

# 페토셀 환경에서의 셀 간 간섭 회피를 위한 자기 조직화된 자원 할당 기법

준회원 이 호 석\*, 정회원 남 지 희\*\*, 황 성 호\*\*\*, 종신회원 조 호 신\*\*\*\*°

## A Self-Organized Frequency Allocation for Interference Avoidance in Femto-cell Systems

Ho-seog Lee\* Associate Member, Ji-hee Nam\*\*, Sungho Hwang\*\*\* Regular Members, Ho-shin Cho\*\*\*\*° Lifelong Member

### 요 약

본 논문은 페토셀 환경에서의 셀 간 간섭 회피를 위한 자기 조직화된 자원 할당 기법을 제안하고 컴퓨터 모의 실험을 통해 성능을 평가한다. 두 단계로 이루어진 제안 기법은 선(先) 생성된 페토셀의 기(既) 사용 주파수를 후(後) 생성된 페토셀에게 양보 가능하다는 개념을 도입함으로써 페토셀 등록 실패율을 줄이고 간섭을 회피하는 주파수 할당이 가능하도록 한다. 첫 번째 “초기 주파수 할당” 단계에서 각 페토셀은 생성과 동시에 스캐닝을 통해 인접 페토셀 정보를 수집하고 이 정보를 기반으로 이웃 페토셀과 간섭이 없는 주파수를 사용 주파수로 선택한다. 첫 번째 단계에서 사용 주파수를 획득하지 못한 경우, 생성된 페토셀은 두 번째 “주파수 조정” 단계를 통해 이웃 페토셀이 사용하는 주파수를 조정함으로써 자신이 사용할 주파수를 획득한다. 컴퓨터 모의실험 결과는 등록 실패율 측면에서 제안한 방식이 기존 방식보다 우수함을 보여준다.

**Key Words** : Femto-cell, Interference, Frequency allocation, Self-Organization

### ABSTRACT

In this paper, we propose a self-organized frequency allocation scheme for femto-cell deployment to avoid intercell interference, thereby reducing cell-registration failure. The proposed scheme follows two steps which if necessary manipulate frequency-band reallocation of existing femto-cells to accommodate newly incoming femto-cells. In the first step named “initial frequency allocation”, each femto-cell collects neighboring femto-cells’ frequency usage state by listening the broadcasting channels, and then selects one of interference-free frequency-bands. If no inference-free band is available, the second step named “frequency adjustment” starts, where frequency-band reallocation is properly performed from the aspect of overall performance improvement. Numerical results shows that the proposed scheme outperforms the best SINR scheme, which has been practically applied to femto-cell deployment, in terms of cell-registration failure probability and system overhead.

### s I. 서 론

통신 기술이 발달하고 소비자의 요구가 다양해짐에

따라 차세대 이동 통신 기술은 높은 데이터 전송률과 고품질의 서비스 제공을 요구 받고 있다. 특히 실내에

\* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원과 한국연구재단 지원으로 수행된 연구임(No. 2009-0065766)

\* 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 이동통신 연구실(hoseog@ee.knu.ac.kr), \*\* LG CNS(jhnam0130@lgcns.com)

\*\*\* LIG 넥스원(sungho.hwang@lignex1.com), \*\*\*\* 경북대학교 IT대학 전자공학부(hscho@ee.knu.ac.kr), (° : 교신저자),

논문번호 : KICS2010-07-305, 접수일자 : 2010년 7월 15일, 최종논문접수일자 : 2010년 12월 28일

서의 이동전화 사용 비율이 증가하면서 실내 이동전화의 통화 품질 향상 및 전송률 증대를 위한 연구 또한 활발히 진행되고 있으며 이에 대한 해결책으로 펨토셀(femto-cell)이 주목 받고 있다<sup>11</sup>.

펨토셀은 이미 상용화 되어 있는 광대역 유선 인터넷망을 통해 이동 통신 코어 네트워크에 접속하는 실내용 초소형 기지국(이하 펨토 기지국) 커버리지를 말한다<sup>11</sup>. 펨토 기지국은 기존 무선망 기지국(이하 매크로 기지국)과 동일한 무선 기술을 사용함으로써 사용자에게는 단말기의 교체 없이 실내에서 고품질의 음성통화 및 데이터 서비스를 저렴한 비용으로 제공하고, 사업자에게는 매크로 기지국 설치비용 보다 적은 비용으로 서비스 커버리지를 확대시키는 이점이 있다<sup>12</sup>.

하지만 펨토 기지국을 상용화 하려면 기지국 간 간섭문제, 동기화 문제, 핸드오버 방식 및 기지국 선택 문제 등 여러 가지 기술적 문제를 해결해야 한다. 이들 중에서 특히 기지국 간 간섭문제는 서비스 품질(Quality of Service: QoS)과 관련하여 반드시 해결해야 할 중요한 문제이다. 뿐만 아니라 사용자에 의해 실내에서 간단히 설치되는 펨토 기지국은 그 수를 예측할 수 없고 생성 및 소멸이 유동적이기 때문에 기존 매크로 기지국과 같은 중앙 집중형 방식으로 관리하기에는 어려움이 있다. 이 문제를 해결하기 위해 펨토셀 환경에 자기 조직화 기법(Self-organization)을 도입할 필요가 있다<sup>13</sup>.

