

SON 기반 LTE 시스템에서 수신 신호 세기를 이용한 Physical Cell Identifier 할당 기법

준회원 이 가 희*, 정회원 신 봉 진*, 종신회원 홍 대 형*

A Physical Cell Identifier Allocation Scheme Utilizing Received Signal Strength in SON-based LTE Systems

Gahee Lee* *Associate Member*, Bongjhin Shin* *Regular Member*,
Daehyoung Hong* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 Long Term Evolution (LTE) 시스템에서 새로 설치된 셀이 자율적으로 이웃 셀 정보를 수집하고 Physical Cell Identifier (PCI)를 결정하는 방안을 제안한다. PCI의 수는 한정되어 재사용이 필요하며, 도심 환경에서 Macro 셀 안에 Pico/Femto 셀과 같은 작은 크기의 셀이 다수 설치되면 PCI의 수는 더욱 제한될 것으로 예상된다. 따라서 제한된 수의 PCI를 효율적으로 할당하는 연구가 필요하다. 본 논문에서는 Self-Organization Network (SON) 환경에서 셀이 주변 셀들로부터 오는 수신신호세기를 수집하고, 이를 이용하여 PCI 재사용 효율을 높일 수 있도록 자율적으로 PCI를 할당하는 방안을 제안한다. 모의실험을 구성하여 제안한 방안이 적용된 경우의 성능을 분석하였고, 새로 설치되는 셀의 커버리지 타입에 따른 성능도 도출하고 분석하였다. 제안한 기법을 적용하면 시스템을 운용하는데 필요한 PCI의 수를 줄여 효율적으로 PCI를 재사용할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : Physical Cell Identifier, SON, LTE

ABSTRACT

This paper proposes a self-organizing scheme which collects the information of neighboring cells, and then assigns a Physical Cell Identifier (PCI) for a newly deployed cell in LTE systems. The number of PCIs are limited, so the reuse of PCIs in different cells is unavoidable. In a dense urban environment where many small cells such as Pico/Femto cells are deployed under macro cells, it is expected that the number of PCIs becomes more limited. Therefore, the limited number of PCIs needs to be allocated very efficiently. We propose a PCI allocation scheme for a newly deployed cell that can autonomously select a PCI to increase PCI reuse efficiency by utilizing the levels of received signal strength from neighboring cells. To evaluate the performance of the proposed scheme, simulations have been developed and performed with two scenarios on the coverage types of newly deployed cells. When the proposed scheme is applied, the simulation results show that the number of PCIs required for the operation of the system can be saved so that PCIs can be efficiently reused.

I. 서 론

Long Term Evolution (LTE)과 같은 차세대 이

동통신 시스템에서는 고속의 데이터 전송 서비스를 안정적으로 지원하기 위한 하나의 대안으로 Pico와 Femto 셀과 같은 작은 크기의 셀들이 많이 설치될

* 서강대학교 통신시스템 연구실 ({alive2083, bjshin, dhong}@sogang.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-09-436, 접수일자 : 2009년 9월 29일, 최종논문접수일자 : 2009년 11월 18일

것으로 예상된다. 이에 따라 관리해야할 기지국 수가 많아져 통신 사업자가 기지국을 추가 설치할 때마다 일일이 주변 전파환경을 종합적으로 판단하여 기지국 파라미터 설정 및 최적화를 수행하기가 어렵다. 이에 대한 대안으로 3GPP에서는 LTE 시스템에서 기지국이 환경 변화에 따라 스스로 최적의 파라미터를 계산하고 설정하는 것을 가능하게 해주는 Self-Organizing Network (SON) 기술에 대한 표준화를 추진 중에 있다^[12].

LTE 시스템에 적용하고자 하는 SON 기술로 새로 설치된 E-UTRAN Node B (eNB)가 자율적으로 Physical Cell Identifier (PCI)를 할당하는 방안에 대한 연구가 진행되고 있다^[11,12]. PCI는 새로 설치되는 셀의 초기 구성 파라미터의 하나로 셀을 구별하기 위하여 physical-layer에서 사용하는 셀 ID이다^[12]. LTE 시스템에서 PCI의 수는 504개로 제한되어 있기 때문에 하나의 PCI를 여러 셀에서 재사용해야 한다. 그런데 특정 사용자만이 접속 가능하도록 하는 Closed Subscriber Group (CSG) 셀(e.g. Home eNB)을 지원함에 따라 504개의 PCI 중에 CSG 셀만을 위한 PCI 범위를 지정하여 사용할 수 있도록 하는 방안이 제안되었다^[11,13].

