가지게 된다. Range extension은 RSRP-based의 serving

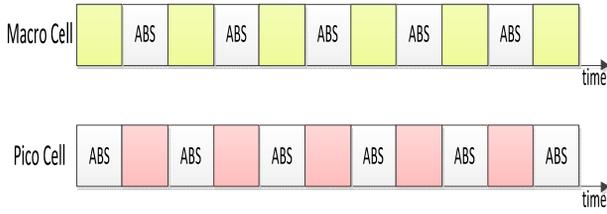


그림 8. ABS를 운용하는 매크로 셀과 피코셀의 전송방식
Fig. 8. Transmission of ABS from macro and pico layer

cell 선택인 이중 네트워크 시나리오에서 pico-cell에 positive offset을 더하여 pico-cell로부터의 RSRP 값을 크게 하여 pico-cell을 선택하는 UE의 수를 늘리도록 하는 기술이다. 아래와 같은 식을 적용할 수 있다.

$$j_{selected} = \operatorname{argmax}\{RSRP_{1 \leq i \leq \#macro}, RSRP_{macro+1 \leq i \leq \#macro+\#pico} + RE_{offset}\} \quad (1)$$

이 방식을 Range Extension(RE)라고 한다. 더 많은 UE들이 pico-cell을 선택하게 되는 것을 그림 7¹¹⁾에 나타내었다.

RE는 eICIC를 하지 않을 경우에 pico-cell의 낮은 SINR을 갖는 UE의 성능을 높여주게 된다. 하지만 pico-cell에 offset을 줄 경우 macro cell에 큰 간섭을 줄 수 있으므로 macro-cell로부터의 간섭을 피하기 위해 macro-cell에 ABS를 적용하듯이 pico-cell에도 ABS를 적용하여 macro-cell이 pico-cell로부터 받을 간섭을 없애주도록 한다. 그림 8은 macro-cell과 pico-cell이 시간 영역으로 번갈아가면서 ABS를 적용하여 전송하는 것을 나타낸다.

3.2. Simulation parameters

시뮬레이션 파라미터는 표 2와 같다.

3.3. Simulation results

3.3.1. No ABS vs. No pico-cell

Pico-cell이 없는 homogeneous network와 pico-cell을 집어넣은 heterogeneous network를 비교하였을 때 UE의 수가 동일함에도 불구하고 heterogeneous network에서의 user throughput이 더 좋지 않은 것은 pico-cell이 생김으로써 pico-cell로부터의 간섭이 생겨 MUE(Macro UE)의 throughput에 영향을 주었다고 볼 수 있다.

3.3.2. ABS rate(1/4, 1/2)에 따른 결과 분석

Macro cell에 ABS를 적용하는 경우에 Pico-cell은 계속 전송하고 있게 된다. 이는 앞에서 설명하였고 그림 9를 참고하도록 한다.

Rate 1/4은 4ms에 한 번씩(1ms) macro-cell에 ABS를 적용하는 것이고, rate 1/2은 2ms에 한 번씩 macro-cell에 ABS를 적용하는 것을 의미한다. ABS의 비율을 0에서 1/4, 1/2로 점차 늘려감에 따라 MUE의 throughput이 안 좋아지고, HUE의 throughput은 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 macro-cell에서 resource를 할당 받는 MUE가 ABS 기술이 macro-cell에 적용되면서 나타나는 현상으로 볼 수 있다. MUE의 경우 ABS 빈도수가 잦아짐에 따라 시간 영역에서의 resource가 줄어들기 때문에 평균 throughput이 안 좋아지는 것이고, HUE의 경우 ABS 빈도수가 잦아짐에 따라 그만큼 macro-cell로부터의 간섭이 줄어들기 때문에 성능이 좋아지는 것을 알 수 있다.