따라서 본 논문은 펨토셀 환경에서의 셀 간 간섭 회피를 위한 자기 조직화 된 자원 할당 기법을 제안하고 컴퓨터 모의실험을 통해 성능을 평가한다. 두 단계로 이루어진 제안 기법은 선(先) 생성된 펨토셀의 기(既) 사용 주파수를 후(後) 생성된 펨토셀에게 양보 가능하다는 개념을 도입함으로써 펨토셀 등록 실패율을 줄이고 간섭을 회피하는 주파수 할당이 가능하도록 한다. 첫 번째 “초기 주파수 할당” 단계에서 각 펨토셀은 생성과 동시에 스캐닝을 통해 인접 펨토셀 정보를 수집하고 이 정보를 기반으로 이웃 펨토셀과 간섭이 없는 주파수를 사용 주파수로 선택한다. 첫 번째 단계에서 사용 주파수를 획득하지 못한 경우, 생성된 펨토셀은 두 번째 “주파수 조정” 단계를 통해 이웃 펨토셀이 사용하는 주파수를 조정함으로써 자신이 사용할 주파수를 획득한다. 컴퓨터 모의실험 결과는 등록 실패율 측면에서 제안한 방식이 기존 방식보다 우수함을 보여준다.

본 논문은 I장의 서론에 이어 II장에서는 본 논문에서 고려하는 시스템 모델에 대해 설명하고 펨토셀 환경에서 발생하는 셀 간 간섭 문제를 살펴본다. III장

에서는 II장에서 제기한 문제점을 해결하기 위해 자기 조직화 된 자원 할당 기법을 제안하고 IV장에서의 모의실험과 성능 분석을 통해 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 본 론

### 2.1 시스템 모델

#### 2.1.1 채널 구조 및 채널 사용 방식

본 논문은 IEEE 802.16e 기반의 펨토 기지국(Femto Base Station: FBS) 다수가 공존하는 환경을 고려한다. IEEE 802.16e 기반의 시스템에서는 각 기지국이 이웃 기지국의 정보(셀 ID 및 사용 주파수, 프리앰블 정보 등)를 수집하여 방송한다. 따라서 본 논문의 펨토 기지국 또한 스캐닝을 통해 이웃 기지국 정보를 수집하고 방송함으로써 초기 주파수 할당에 필요한 정보(이웃 펨토 기지국의 셀 ID 및 사용 주파수)를 얻을 수 있다고 가정한다<sup>14</sup>. 이 때, 각 펨토 기지국이 정보를 수집하고 방송하는 영역의 범위를 1홉 거리로 제한하고 간섭의 범위도 1홉 거리 이내라고 가정한다. 여기서 1홉 거리란 각 펨토 기지국에 대해 바로 인접한 펨토 기지국 사이의 거리로 정의한다.

OFDMA 기반의 IEEE 802.16e 시스템에서는 주파수와 시간 모두를 나누어 자원으로 사용한다. OFDMA 시스템에서는 그림 1에서 보는 것처럼 여러 개의 부반송파(Sub-carrier)를 하나의 부대역(Sub-band)으로, 여러 개의 심볼 시간(Symbol time)을 하나의 전송 시간 간격(Transmission Time Interval: TTI)으로 정의하여 할당한다. 즉 자원 할당의 단위가 1(Sub-band) x 1(TTI)이다. 본 논문에서 고려하는 다수의 펨토 기지국이 공존하는 환경에서는 간섭으로 인해 각 펨토 기지국이 전체 주파수 대역을 사용할 수 없다. 또한 펨토 기지국이 TTI 단위로 자원을 이용하게 되면 해당 펨토 기지국을 사용하는 사용자에게 매 TTI마다 사용 주파수 정보를 사용자에게 전달해야 하

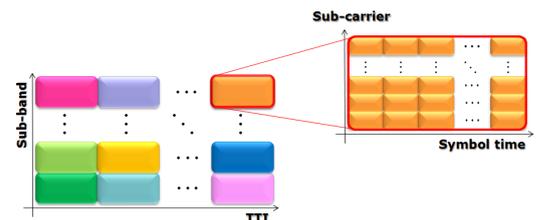


그림 1. 자원 할당 단위.

기 때문에 오버헤드가 급격히 증가하여 자원할당이 원활이 이루어질 수 없다. 따라서 펠토 기지국은 사용 가능한 전체 주파수 대역을 부대역 단위로 나누어 사용하며 각 펠토셀은 한 번에 하나의 주파수 부대역만을 사용한다고 가정한다.

펠토 기지국 간 간섭은 펠토 기지국이 채널을 사용하는 방식에 따라 그 종류가 달라진다. 채널 사용 방식은 Co-channel, Partial co-channel 그리고 Dedicated channel 로 구분된다<sup>5)</sup>. Co-channel은 매크로 기지국과 펠토 기지국이 전체 주파수 대역을 함께 공유하는 방식이며, Partial co-channel은 매크로 기지국은 전체 주파수 대역을 사용하되 펠토 기지국은 그 중 일부분만을 사용하는 방식을 말한다. Dedicated channel은 매크로 기지국이 사용하는 주파수 대역과 펠토 기지국이 사용하는 주파수 대역을 구분하여 사용하는 방식이다. Partial co-channel과 Dedicated channel 방식은 Co-channel 방식에 비해 간섭 발생량을 줄일 수는 있으나 주파수를 나누어 사용함으로써 인해 주파수 사용 효율이 떨어진다. 또한 Co-channel 방식에서 발생하는 간섭을 해결하면 상기 다른 두 방식의 간섭 문제도 해결가능하다. 따라서 본 논문에서는 채널 사용 방식으로 Co-channel 방식을 고려한다.