그러나 도심환경에서는 Macro 셀 안에 많은 수의 CSG 셀이 설치될 수 있으며, 그에 따라 CSG 셀을 위해 필요한 PCI 수도 증가하게 된다. 따라서 Macro, Pico 셀 등과 같은 non-CSG 셀이 사용할 수 있는 PCI 수가 줄어들기 때문에 PCI 부족 현상이 나타날 수 있다^[4,17]. 이를 해결하기 위하여 [4]-[6]에서는 시스템에서 지원하는 PCI 수를 증가시키는 방안이 제안되었지만 물리계층 표준의 수정 및 셀 탐색 성능 저하 등의 이유로 현재까지 표준에는 반영되지 않았다^[7]. 따라서 제한된 수의 PCI를 효율적으로 할당하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

LTE 표준에서는 새로 설치된 eNB가 자신의 셀에게 할당 가능한 PCI들의 집합인 candidate PCI list를 구성하고 그 안에서 임의의 PCI를 하나 선택하는 방안을 제시하고 있다^[11]. 이 때, eNB는 주변 셀이 사용하고 있는 PCI 정보를 수집하고, 수집한 PCI들을 제외시킴으로써 주변 셀과 다른 PCI를 할당할 수 있도록 candidate PCI list를 구성한다. 이와 관련하여, [8-10]에서는 eNB가 주변 셀의 PCI 정보를 자율적으로 수집하는 방안으로 UE에게 이웃 셀에 대한 측정을 요구하고 그 결과를 전달 받거나 이웃 eNB와 직접적으로 통신하기 위해 맺은 X2 interface를 통해 이웃 셀의 정보를 수집하는 방안

등을 제안하고 있다. 그러나 candidate PCI list에서 하나의 PCI를 선택하는 방안에 대한 논의는 거의 이루어지지 않았으며 표준에서 제시한 임의의 PCI를 선택하는 방안은 복잡도가 낮지만, PCI 재사용 효율이 떨어질 수 있다.

PCI 재사용 효율을 높일 수 있는 PCI 할당 방법으로 WCDMA 시스템의 scrambling code planning과 같이 cluster 기반으로 PCI를 할당하여 규칙적으로 재사용하는 방안이 있다^[11]. 이 방법은 셀이 추가될 때마다 새롭게 cluster를 구성하기 위한 cell planning이 요구되므로 다양한 크기의 셀이 혼재하고 셀 구성이 자주 변화할 수 있는 LTE 환경에 적용하기에는 무리가 있다. 하지만 이와 같이 동일한 PCI를 사용하는 셀 사이의 간격을 어느 정도 일정하게 유지하도록 PCI를 할당할 경우, 규칙적으로 PCI가 배열될 수 있으며 그 간격을 줄일수록 PCI 재사용 효율을 높일 수 있다.

본 논문에서는 셀이 설치된 환경에서 특정수의 셀을 운용하는 데 요구되는 PCI 수를 줄여 PCI 재사용 효율을 높이는 것을 목적으로 candidate PCI list 내에서 하나의 PCI를 선택하는 방안을 제안한다. 이 때, candidate PCI를 사용하는 주변 셀로부터 수신 신호 세기를 수집하고 이를 이용하여 가급적 동일한 PCI들이 조밀하게 배열될 수 있도록 PCI를 할당한다. 제안하는 방안의 성능을 분석하기 위해 모의실험을 구성한 후, Macro/Pico 셀이 혼재한 환경에서 Macro 셀과 Pico 셀을 운용하는 데 필요한 PCI 수를 도출하고 분석하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성하였다. II장에서는 PCI 할당 시 고려 사항과 표준에서 제시한 PCI 할당 절차를 서술한다. 제안한 수신 신호 세기를 이용한 PCI 할당 기법에 대하여 III장에서 설명한다. IV장에서는 모의실험을 통해 성능을 도출하고 분석하며, 끝으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. PCI 할당 시 고려 사항 및 PCI 할당 절차

PCI 할당 시 고려해야할 사항으로 collision-free와 confusion-free 조건이 있으며, 이 두 가지 조건을 모두 만족시켜 PCI를 할당해야 한다^[219]. Collision은 커버리지가 중첩되는 인접한 두 셀이 동일한 PCI를 사용하는 경우에 발생한다. Collision이 발생할 경우, 두 셀의 커버리지가 중첩되는 지역에서는 User Equipment (UE)가 두 셀 중 어느 한 셀도 인지하기 어려워 통신이 불가능할 수 있다. 따

라서 collision-free 조건을 만족시키려면 이웃한 두 셀은 서로 다른 PCI를 사용해야 한다.

Confusion은 한 셀의 서로 다른 이웃 셀이 동일한 PCI를 사용하는 경우에 발생한다. Confusion이 발생하면 UE가 핸드오버를 수행하는 과정에서 문제를 일으킨다. UE가 동일한 PCI를 사용하는 이웃 셀 중에 하나로 핸드오버를 요청하면 서빙 셀은 어느 셀이 타겟 셀인지를 구분하기 어려울 수 있다. Confusion-free 조건을 만족시키려면 어느 한 셀의 모든 이웃 셀들은 서로 다른 PCI를 사용해야한다.

다음으로 LTE 표준에서 제시한 분산(distributed) 방식의 PCI 할당 절차를 설명한다^{[11][8]}. 그 절차는 3단계로 이루어지며 아래와 같다.

1) OAM로부터 정보 수신

새로 설치된 eNB는 상위 노드인 OAM(Operation and Management)로부터 자신의 셀에 사용 가능한 PCI list를 전달 받는다.

2) Candidate PCI list 구성

새로 설치된 eNB는 OAM으로부터 전달 받은 PCI list로부터 아래의 방법으로 획득한 PCI 중 부적합한 PCI들을 제거하고 남아있는 PCI들로 candidate PCI list를 구성한다.

- UE의 measurement report를 통해 획득
- 이웃 eNB와 맺은 X2 interface를 통해 획득
- eNB의 하향링크 수신기를 통해 획득

3) PCI 할당

새로 설치된 eNB는 2)에서 구성한 candidate PCI list 중에서 임의의 PCI를 하나 선택한다.