3.3.3. CRE offset(0,6,18[dB])에 따른 결과 분석

Macro-cell과 pico-cell에 ABS를 1/2 rate로 1 프레임(1ms) 마다 번갈아가며 전송하는 경우이다. Macro-cell 전송 시 pico-cell의 간섭이 없고, pico-cell 전송 시 macro-cell의 간섭이 없기 때문에 CRE(cell range extension)기술을 적용하여 offset이

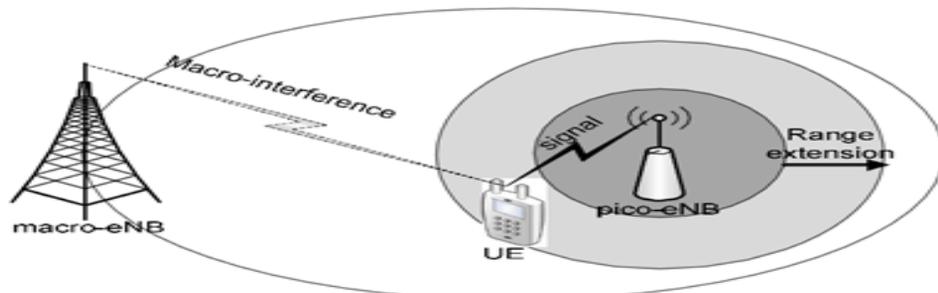


그림 7. 셀 반경 확장 기법을 가진 이기종 네트워크
Fig. 7. Macro and pico heterogeneous network with range extension

표 2. 하향링크 시스템 시뮬레이션 파라미터
Table 2. System simulation parameters for downlink

Simulation parameter	Value
Deployment scenario	3 pico nodes randomly overlaid onto macro-cells(7 cells, 21 sectors wrap-around
Number of UEs	19 per macro-cell sector
Serving cell attachment	RSRP-based
Scheduler	Proportional fairness
Bandwidth	10 MHz
Carrier frequency	2 GHz
Macro cell ISD	500 m
Max macro Tx Power	46 dBm
Max pico Tx Power	30 dBm
Noise figure	9 dB
Macro eNB antenna pattern	3D antenna pattern (3GPP TR 36.814)
Pico eNB antenna pattern	Omni-directional, 2D antenna pattern
Macro eNB antenna gain	14 dBi
Pico eNB antenna gain	5 dBi
Minimum distance between pico cell and macro cell	75 m
Minimum distance between pico cells	40 m
Minimum distance between macro cell and UE	25 m
Minimum distance between pico cell and UE	10 m

0 dB 일 때, 그리고 6 dB, 18 dB 로 바뀌가며 HUE의 성능을 확인해보았다. 우선 offset이 0 dB 일 경우 ABS rate 1/2일 경우와 비교하게 되면 다른 점은 macro-cell 전송 시 pico-cell의 영향이 없다는 점인데, MUE의 경우는 성능이 좋아지고, HUE는 성능이 안 좋아지는 것을 알 수 있는데, 이는 pico-cell의 range가 늘어나면서 macro-cell의 RSRP가 낮은 MUE를 pico-cell이 서비스하게 되어 상대적으로 macro-cell은 성능이 좋은 UE를 서비스하게 되고 pico-cell은 RSRP가 낮은 UE까지 서비스하게 되기 때문이라고 분석할 수 있다.

3.3.4. ABS기술과 CRE기술을 조정했을 때의 user throughput

CRE offset 값을 크게 함에 따라 pico-cell을 serving cell로 선택하는 UE가 늘어나게 되기 때문에 pico-cell의 UE(HUE)들이 MUE로부터의 간섭을 더 적게 받게 하기 위하여 ABS rate를 3/4로 늘려 성능을 확인해 보았다. ABS rate를 1/2에서 3/4로 늘림에 따라 MUE의 경우는 성능이 더 나빠지고 HUE의 경우는 성능이 좋아지는 것을 알 수 있다. 이는 3.1.2.에서 설명한 것과 마찬가지로 ABS구간이 늘어남에 따라 발생하는 결과이고, CRE값이 커짐에 따라 MUE의 성능이 더 좋아지고 HUE의 성

능이 안 좋아지는 것은 상황이 안 좋은 UE들을 pico-cell이 서비스하면서 발생하는 결과이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 Heterogeneous Network에서의 간섭제어에 관한 기술 동향을 살펴보고, 주요 기술로 Almost Blank Subframe (ABS)와 Cell Range Expansion (CRE) 기술에 의한 성능을 분석하였다.