2.1.2 펠토셀 도입 시 주파수 간섭 문제

동일 주파수를 사용하는 셀 간에 발생하는 주파수 간섭 문제는 시스템 용량 및 서비스 품질과 관련하여 펠토셀 상용화를 위해 반드시 해결해야 할 중요한 문제 중 하나이다. 기존의 시스템에서도 동일 주파수 간섭을 해결하기 위해 이미 많은 연구가 선행 및 진행 중이며 간섭 완화 또는 회피를 위한 여러 주파수 할당 기법이 제안되었다<sup>6)~9)</sup>. 본 논문에서 고려하는 펠토셀 도입 시스템에서는 기존 시스템보다 더 많은 양의 간섭이 발생할 것이라 예상된다. 발생 가능한 간섭 시나리오는 다음과 같다.

Co-channel 방식을 사용하는 매크로셀-펠토셀 공존 시스템에서 발생 가능한 간섭은 링크 방향과 펠토 기지국 (FBS)의 위치에 따라 6가지로 구분할 수 있다<sup>5)</sup>. 그림 2는 이 6가지의 간섭 시나리오를 보여준다. 첫 번째는 매크로 기지국 (MBS)의 송신 신호가 인접 펠토 사용자 (Femto MS :F\_MS)에게 간섭으로 작용하는 경우이고 두 번째는 펠토 사용자의 송신 신호가 매크로 기지국에 간섭으로 작용하는 경우이다. 이 두 가지 경우는 모두 매크로 기지국 가까이에 위치한 펠토 사용자와 매크로 기지국 사이에 발생한다. 세 번째 간섭은 펠토 기지국의 송신 신호가 인접 매크로 사용자

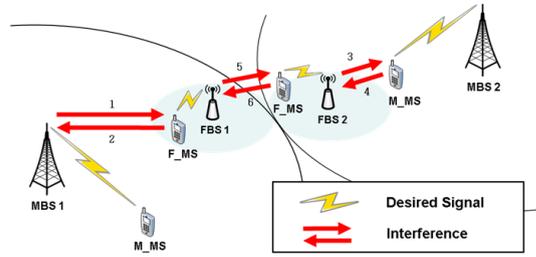


그림 2. 간섭의 종류 및 발생 예.

(Macro MS :M\_MS)에게 간섭으로 작용하는 경우이고 넷째는, 매크로 사용자의 송신 신호가 인접 펠토 기지국에 간섭으로 작용하는 경우이다. 이 두 가지 경우는 매크로 사용자의 위치와는 무관하지만 매크로 사용자와 펠토 기지국 사이의 거리에 반비례하여 간섭의 크기가 결정된다. 다섯 번째와 여섯 번째는 각각 펠토 기지국의 송신 신호가 인접 펠토 사용자에게 간섭으로 작용하는 경우와 펠토 사용자의 송신 신호가 인접 펠토 기지국에 간섭으로 작용하는 경우이며 이는 서로 서비스를 지원하지 않는 펠토 사용자와 펠토 기지국 사이의 거리에 반비례하여 간섭의 영향이 커진다.

이처럼 펠토셀이 도입되면 기존보다 간섭의 양이 더 늘어날 뿐만 아니라 간섭의 종류도 다양해진다. 따라서 간섭 문제를 해결하고 시스템 용량 및 서비스 품질을 향상시키기 위해서는 펠토셀 도입 환경에 맞는 효율적인 주파수 할당 기법이 필요하다.

2.2 제안하는 자원 할당 기법

본제안하는 자기 조직화 된 자원 할당 기법은 중앙 집중형 제어가 아닌 분산 제어로서 생성 및 소멸이 유동적인 펠토셀 환경에 적합하다. 제안하는 자기 조직화 된 주파수 할당 기법은 “초기 주파수 할당”과 “주파수 조정” 두 단계로 나뉘어 수행된다. 각 펠토 기지국은 처음 생성 시 초기 주파수 할당을 통해 자신이 사용할 주파수를 선택하고 이 단계에서 가용 주파수를 선택하지 못했을 경우 주파수 조정을 통해 이웃 펠토 기지국의 사용 주파수를 조정함으로써 자신이 사용할 주파수를 획득한다.

2.2.1 초기 주파수 할당 (1단계)

초기 주파수 할당 단계에서 각 펠토 기지국은 생성과 동시에 스캐닝을 통해 인접 펠토 기지국 정보를 수집하고 이 정보를 기반으로 이웃 펠토 기지국과 간섭이 없는 주파수를 사용 주파수로 선택한다.

2장에서 언급했듯이 본 논문에서는 IEEE 802.16c

표준을 기반으로 하고 있으며 각 펠토 기지국이 수신할 수 있는 최대 거리를 1홉 거리로 제한함으로써 주파수 간섭 범위를 최대 1홉으로 가정한다. 실제로 펠토 기지국은 평균 20mW 이하의 저전력을 사용하고, 주로 건물 내에서 사용되기 때문에 거리뿐만 아니라 건물 벽에 의한 신호의 감쇄가 크게 작용한다. 따라서 간섭 범위를 1홉으로 가정하는 것은 타당하다. 기존 IEEE 802.16e 시스템에서 각 기지국은 자신의 1홉 이웃에 대한 정보를 스캐닝하고 그것을 MOB\_NBR-ADV 메시지를 통해 주기적으로 방송한다<sup>[4]</sup>. 이 때 방송하는 정보는 이웃 기지국의 ID와 각 기지국이 현재 사용 중인 주파수, 프리앰블 정보 등 셀 접속 정보를 포함한다. 제안하는 주파수 할당 기법에서는 상기 셀 접속 정보 중 이웃 기지국의 ID와 현재 사용 중인 주파수 정보를 필요로 한다. 이러한 정보는 핸드오버를 지원하기 위해 기존 시스템에서도 방송하기 때문에 추가적인 부하 없이 본 제안 방식에서 그대로 이용할 수 있다. 결과적으로 각 펠토 기지국은 직접 스캐닝을 통해 자신의 1홉 이웃에 대한 정보를 획득할 뿐만 아니라 MOB\_NBR-ADV 방송 메시지를 통해 자신의 2홉 이웃에 대한 정보도 얻을 수 있다. 본 논문에서는 주파수 조정 단계를 감안하여 보다 효율적인 주파수 사용을 위해 1홉 이웃 펠토 기지국 정보와 2홉 이웃 펠토 기지국 정보 사용한다.