III. 수신 신호 세기를 이용한 PCI 할당 기법

본 논문에서는 PCI 할당을 통해 동일한 PCI를 사용하는 셀 사이의 간격을 좁혀 PCI 재사용 빈도를 증가시킴으로써 PCI 재사용 효율을 높일 수 있는 방안을 제안한다. 제안하는 기법은 candidate PCI list가 주어진 상태에서 새로 설치된 셀에 할당할 하나의 PCI를 선택하는 방법을 다룬다. Candidate PCI list는 전체 사용 가능한 PCI 중에서 새로 발생한 셀에게 할당할 경우 collision/confusion을 일으킬 수 있는 PCI를 모두 제외하고 남은 PCI로 구성된다고 가정하였다.

그러나 collision-free와 confusion-free 조건을 만

족시킬 수 있도록 candidate PCI list를 구성하는 것은 새로 설치된 eNB가 주변 셀의 정보를 수집하는 방법에 의해 영향을 받는다. 특히 collision 발생을 방지하기 위하여 이웃 셀이 사용하는 PCI 정보를 획득하는 방법으로 UE의 measurement report가 이용된다. 그러나 셀이 설치된 환경에 따라 UE의 수, UE의 분포 등이 달라질 수 있으며, 이러한 요인으로 모든 이웃 셀을 인지하지 못하는 상황이 발생할 수 있다^[10]. 이와 같이 SON 환경에서 수집하는 주변 셀 정보의 불완전성으로 인해 candidate PCI list 내에 collision을 일으킬 수 있는 PCI가 남아있을 가능성이 있다^[12]. 따라서 제안하는 방안에서는 환경에 따라 파라미터를 조절하여 선택할 수 있는 candidate PCI의 범위를 좁힘으로써 문제를 일으킬 수 있는 PCI가 선택될 가능성을 낮출 수 있도록 하였다.

3.1 PCI 할당을 위한 수집 정보

Candidate PCI list 내에서 하나의 PCI를 선택할 때 동일한 PCI를 사용하는 셀 사이의 간격을 좁히기 위해서는 새로 설치된 eNB가 각각의 candidate PCI를 사용하고 있는 셀 중에 자신과 가장 가까이 위치한 셀이 사용하고 있는 PCI를 선택하여 할당하면 된다. 그러나 eNB가 주변 셀의 정확한 위치 정보를 알기 어려우며 지리적 거리만을 기반으로 PCI를 할당하는 것은 실제 전파 환경을 반영하지 못한다. 이에 대한 대안으로 제안하는 방안은 전파 환경을 반영하고 있는 수신 신호 세기를 주변 셀로부터 수집한다.

새로 설치된 eNB는 먼저 각각의 candidate PCI에 대하여 그 PCI를 사용하고 있는 셀의 Reference Signal Received Power (RSRP) 정보를 수집한다. RSRP는 매 하향링크 서브프레임에 하향링크 채널 추정을 위해 전송되는 cell-specific downlink reference signal의 수신 전력을 말한다. Reference signal의 sequence는 각 셀의 PCI에 의해 결정되므로 각 셀이 사용하는 PCI를 획득하면, 그 PCI를 사용하는 셀의 RSRP를 측정할 수 있다^{[11][3]}. 각 셀의 PCI는 셀이 브로드캐스트하는 synchronization signal에 실려 전송된다. 따라서 candidate PCI에 대한 RSRP를 수집하는 방안으로 eNB에 하향링크 수신기를 설치하고 UE의 cell search 및 measurement 과정과 유사한 과정을 수행하도록 하는 방법이 있다^{[11][8]}.

3.2 하나의 PCI를 선택하는 방법

새로 발생한 셀은 수집한 RSRP 중 식 (1)의 r_{sel} 값을 가지는 PCI를 선택한다.

$$r_{sel} = \text{Max}\{r_i | r_{\min} \leq r_i \leq \alpha r_{\max} + (1-\alpha)r_{\min}\},$$

$$\text{where } 0 \leq \alpha \leq 1,$$

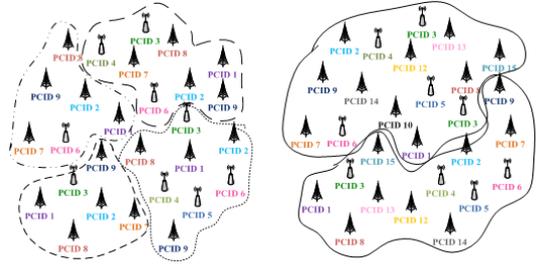
$$r_{\max} = \text{Max}\{r_i | i \in I\},$$

$$r_{\min} = \text{Min}\{r_i | i \in I\}. \quad (1)$$

여기서 I 는 candidate PCI의 집합이며, r_i 는 PCI i 를 사용하는 셀로부터 수신된 RSRP 값이다. 모든 candidate PCI i 에 대한 r_i 중에 최대 RSRP 값이 r_{\max} , 최소 RSRP 값이 r_{\min} 이다. α 가 0 일 때 는 candidate PCI에 대한 RSRP 값 중 최소 RSRP 값을 가지는 PCI를 할당하고 α 가 1 일 때 는 최대 RSRP 값을 가지는 PCI를 할당한다. α 가 0 과 1 사이 의 값을 갖는 경우에는 $\alpha r_{\max} + (1-\alpha)r_{\min}$ 보다 작거나 같은 RSRP를 가지는 PCI 중에 가장 큰 RSRP 값을 가지는 PCI를 할당한다.