ABS 주기에 따라 Macro 셀 사용자와 Pico 셀 사용자의 성능이 각각 다르게 나타나기 때문에, Heterogeneous Network의 전체 성능 평가는 정량적으로는 분석되기 어려워 system level simulation에 의해서 평가하였다. 또한 CRE의 효과는 Macro-cell과 Pico-cell을 선택할 때 offset 값을 설정하여 Offset값이 커질수록 Pico-cell의 cell range expansion 효과가 커지도록 하여 성능을 분석하였다. CRE의 효과는 ABS의 주기를 얼마로 하느냐에 따라 성능이 달라지는 것으로 나타났다. Heterogeneous Network에서 간섭 제어를 적절히 하기 위해서는 ABS기술과 CRE 기술 간의 조합이 중요할 것으로 보이고, 또한 전체 UE의 수에 따라서도 운영 조건이 달라지는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 SLS 방식에 의한 성능 분석을 위주로 하

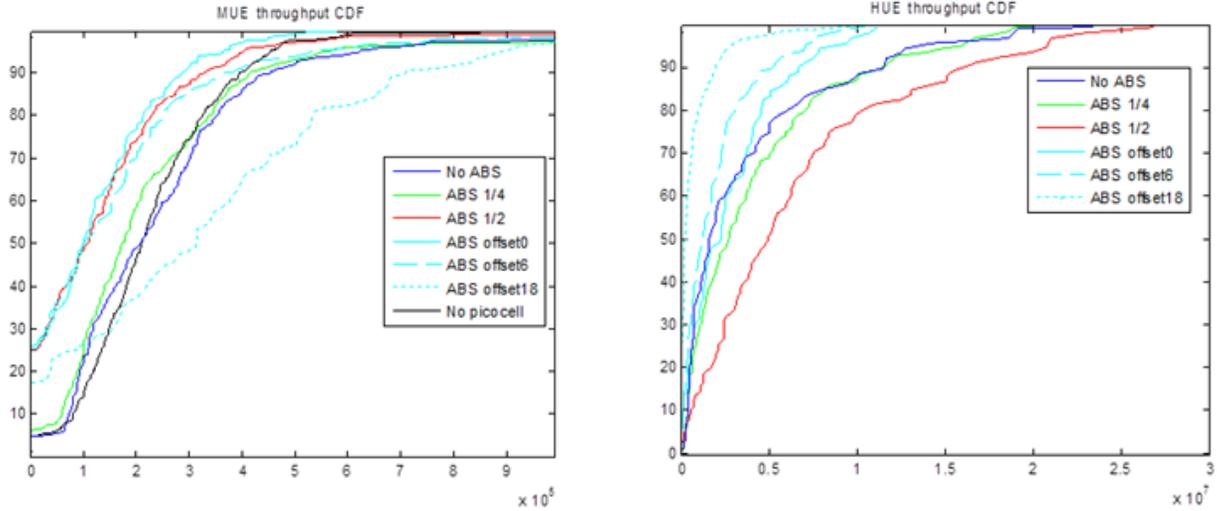


그림 9. ABS의 주기(1/4, 1/2)에 따른 매크로 셀(좌) 과 피코 셀(우)의 사용자 수율[bps]
 Fig. 9. Macro-cell(L) and pico-cell(R) user throughput[bps] for the period(1/4, 1/2) of ABS