그림 3은 새로 생성되는 펠토 기지국이 수행하는 초기 주파수 할당을 나타낸다. 초기 주파수 할당 단계에서 펠토 기지국은 스캐닝을 통해 간섭 범위인 1홉 내 이웃 펠토 기지국의 사용 주파수 정보를 획득하고

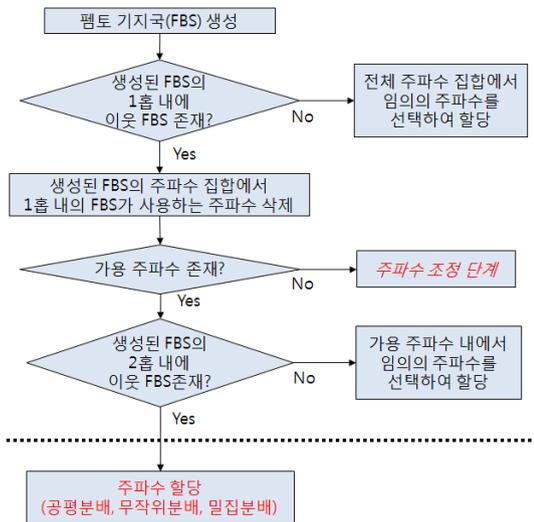
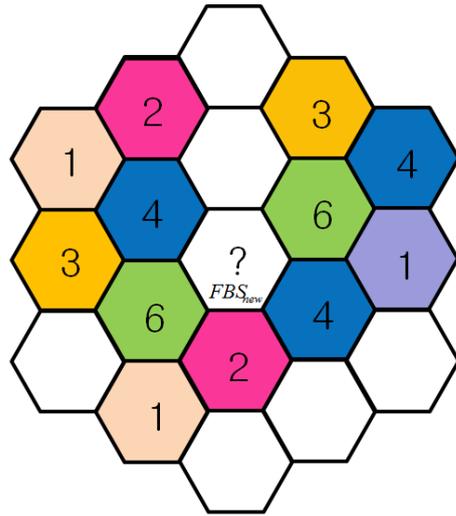


그림 3. 초기 주파수 할당 흐름도.

이를 전체 주파수 집합에서 삭제함으로써 가용 주파수를 확보할 수 있다. 예를 들어 시스템 전체 부대역 집합 ( $S$ )이  $S = \{1,2,3,4,5,6\}$ 이고 새로 생성되는 펠토 기지국의 이웃 펠토 기지국 주파수 사용 현황이 그림 4와 같다고 하자. 여기서 셀 안의 숫자는 해당 펠토 기지국이 사용하고 있는 부대역을 나타내고 숫자가 없는 영역은 아직 펠토 기지국이 설치되지 않은 것을 나타낸다. 새로 생성된 펠토 기지국이 자신의 가용 주파수 집합을 식으로 정리하면 다음과 같다.

$$F_{avail\_1} = S - F_{1hop\_NBR} \quad (1)$$

여기서  $F_{avail\_1}$ 는 생성된 펠토 기지국 ( $FBS_{new}$ )의 1홉 이웃을 고려한 가용 주파수 집합이고,  $F_{1hop\_NBR}$ 는  $FBS_{new}$ 의 1홉 이웃 펠토 기지국들의 사용 주파수를 의미한다. 그림 4에서  $FBS_{new}$ 는 생성과 동시에



(a) 새로운 FBS 생성 시 이웃 FBS의 배치 및 사용 주파수 현황 예

전체 부대역 집합	$S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$		
1홉 이웃 FBS의 사용 주파수 집합	$F_{1hop\_NBR} = \{2, 4, 6\}$		
2홉 이웃 FBS의 사용 주파수 집합	$F_{2hop\_NBR} = \{1, 2, 3, 4\}$		
가용 주파수 집합 ( $F_{avail}$ )	1홉 이웃 FBS 고려	$F_{avail\_1} = \{1, 3, 5\}$	
	2홉 이웃 FBS 고려	공평 분배	$F_{avail\_2} = \{5\}$
		무작위 분배	$F_{avail\_2} = \{1, 3, 5\}$
		밀집 분배	$F_{avail\_2} = \{1, 3\}$

(b) 가용 주파수 집합을 구하는 과정

그림 4. 초기 주파수 할당 과정의 예.

스캐닝을 통해 자신의  $F_{1hop\_NBR}$ 를 알고 자신의  $F_{avail\_1}$ 을 결정한다.