파라미터 α 값을 조절하면 동일한 PCI를 사용하는 셀 간의 거리 즉, PCI 재사용 거리가 조절되는 효과를 얻을 수 있다. 수신 신호 세기 값은 shadowing과 같은 전파 환경이 반영되더라도 일반적으로 pathloss에 반비례하는 경향성을 가진다. 따라서 α 값을 크게 설정하여 PCI를 선택하면, 수신 신호 세기가 큰 PCI를 선택하게 되어, PCI 재사용 거리가 줄어드는 효과가 나타나게 된다. 여러 셀들이 동일하게 큰 α 값으로 설정하고 PCI를 할당하게 되면, PCI 재사용 거리가 줄어들어 동일한 PCI들이 조밀하게 배치될 수 있으므로 각각의 PCI 재사용 빈도가 증가하게 된다. 이것은 셀을 운용할 때 사용되는 PCI 수를 줄여 PCI 재사용 효율을 높여준다. 그러나 수신 신호 세기가 큰 PCI를 선택하는 것은 동일한 PCI를 사용하는 다른 셀로부터 오는 간섭을 크게 하여 collision 발생확률을 증가시킬 수 있다. 반대로 α 값이 작은 경우 수신 신호 세기가 작은 PCI를 선택하게 되므로 PCI 재사용 거리가 커진다. 따라서 PCI 재사용 빈도가 감소하여 셀을 운용하는데 사용되는 PCI 수를 증가시킨다. 그러나 동일한 PCI를 사용하는 셀로부터 오는 간섭이 줄어들게 되므로 collision 발생 확률을 낮출 수 있다.

그림 1은 파라미터 α 값 조절에 따라 PCI 재사용 패턴이 달라지는 것을 보여주고 있다. α 값이 큰



(a) α 값이 큰 경우 (b) α 값이 작은 경우
그림 1. α 값 조절에 따른 PCI 재사용 효율 조절의 예

경우 재사용 거리가 작아지기 때문에 PCI 재사용 효율이 증가한다. 새로 추가되는 셀들의 순서와 위치가 불규칙하여 특정 재사용 패턴을 형성할 수는 없지만 α 값이 작은 경우보다 더 적은 수의 PCI로 이루어진 그룹들이 형성되고 그것들이 반복되어 재사용된다. 반면 α 값이 작은 경우, PCI 재사용 효율이 줄어들어 상대적으로 α 값이 큰 경우보다 동일한 수의 셀을 운용하는 데 필요한 PCI 수가 많아진 것을 볼 수 있다. 그러나 PCI 재사용 거리가 증가하여 동일한 PCI를 사용하는 셀로부터 오는 간섭이 줄 것이다. 따라서 셀이 설치된 환경에 따라 α 값을 조절하면 동일한 PCI를 사용하는 셀로부터 오는 간섭이 조절되어 collision 발생 확률을 낮추면서 PCI 재사용 효율을 높일 수 있다.

IV. 성능 분석

모의실험을 구성하여 제안한 PCI 할당 기법의 성능으로 시스템을 운용하는 데 필요한 PCI 수를 도출하고 분석한다. 제안하는 기법에서 α 값 조절을 통해 시스템 운용을 위해 필요한 PCI 수가 달라질 수 있는데 그 범위를 보기 위하여 α 값이 0과 1인 경우의 성능을 도출하고 candidate PCI list에서 하나의 PCI를 임의로 선택하는 방안의 성능과 비교한다. 또한 새로 설치되는 셀이 Macro/Pico 일 때의 성능을 각각 도출한다.

새로 설치된 eNB는 모든 candidate PCI에 대한 RSRP값을 알고 있으며, Macro 셀과 Pico 셀 사이에 collision이 일어나지 않도록 PCI를 셀 타입별로 구분하여 사용하는 것을 가정한다. 즉, 504개의 PCI 중 Macro 셀에게만 할당 가능한 PCI (Macro PCI)의 범위와 Pico 셀에게만 할당 가능한 PCI (Pico PCI) 범위를 구분하여 사용한다^[14]. 또한 candidate PCI list를 구성하기 위해서는 각 셀 타입 별로 사

용되는 PCI 범위에서 새로운 셀에게 할당할 경우 collision/confusion을 일으킬 수 있는 PCI를 제거해야한다. 본 논문에서는 새로 발생한 셀과 주변 셀의 Neighbor Cell List (NCL)를 구성하고 NCL 정보를 이용하여 collision/confusion을 일으키는 PCI를 수집하였다. 각각의 셀이 가지고 있는 NCL은 자신의 셀이 서비스 중인 UE가 핸드오버할 가능성이 있는 이웃 셀들의 목록으로 본 논문에서는 SINR 값을 기반으로 커버리지가 중첩된 이웃 셀들을 모두 포함시켜 구성하였다^{[12][15]}. 따라서 collision을 일으킬 수 있는 PCI는 새로 발생한 셀의 NCL에 포함되어 있는 PCI로 볼 수 있다. 또한 confusion을 일으킬 수 있는 PCI는 새로 발생한 셀의 NCL에 포함되어 있는 이웃 셀이 가지고 있는 NCL에 포함된 PCI가 된다.