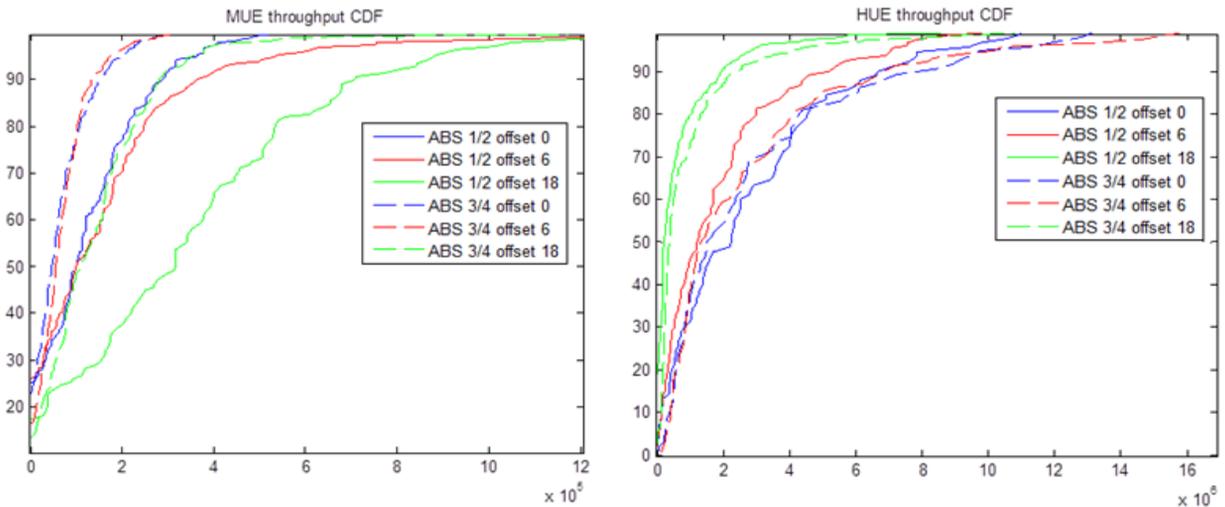


그림 10. ABS의 주기(1/4, 1/2) 및 CRE offset에 따른 매크로 셀(좌)과 피코 셀(우)의 사용자 수율[bps]
 Fig. 10. Macro-cell(좌) and pico-cell(우) user throughput[bps] for the period(1/4, 1/2) of ABS and CRE offset

여 어떤 정성적인 결과를 얻지 못하여, 최적화를 위한 기법까지는 제공하지 못하였으나 다양한 환경에 대한 성능을 분석함으로써 Heterogeneous Network 운영에 있어 각각의 요소가 미치는 영향을 파악할 수 있도록 하였다. 본 연구의 결과로 Heterogeneous Network을 도입했을 때의 효과와 ABS에 따른 macro-cell UE와 pico-cell UE 각각의 성능 및 전체 성능을 파악할 수 있었고, 또한 ABS와 CRE의 결합에 의한 효과를 분석할 수 있었다.

References

[1] M. Shirakabe, A. Morimoto, and N. Miki,

“Performance evaluation in heterogeneous networks employing time-domain inter-cell interference coordination and cell range expansion for LTE-Advanced downlink,” *IEICE Trans. Commun.* vol. no. E95-B, Issue 4, pp1218-1229, Apr. 2012.

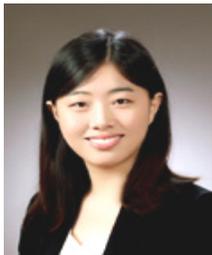
[2] Y.S Kim, H.J. Lee, Y.B. Kim and J.H. Lee, “Analysis on Pperformance and standardization trend in CoMP between transmission point in LTE-Advanced”, *TTA Journal*, vol. 139, pp. 94-99, Jan. 2012.

[3] H.Y. Lee, S.J. Sang, J.B. Park, J.H. Kwon, and K.S. Kim, “Survey on heterogeneous

networks for B4G systems,” *Inf. and Commun.*, vol. 29, no. 8, pp. 17-25 Aug. 2012.

- [4] Y. Wang and K.I. Pedersen, “Performance analysis of enhanced inter-cell interference coordination in LTE-Advanced heterogeneous networks,” *IEEE 76th Vehicular Technology Conference(VTC Spring)*, pp. 1-5, Yokohama, Japan, May, 2012.
- [5] R1-104661, “Comparison of Time-domain eICIC Solutions”, *LG Electronics*.
- [6] A. Ghosh, “Heterogeneous cellular networks: From theory to practice,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. no.50, Issue 6, pp. 54-64, Jun. 2012
- [7] Z. Bharucha, “LTE/LTE-Advanced interference coordination for femtocells,” *DOCOMO Euro-Labs*, 2012

김 성 의 (Seong-eui Kim)



2011년 8월 경희대학교 전자전
파공학과 학사졸업
2013년 2월 현재 경희대학교
전자전파공학과 석사졸업
2013년~현재 LG전자 연구원
<관심분야> 이동통신, eICIC

김 기 수 (Ki-su Kim)



2011년 8월 경희대학교 전자
전파공학과 학사졸업
2011년 9월~현재 경희대학교
전자전파공학과 석사과정
<관심분야> 이동통신, HetNet

홍 인 기 (Een-Kee Hong)



1989년 2월 연세대학교 전기
공학과 학사졸업
1991년 2월 연세대학교 전기
공학과 석사졸업
1995년 8월 연세대학교 전기
공학과 박사졸업
1995년~1999년 SKT 선임연

구원

1999년~현재 한국통신학회 이사
1999년~현재 경희대학교 전자전파공학과 교수
<관심분야> 이동통신, Cross-Layer Optimization