1홉을 고려한 가용 주파수 집합  $F_{avail\_1}$ 이 공집합이 아닌 경우, 이 중 하나의 원소를 사용 주파수로 선택하게 되는데, 이 때  $FBS_{new}$ 의 2홉 내 이웃 펠토 기지국 존재 여부에 따라 그 선택 방법이 달라진다. 2홉 내 이웃 펠토 기지국이 없는 경우,  $FBS_{new}$ 는  $F_{avail\_1}$  내에서 임의로 사용 주파수를 선택한다. 2홉 내 이웃 펠토 기지국이 존재하는 경우에는 “공평분배 (Evenly Assign)”, “무작위분배(Randomly Assign)”, 또는 “밀집분배 (Densely Assign)” 방식을 이용하여 사용 주파수를 선택한다. 공평분배 방식이란  $F_{avail\_1}$ 의 원소 중 가능한 2홉 내 다른 펠토 기지국이 사용하지 않는 주파수를 사용 주파수로 선택하는 방식이다. 반면 밀집분배 방식은  $F_{avail\_1}$ 의 원소 중 2홉 내 다른 펠토 기지국이 사용하는 주파수를 사용 주파수로 선택한다. 무작위분배 방식은  $F_{avail\_1}$ 의 원소 중 임의로 하나를 선택하는 방법으로서 2홉 내 이웃 펠토 기지국이 없는 경우의 주파수 선택 방법과 같다. 상기 주파수 할당 방식을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{공평분배: } F_{avail\_2} = F_{avail\_1} - F_{2hop\_NBR} \quad (2)$$

$$\text{무작위분배: } F_{avail\_2} = F_{avail\_1} \quad (3)$$

$$\text{밀집분배: } F_{avail\_2} = F_{avail\_1} \cap F_{2hop\_NBR} \quad (4)$$

여기서  $F_{avail\_2}$ 는  $FBS_{new}$ 의 2홉 이웃을 고려한 가용 주파수 집합이고,  $F_{2hop\_NBR}$ 는  $FBS_{new}$ 의 2홉 이웃 펠토 기지국들의 사용 주파수를 의미한다. 최종적으로  $FBS_{new}$ 는  $F_{avail\_2}$  내에서 주파수를 무작위 선택하여 사용한다. 단, 공평분배/ 밀집분배 방식에서 식 (2)과 (4)의 연산 결과,  $F_{avail\_2}$ 가 공집합이면  $F_{avail\_1}$  중 하나를 무작위 선택한다. 이를 이용하면 그림 4에서 공평 분배의 경우  $\{5\}=\{1, 3, 5\}-\{1, 2, 3, 4\}$ 가 되고, 무작위 분배의 경우  $\{1, 3, 5\}$ 로  $F_{avail\_1}$ 와 같고, 밀집분배의 경우  $\{1,3\}=\{1, 3, 5\} \cap \{1, 2, 3, 4\}$ 가 된다.

하지만 1홉 내에 이미 많은 펠토 기지국이 선 (先) 생성되어 서비스 중인 경우에는 후 (後) 생성된 펠토 기지국의 간섭 없는 사용 주파수 획득이 불가할 수 있

다. 이런 상태가 바로 후 (後) 생성된 펠토 기지국의  $F_{avail\_1}$ 이 공집합인 경우이며 주파수 조정 단계를 수행하게 된다.

### 2.2.2 주파수 조정 (2단계)

초기 주파수 할당 단계에서 사용 주파수를 선택하지 못한 경우, 생성된 펠토 기지국은 주파수 조정을 통해 이웃 펠토 기지국이 사용하는 기존 주파수를 변경하도록 요청함으로써 자신이 사용할 가용 주파수를 확보한다. 즉, 주파수 조정이란 이웃 펠토 기지국이 현재 사용 중인 주파수 외에 가용한 여분 주파수 자원이 존재할 때 자신의 현재 사용 주파수를 새로 생성된 펠토 기지국에게 양보하고 자신은 다른 여분 주파수 중 하나를 선택하는 개념이다. 본 논문에서는 펠토 기지국이 주파수 조정까지 하였으나 가용 주파수 획득에 실패하여 서비스를 하지 못하게 되는 것을 펠토 기지국 서비스 불가 상태, 즉 등록 실패 (cell-registration failure)로 정의한다.

그림 5는 제안하는 주파수 조정 단계를 설명한다. 주파수 조정 단계에 들어간 펠토 기지국은 이전 단계에서 획득한 정보(2홉 이내 모든 펠토 기지국 각각의 ID와 사용 주파수)를 이용하여 간단한 연산을 수행함으로써 자신의 1홉 펠토 기지국 중 가용한 여분 주파수가 있는 펠토 기지국을 찾는다. 본 논문에서는 가용한 여분 주파수가 있는 1홉 이웃 펠토 기지국을 “대상 (Targeted)” FBS, 가용한 여분 주파수가 없는 1홉 이웃 펠토 기지국을 “(Forbidden)” FBS라고 각각 정의

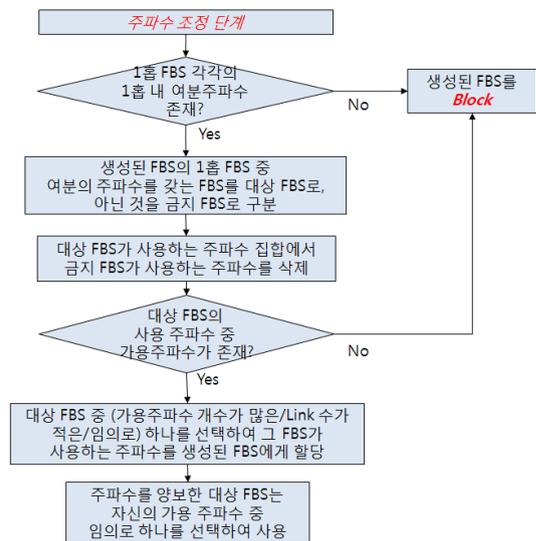


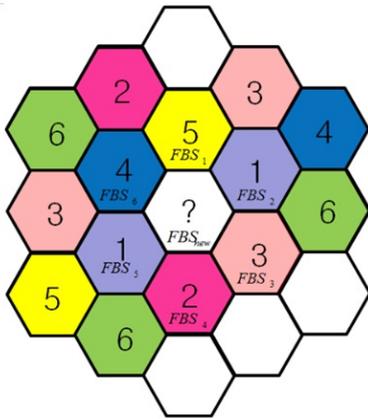
그림 5. 주파수 조정 단계 흐름도.