이미 설치된 eNB들이 동작하고 있는 상황에서 새로운 eNB를 하나씩 순차적으로 발생시키면서 PCI를 할당하고 제한한 기법의 성능을 도출한다.

4.1 모의실험 환경 및 성능 지표

LTE 시스템의 모의실험 주요 파라미터는 [16] [17]에 근거하여 결정하였고 이를 표 1에 나타내었다. Macro 셀은 3개의 섹터 셀을 가지는 것으로 가정하였다.

4.1.1 Macro 셀이 생성되는 경우

그림 2-(a)는 새로운 eNB가 발생하기 전에 이미 동작하고 있는 eNB들의 cell layout을 나타내고 있다. 새로 생성되는 Macro eNB는 중심에 있는 하나의 클러스터(그림 2-(a)의 점선 테두리의 원) 안에 uniform하게 발생하여 기존 cell layout에 추가된다.

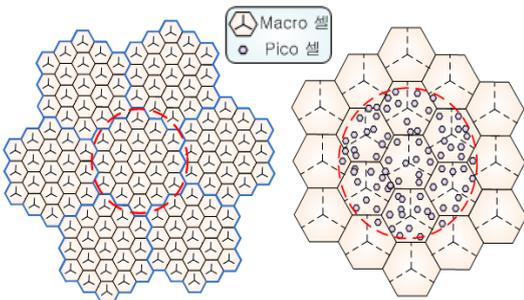
기존 cell layout을 구성하는 셀들의 PCI는 cluster 단위로 동일한 패턴을 이용하여 재사용하고 새로 생성되는 셀들은 기존 셀들이 이미 사용하고

표 1. 시뮬레이션 주요 파라미터

Parameters	values
Center Frequency	2 GHz
System bandwidth	10 MHz
eNB Tx power	Macro: 46 dBm
	Pico: 30 dBm
Distance-dependent pathloss	Macro: $L[dB] = 128.1 + 37.6 \log_{10}(d[km])$
	Pico: $L[dB] = \begin{cases} 39 + 20 \log_{10}(d[m]), & 10 < d \leq 45 \\ -39 + 67 \log_{10}(d[m]), & d > 45 \end{cases}$
Shadowing standard deviation	Macro: 8 dB
	Pico: 10 dB
eNB antenna gain	Macro: 14 dBi
	Pico: 5 dBi
Antenna pattern	Macro: $A(\theta) = -\min \left[12 \left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}} \right)^2, A_m \right]$ $\theta_{3dB} = 70^\circ, A_m = 20dB$
	Pico: omnidirectional
Macro cell 반경	1 km
Macro-Pico eNB의 최소 거리	100 m
Macro-Macro eNB의 최소 거리	500 m
Pico-Pico eNB의 최소 거리	50 m

있는 PCI를 재사용한다. Cluster 크기가 19, 27 셀 일 때의 성능을 도출하였다(그림 2-(a)는 클러스터 크기가 19인 경우만을 나타내었음). 전체 Macro PCI 수는 cluster 크기의 세배로 각각 57, 81개 이다. 3개의 PCI를 하나의 PCI group으로 묶어서, 하나의 eNB에 하나의 PCI group ID를 할당하고 3개의 섹터 셀에 각각의 PCI를 할당한다^[13].

성능 분석 지표로 PCI 부족 발생 비율과 요구 Macro PCI 수를 도출하였다. 모든 candidate PCI가 collision / confusion을 일으키는 PCI인 경우 candidate PCI list가 비어 있는 상태가 된다. 이 경우를 PCI 부족이 발생한 것으로 가정하였다. PCI 부족 발생 비율은 새로 생성된 eNB 수에 대하여 PCI 부족 문제가 발생하여 PCI를 할당 받지 못한 eNB 수의 비율의 백분율로 나타내었다. 요구 Macro PCI 수는 PCI 부족 문제없이 PCI를 할당하기 위해 필요한 최소 PCI 수를 의미한다. Cluster 단위로 PCI를 재사용하면서, 새로운 eNB가 발생 한 뒤 PCI 부족 문제가 생기면 PCI를 추가로 세 개를 더 할당하였다. 요구 Macro PCI 수는 cluster 크기에 따라 결정되는 PCI 수에 추가로 할당한 PCI 수를 합한 것으로 도출하였다.



(a) Macro셀이 생성되는 경우 (b) Pico셀이 생성되는 경우
그림 2. 각 시나리오 별 cell layout

4.1.2 Pico 셀이 생성되는 경우

새로운 Pico 셀이 생성되기 전에 이미 동작하고 있는 Macro 셀의 layout은 그림 2-(b)와 같다. 새로 생성되는 Pico 셀은 그림 2-(b)의 점선 테두리의 원 내부에 uniform하게 발생시켰다. 그리고 Pico 셀에만 할당 가능한 전체 Pico PCI 수를 변경해가면서 모의실험을 하였다. Pico 셀을 하나씩 추가로 발생시킬 때, 새로 발생한 Pico 셀 수가 전체 Pico PCI 수보다 작은 경우 이전에 사용된 적이 없는 PCI를 할당하였다. 모든 PCI가 한 번씩 사용된 이후에는 이미 사용된 PCI를 재사용하여 새로운 셀에게 할당하였다.

성능 분석 지표로 Pico PCI 수에 따른 confusion 발생 비율을 도출하였다. 본 논문에서는 하나의 Macro 셀의 NCL에 동일한 PCI를 사용하는 서로 다른 Pico 셀이 있는 경우 confusion이 발생한 것으로 가정하였다. Candidate PCI list를 구성할 때, 사용가능한 전체 Pico PCI 수에 비하여 하나의 Macro 셀 내에 발생하는 Pico 셀 수가 많은 경우, candidate PCI list가 비어 있게 되는 경우가 발생할 수 있다^[14]. Confusion-free 조건을 만족시키기 위해 이웃 Macro 섹터 셀들의 NCL에 포함된 Pico 셀들이 사용하는 PCI를 제거하게 되는 데 이 때, NCL에 포함된 Pico 셀들이 너무 많아 사용가능한 PCI들을 모두 다 사용하고 있는 경우가 발생할 수 있기 때문이다. 이러한 이유로 선택할 candidate PCI가 없는 경우, collision과 이웃한 Pico 셀 간의 confusion이 발생하지 않도록 candidate PCI list를 다시 구성하여 PCI를 할당하였다. 즉, 새로 발생한 Pico 셀의 NCL과 이웃 Pico 셀의 NCL에 포함된 PCI만 제거하여 candidate PCI list를 구성하였다. 따라서 Macro 셀의 이웃 Pico 셀 간에 동일한 PCI를 사용하는 confusion이 발생할 수 있다. Confusion 발생 비율은 새로 발생한 Pico eNB 중 confusion을 일으킨 eNB 수의 비율의 백분율로 나타내었다.

4.2 Macro 셀이 생성되는 경우 성능 분석

먼저 기존 cell layout에 eNB가 새롭게 추가되면서 나타나는 PCI 부족에 대한 발생 비율을 도출하였다. 표 2에 PCI 재사용 cluster 크기에 따른 PCI 부족 발생 비율을 나타내었다. Cluster 크기가 19인 경우 하나의 eNB를 추가하는 경우에도 PCI 부족 발생 비율이 68%로 매우 높게 나타났다. Cluster 크기가 27인 경우에는 70개의 eNB를 추가하더라도

표 2. Macro PCI 부족 발생 비율

PCI 할당 방안	Macro PCI 부족 발생 비율 (%)	
	Cluster 크기: 19 (Macro PCI 수:57) New eNB 수: 1	Cluster 크기: 27 (Macro PCI 수:81) New eNB 수: 70
Random 할당	68%	0.11%
제안 기법	$\alpha=0$	68%
	$\alpha=1$	68%

PCI 부족 문제가 거의 발생하지 않으며, PCI 할당 기법에 따른 차이가 미미했다. 새로 발생된 eNB들보다 먼저 있던 기존 셀들은 규칙적으로 배치되어 있고 cluster 단위로 PCI를 재사용하고 있기 때문에, 생성된 candidate PCI list의 구성이 비슷하여 각 방안의 성능 차이가 적다. 이 결과만 보면 Macro 셀 운용에 필요한 Macro PCI 수는 81개 이외에 PCI 부족 문제가 발생할 경우 추가적으로 할당할 PCI가 더 필요함을 알 수 있다. Cluster 크기가 27인 경우, 즉 Macro PCI 수가 81인 경우에도 미미하지만 PCI 부족 문제가 발생하고 있기 때문이다.

다음으로 cluster 크기를 19 (Macro PCI 수를 57)로 놓고 새로운 셀이 발생하는 중에 PCI 부족 문제가 발생하면 추가적으로 PCI를 더 할당하는 경우에 대한 성능을 분석하였다. 새로 발생시킨 eNB 수에 따른 요구 Macro PCI 수를 도출하였고 그 결과는 그림 3과 같다. 새로 발생하는 셀 수를 70개 까지 증가함에 따라 요구 Macro PCI 수는 68~71개로 수렴하였다. α 를 1로 하여 제안한 기법을 적용했을 때, 요구 PCI 수가 가장 적었다. α 가 1인 경우, candidate PCI 중에 수신신호 세기가 가장 큰 PCI를 선택하기 때문에 PCI 재사용 거리가 상대적으로 작아질 수 있다. 따라서 동일한 PCI를 더 여러 번 재사용할 수 있으므로 요구 PCI 수가 적어진

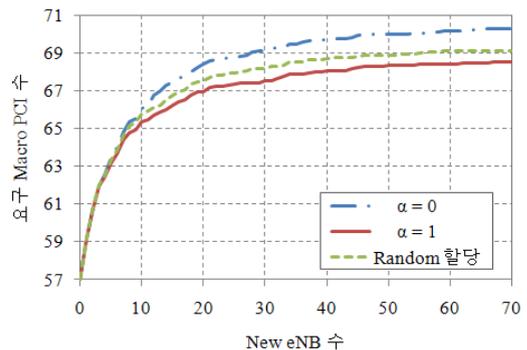


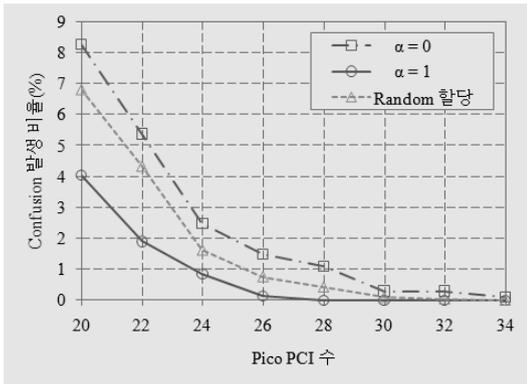
그림 3. New eNB 수에 따른 요구 Macro PCI 수

다. 그러나 PCI 부족 발생 비율 결과에서 분석했던 것과 같은 이유로 PCI 할당 기법에 따른 성능 차이는 적었다.