한다.

주파수 조정 과정에 따른 사용 주파수 선택 예를 그림 6에 나타내었다.  $FBS_{new}$ 는 초기 주파수 할당 단계와 마찬가지로 식 (1)을 이용하여 1홉 이웃 펠토 기지국 각각의  $F_{avail\_1}$ 을 구한 뒤, 1홉 이웃 펠토 기지국을 대상 FBS와 금지 FBS로 구분한다. 그리고  $FBS_{new}$ 는 사용 주파수를 결정하는 데 있어서, 대상 FBS들이 사용하는 주파수 ( $F_{target}$ ) 중 하나를 자신의 사용 주파수로 선택하되 금지 FBS들이 사용하는 주파수 ( $F_{forbidden}$ )는 피해야 한다. 따라서 주파수 조정 단계를 통한 최종 가용 주파수 집합 ( $F_{mavail}$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F_{mavail} = F_{target} - F_{forbidden} \quad (5)$$

$FBS_{new}$ 는 주파수 조정단계를 통한 가용 주파수



(a) 새로운 FBS 생성 시 이웃 FBS의 배치 및 사용 주파수 현황 예

전체 부대역 집합	$S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$		
	사용주파수	여분주파수	대상/ 금지 여부
1홉 이웃 FBS의 사용주파수 집합, 여분주파수 집합 및 대상/ 금지 여부 판별	$F_{FBS1} = 5$	$F_{avail\_FBS1} = \{6\}$	대상 FBS
	$F_{FBS2} = 1$	$F_{avail\_FBS2} = \{2\}$	대상 FBS
	$F_{FBS3} = 3$	$F_{avail\_FBS3} = \{4, 5\}$	대상 FBS
	$F_{FBS4} = 2$	$F_{avail\_FBS4} = \{4, 5\}$	대상 FBS
	$F_{FBS5} = 1$	$F_{avail\_FBS5} = \emptyset$	금지 FBS
	$F_{FBS6} = 4$	$F_{avail\_FBS6} = \emptyset$	금지 FBS
대상 FBS의 사용 주파수 집합	$F_{targeted} = \{1, 2, 3, 5\}$		
금지 FBS의 사용 주파수 집합	$F_{forbidden} = \{1, 4\}$		
가용 주파수 집합	$F_{mavail} = \{2, 3, 5\}$		

(b) 가용 주파수 집합을 구하는 과정

그림 6. 주파수 조정 과정의 예.

집합 ( $F_{mavail}$ )을 얻은 후, 그 주파수 집합 내에서 자신의 사용 주파수를 선택한다. 따라서 대상 FBS 중에서도 가용 주파수 집합 내의 주파수를 사용하고 있는 대상 FBS가 결과적으로 주파수를 양보하게 된다.

그림 6에서  $FBS_{new}$ 가  $F_{avail} = \{2, 3, 5\}$ 내 주파수 2를 사용 주파수로 선택하여 서비스를 시작하면, 주파수 2를 사용하던 이웃 펠토 기지국(FBS4)은 자신의 가용한 여분 주파수 중 ( $F_{avail\_FBS4} = \{4, 5\}$ ) 하나로 사용 주파수를 바꾸고 서비스를 계속한다. 이때 주파수를 양보하는 이웃 펠토 기지국은 IEEE 802.16e 표준의 핸드오버를 위한 주기적인 스캐닝을 통해 간섭 발생을 감지할 수 있다. 시스템 내 모든 펠토 기지국이 이러한 간단한 자기 조직화 과정을 통해 사용 주파수를 획득함으로써 간섭을 회피하고 펠토 기지국의 등록 실패율을 감소시킬 수 있다.

### 2.3 모의실험 및 결과 분석

본 논문에서는 펠토 기지국이 가정 및 소형 사무실과 같은 실내에 배치되는 것을 감안하여 반경 250m 구역 내의 임의 위치에 반경 15m의 커버리지를 갖는 다수의 펠토 기지국이 설치된 환경을 고려한다. 펠토 기지국의 수는 320개로 가정했으며 배치는 균일 분포를 따르도록 하였다. 또한 펠토 기지국이 이동체가 아니며 거리상 사용자와 매우 가깝게 위치하기 때문에 각 펠토 기지국이 사용하게 되는 부대역 채널 품질은 페이딩이나 경로손실보다는 주변 펠토 기지국의 주파수 간섭에 의해 주로 결정되므로 본 논문의 모의실험에서는 간단한 실험을 위해 부대역 채널 품질 결정 요소로 주파수 간섭만을 고려한다.

제안 방식의 성능평가를 위해 전체 주파수 대역에서 가장 좋은 채널, 즉 가장 주파수 간섭이 적은 채널을 골라서 사용하는 기존 방식<sup>[9]</sup>을 모의실험 하여 그 결과를 제안 방식과 비교하였다. 더불어 제안하는 방식 내에서도 초기 주파수 할당 방식 3가지에 대한 성능을 각각 평가하고 그 결과를 서로 비교, 분석하였다. 모의실험을 통해 비교한 실험군과 각각의 특징을 정리하여 표 1에 나타내었다. 사용된 성능분석 지표는 표 2와 같다.