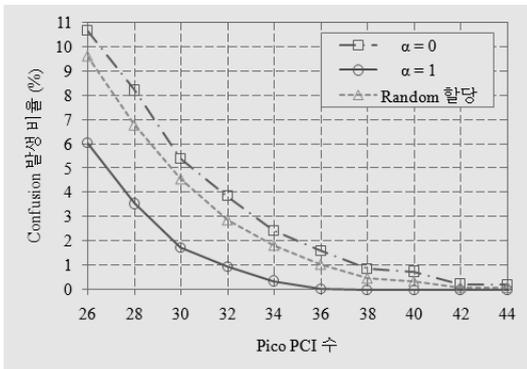
위의 두 결과를 통해 Macro PCI를 재사용할 때 cluster 크기를 19로 재사용하면서 추가적으로 약 13개의 PCI를 사용하는 방안이 cluster 크기를 27로 재사용하는 방안보다 더 적은 수의 PCI로 Macro 셀을 운용할 수 있음을 확인하였다. 따라서 기존 Macro 셀들의 PCI 재사용 패턴은 최소 재사용 거리를 적용하여 할당하고, SON 환경에서 추가되는 새로운 셀들을 위해 일정한 개수의 PCI를 남겨두었다가 PCI 부족문제가 발생하면 추가로 PCI를 할당하는 것이 Macro PCI를 재사용하는 효율적인 방안이라고 할 수 있다.

4.3 Pico 셀이 생성되는 경우 성능 분석

Pico 셀이 사용가능한 Pico PCI 수에 따른 confusion 발생 비율은 그림 4와 같다. Macro 섹터 셀 당 평균 Pico 셀 수가 10개, 20개일 때의 성능



(a) Macro 섹터 셀 안에 평균 Pico 셀 수: 10



(b) Macro 섹터 셀 안에 평균 Pico 셀 수: 20

그림 4. Pico PCI 수에 따른 confusion 발생 비율

을 도출하였다. 이를 통해 Pico 셀 수에 따른 confusion을 방지하기 위해 필요로 하는 요구 Pico PCI 수를 확인할 수 있다. 셀 수가 증가할수록 요구 PCI 수가 증가하였으며, 증가한 Pico 셀 수 대비 증가한 요구 PCI 수의 비율이 거의 비슷함을 볼 수 있다. α 에 따른 성능 차이는 PCI 수가 감소할수록 더 커졌으며, α 가 0, random 할당, α 가 1인 경우 순으로 confusion 발생 비율의 변화가 크다. α 가 1인 경우 요구 PCI 수가 가장 적게 나타났다. 가까이 있는 PCI를 재사용하게 되어 재사용 빈도가 높아졌기 때문이다. 반대로 α 가 0인 경우 요구 PCI 수가 가장 크게 나타났으며, 멀리 있는 PCI를 재사용하게 되어 PCI 재사용 거리가 커졌기 때문이다. 따라서 α 값이 크면, PCI 재사용 효율이 좋아짐을 알 수 있으며 LTE 표준에 기반한 임의의 PCI를 할당하는 기법을 적용한 경우보다 요구 PCI 수가 약 18% 정도 감소함을 확인하였다.

또한 Macro 셀이 생성되는 경우보다 Pico 셀이 생성되는 경우에 α 에 따른 요구 PCI 수의 차이가 컸다. Pico 셀은 불규칙하게 배치되었기 때문에 각 candidate PCI를 사용하는 셀로부터의 수신 신호 세기 값의 차이가 크며, 동일한 셀의 candidate PCI list도 α 값에 따라 PCI를 할당하면서 그 구성이 달라졌기 때문이다.

V. 결론

본 논문에서는 SON 환경에서 PCI 재사용 효율이 높은 PCI 할당 방안을 제안하고, 그에 따른 성능을 분석하였다. 제안한 기법과 기존의 임의로 하나의 PCI를 선택하는 방안의 성능을 비교하기 위하여 각 방안에 따른 Macro와 Pico 셀을 운용하는데 필요한 최소 PCI 수를 도출하고 분석하였다.

모의실험 결과, Macro 셀의 경우에는 각 방안의 차이가 크지 않으며, 기존 셀들은 최소 PCI 재사용 cluster 크기를 적용하여 재사용하면서 새롭게 추가되는 셀들을 위해 어느 정도의 PCI를 남겨두었다가 PCI 부족 문제 발생 시 PCI를 추가로 할당하는 방안이 가장 효율적임을 확인하였다. Pico 셀이 생성되는 경우에는 수신 신호세기가 가장 큰 PCI를 재사용할 때 가장 좋은 성능을 보였으며 Macro 셀의 경우보다 PCI 선택에 따른 성능 차이가 컸다. 특히 Pico 셀의 경우, 제안하는 기법을 적용하면 요구 PCI 수가 임의의 PCI를 할당하는 기법에 비하여 약 18% 가량 감소하였다.