#### 2.3.1 주파수 조정 유/무에 따른 성능비교

그림 7은 부대역 개수와 표 1에서 정리한 실험군에 따른 등록 실패율을 나타낸다. 예상대로 부대역 개수가 증가할수록 등록 실패율이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 제안하는 주파수 할당 방식의 등록 실패율이 기존 Best SINR 방식의 등록 실패율보다 항상 낮음을

표 1. 제안하는 주파수 할당 기법의 모의실험에 사용된 실험군과 각각의 특징.

	주파수 할당 기법	특징	
		초기 주파수 할당 (step 1)	주파수 조정 (step 2)
기존 방식	Best SINR	각 주파수에 대해 SINR을 측정하여 가장 품질 좋은 주파수를 사용[9]	무
제안하는 자원 할당 기법	공평분배	가용 주파수 집합 내에서 최대한 2홉 이웃 펠토 기지국이 사용하지 않는 주파수를 사용	유
	무작위분배	가용 주파수 집합 내에서 임의로 주파수를 사용	유
	밀집분배	가용 주파수 집합 내에서 2홉 이웃 펠토 기지국이 사용하는 주파수를 사용	유

표 2. 제안하는 자원 할당 기법의 성능분석 지표 정의.

성능분석 지표	정의
$P_{Block}$	펠토셀 등록 실패율 : 전체 생성된 펠토셀 중 등록 실패한 펠토셀 수
$N_{step2}$	주파수 조정 단계 시행 횟수 : 초기 주파수 할당 단계에서 가용 주파수를 획득하지 못한 횟수
$N_{HO}$	주파수 핸드오버 시행 횟수 : 주파수 조정 단계에서 이웃 펠토 기지국의 양보에 의해 가용 주파수를 획득한 횟수

알 수 있다. 이것은 제안 방식이 주파수 조정 단계를 통해 이웃 펠토 기지국의 주파수 양보를 유도함으로써 펠토 기지국의 등록 실패를 최소화한 결과이다. 하지만 이를 위해 주파수 조정을 시도하고 주파수 핸드오버를 수행해야 한다. 그림 8을 보면 주파수 부대역수에 따른 주파수 조정 시도 횟수와 주파수 핸드오버 수행 횟수를 알 수 있다. 주파수 조정 시도 횟수는 주파수 부대역 수에 밀접한 관련이 있으며 그 수가 많을수록 현저하게 줄어드는 모습을 볼 수 있다. 그 이유는 주파수 부대역 수가 적을수록 신규 펠토 기지국이 발생했을 때 기존 펠토 기지국들의 주파수 선점으로 인해 주파수 조정 없이 할당 받을 수 있는 자원이 존재할 확률이 작아지기 때문이다. 다른 한편으로 주파수 조정 시도가 직접적으로 주파수 핸드오버로 이어지지 않는다는 것은 주파수 부대역 수가 3과 4일 때 주파수 핸드오버 수를 확인하면 알 수 있다. 주파수 부대역이 3일 때 주파수 조정 시도 횟수가 주파수 부

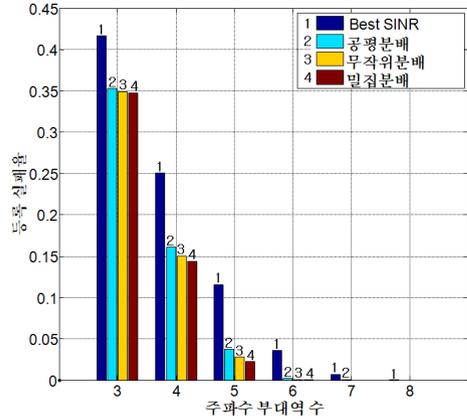


그림 7. 부대역 개수와 각 실험군에 따른 등록 실패율.

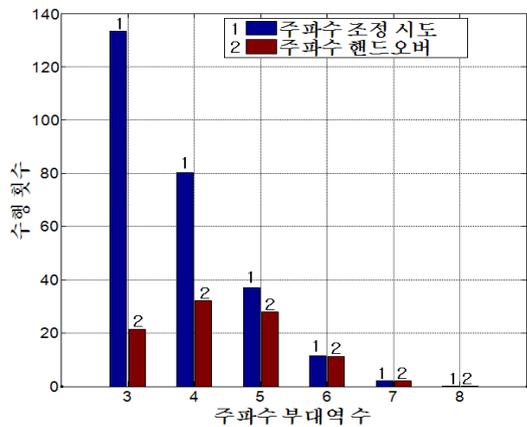


그림 8. 주파수 조정 시도 횟수와 주파수 핸드오버 수행 횟수.

대역이 4일 때보다 약 50회 이상 많지만 주파수 핸드오버 횟수는 도리어 10회 정도 적음을 확인할 수 있다. 더불어 주파수 조정을 시도한다고 해도 펠토 기지국의 계산량은 증가하겠지만 핸드오버가 발생하기 전까지는 사용자와 상호 제어 메시지를 교환하고 주파수를 새로 설정할 필요가 없기 때문에 펠토 기지국 사용자의 시간지연이나 데이터 손실이 증가하지는 않는다. 한편, 핸드오버의 경우 그림 7과 비교해보면 등록 실패율과 깊은 연관이 있음을 알 수 있다. 그림 8은 전체 320개의 펠토 기지국 중 핸드오버가 발생한 펠토 기지국 수를 나타내므로 핸드오버 발생 확률로 변환해 보면 주파수 부대역 수 3, 4, 5, 6, 7, 8에 대해 6.8%, 10%, 9%, 3.4%, 0.6%, 0%로 각각 계산된다. 이 값은 그림 7에서 기존 Best SINR 방식과 제안한 방식의 등록 실패율의 차이와 거의 동일하다. 이는 핸드오버를 통해 확보된 자원이 신규 펠토 기지국

에 할당되면서 등록 실패율이 줄어드는 효과로 나타났다. 즉, 등록 실패율과 핸드오버 횟수가 절충모순(trade-off) 관계에 있다고 할 수 있다. 따라서 사용자의 서비스의 종류와 신규 펠토 기지국의 중요도에 따라 주파수 핸드오버를 탄력적으로 운영함으로써 시스템 성능을 올릴 수 있다. 예를 들면 시간 지연이나 데이터 손실에 민감한 서비스를 하고 있는 기존 펠토 기지국이라면 주파수 조정에 대한 신규 펠토 기지국의 요청을 무시할 수 있고 그렇지 않은 기존 펠토 기지국이라면 주파수 조정에 대한 신규 펠토 기지국의 요청에 응해 주파수 핸드오버를 지원할 수 있게 된다.

2.3.2 초기 자원 할당 방식에 따른 성능비교

앞서 설명했듯이 초기 주파수 할당은 생성된 펠토 기지국이 주파수를 선택하는 방법에 따라 3가지로 구분된다. 그림 7에서 초기 주파수 할당 방식 3가지에 따른 등록 실패율을 비교하면 주파수 조정 단계의 유/무에 따른 성능 분석 결과와 달리, 각 방식 사이에 성능 차이가 크게 나타나지 않는다. 하지만 등록 실패율을 줄이기 위해 주파수 조정을 시도한 횟수(그림 9)와 주파수 조정에 의한 주파수 핸드오버 횟수(그림 10)를 함께 분석함으로써 각 할당 방식에 따른 성능을 비교할 수 있다. 그림 9과 그림 10 각각에서 밀집분배 방식은 다른 방식과 비교하여 주파수 조정 단계 시도 횟수와 주파수 조정에 의한 주파수 핸드오버 횟수가 가장 적다. 이것은 밀집분배 방식이 등록 실패율 측면에서 다른 방식과 비슷한 효과를 나타내지만 주파수 할당 시 발생하는 시스템 오버헤드 측면에서 더욱 우수함을 의미한다. 밀집분배 방식에 따르면 선(先) 생성된 FBS는 간섭 없는 가용 주파수 내에서 2홉 이웃이

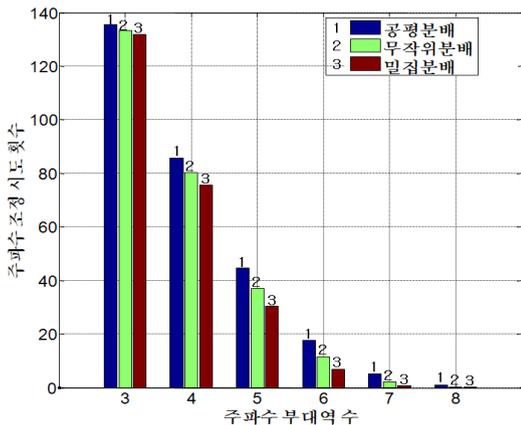


그림 9. 주파수 조정 시도 횟수.

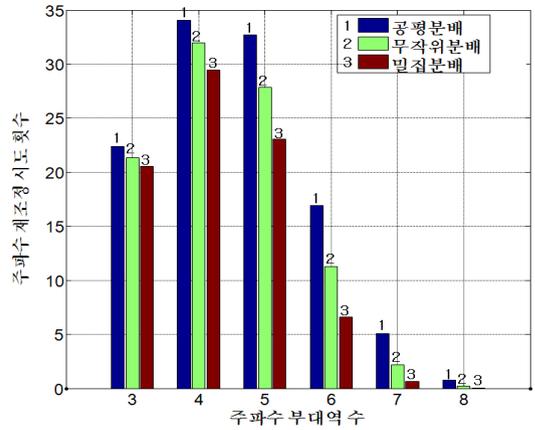


그림 10. 주파수 조정에 의한 주파수 핸드오버 횟수.

사용하는 주파수를 재사용하여 후(後)에 발생할 펠토 기지국을 위한 여분 주파수를 최대한 남김으로써 초기 주파수 할당 단계에서의 등록 실패를 미연에 방지하기 때문이다. 즉, 주파수 재사용 효율을 최대화 하는 방식이라 할 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 다수의 펠토 기지국이 존재하는 환경에서 발생하는 주파수 간섭을 회피하기 위해 자기 조직화 된 주파수 할당 방식을 제안하였다. “초기 주파수 할당”과 “주파수 조정” 두 단계로 나뉘어 수행되는 제안한 주파수 할당 방식은 생성된 펠토셀이 이웃 기지국과 간섭이 없는 주파수를 사용하도록 할 뿐만 아니라 주파수 조정을 통해 생성된 펠토 기지국의 가용 주파수 획득 실패율을 현저하게 줄인다. 모의실험 결과를 통해 제안한 주파수 할당 방식은 비록 기존 방식에 비해 오버헤드가 증가하는 단점이 있지만 절충 모순 관계를 이용한 탄력적인 시스템 운영을 통해 이를 극복할 수 있으며 간섭 없는 주파수 할당 및 펠토 셀 등록 실패율 측면에서는 기존 방식 대비 월등한 성능을 보여주었다.

참 고 문 헌

[1] 이재학, “WCDMA Femto Cell,” 정보통신연구진흥원, 주간기술동향, 1337호, pp.1-11, 2008년 3월.  
 [2] 정정수, 최성호, “LTE 초소형 기지국,” 한국통신학회, 정보와 통신, 제25권, 제9호, pp.41\*48,