제안한 기법을 통해 시스템을 운용하는 데 필요한 PCI 수를 줄일 수 있음을 확인하였다. 이를 이용하여 이미 운용중인 셀들이 사용하는 PCI 수를 줄일 경우 시스템에 새롭게 추가되는 셀들을 위해 남겨둘 수 있는 여분의 가용 PCI가 생기므로 PCI 부족 문제에 대비할 수 있다. 하나의 PCI는 여러 셀에서 재사용할 수 있기 때문에 가용 PCI가 조금만 증가하여도 증가한 PCI 수에 비하여 더 많은 수의 셀들을 운용할 수 있기 때문이다. 또한 제안한 기법에서 파라미터 조절을 통해 필요한 PCI 수도 조절 가능함을 확인하였다. 제안한 기법을 이용하여 셀이 설치되는 환경과 목적에 맞게 파라미터를 조절함으로써 효율적으로 PCI를 재사용할 수 있을 것이다. 마지막으로 실제 네트워크에서 non-CSG 셀을 운용하는 데 필요한 PCI 수를 결정할 때, 본 논문에서 도출한 요구 Macro/Pico PCI 결과를 활용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP TS 36.300 v8.9.0, "E-UTRA and E-UTRAN; overall description; Stage2," June 2009
- [2] 3GPP TR 36.902 v1.0.1, "E-UTRAN; Self-Configuration and Self-Optimizing Network Use cases and Solutions," Sept. 2008
- [3] Nokia Siemens Networks, "Automated Configuration of Physical Cell Identity," *3GPP TSG-RAN3 meeting #61*, Tdoc. R3-082185, August 2008
- [4] Qualcomm Europe, "Extending the PCI space," *3GPP TSG-RAN1 meeting #53bis*, Tdoc. R1-082540, June 2008
- [5] Infineon Technologies, "Extended PCI set for CSG cells," *3GPP TSG-RAN1 meeting #53bis*, Tdoc. R1-082708, June 2008
- [6] ZTE, "New Solution for CSG-cell Identification," *3GPP TSG-RAN2 meeting #63*, Tdoc. R2-084001, Aug. 2008
- [7] TSG-RAN WG1, "LS reply on CSG cell identification," *3GPP TSG-RAN1 meeting #53bis*, Tdoc. R1-082762, June 2008
- [8] Qualcomm Europe, "Framework for Distributed PCI Selection," *3GPP TSG-RAN3 meeting #61*, Tdoc. R3-081820, August 2008
- [9] Nokia Siemens Networks, "Automatic Physical Cell ID Assignment," *3GPP TSG-SA5 meeting #60*, Tdoc. S5-081171, July 2008
- [10] Nokia Siemens Networks, "Solution(s) to the 36.902's automated configuration of Physical Cell Identity Use Case," *3GPP TSG-RAN3 meeting #59bis*, Tdoc. R3-080812, April 2008
- [11] Y. H. Jung, Y. H. Lee, "Scrambling Code Planning for 3GPP W-CDMA Systems," *VTC 2001-Spring*, May 2001
- [12] M. Amirijoo, P. Frenger et al., "Neighbor Cell Relation List and Measured Cell Identity Management in LTE," *Network Operation & Management Symposium 2008*, pp. 152-159, April 2008
- [13] 3GPP TS 36.211 v8.4.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation," Sept. 2008
- [14] Qualcomm Europe and T-Mobile, "Automatic Physical Cell Identity Selection in LTE: Requirements and Solutions," *3GPP TSG-RAN3 meeting #60*, Tdoc. R3-081090, May 2008
- [15] 3GPP TS 36.331 v8.3.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification," Sept. 2008
- [16] 3GPP TR 25.814 v7.1.0, "Physical Layer Aspects for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA)," Oct. 2006
- [17] 3GPP TR 36.814 v1.0.0, "Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects," Feb. 2009

이 가 희 (Gahee Lee)

준회원



2008년 2월 서강대학교 전자공학과

2008년 3월~현재 서강대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> Self-organizing 네트워크, 이동통신공학

신 봉 진 (Bongjhin Shin)

정회원



2003년 2월 서강대학교 전자공학과

2005년 8월 서강대학교 전자공학과 석사

2005년 9월~현재 서강대학교 전전자공학과 박사과정

<관심분야> Self-organizing 네트워크, 차세대 이동통신 설계 및 성능 분석

홍 대 형 (Deahyoung Hong)

중신회원



1977년 서울대학교 전자공학과

1982년 State University of New York at Stony Brook, Electrical Engineering 석사

1982년 State University of New York at Stony Brook, Electrical Engineering 박사

1977년~1981년 공군 사관학교 교수부

1986년~1992년 (미)Motorola 연구소, Senior Staff Research Engineer

1992년~현재 서강대학교 전자공학과 정교수

<관심분야> 무선통신 시스템, 무선망 설계 및 성능 분석, 무선망 운용 및 제어기술