

이동셀룰러망에서 무선 인지 기반 비협력 동적 주파수 자원 할당 기법

Uncoordinated Dynamic Frequency Allocation Schemes based on Cognitive Radio in Mobile Cellular Networks

유 현* 정 준 우* 이 종 관* 임 재 성*
Hyun Yu Junwoo Jung Jong Kwan Lee Jaesung Lim

Abstract

In this paper, we propose uncoordinated dynamic frequency(channel) allocation schemes based on cognitive radio in mobile cellular networks(MCNs). Under the assumptions that mobile base stations are equipped with cognitive radio(CR) function and they construct uncoordinated network, the proposed scheme enables the MCNs by suppression of successive channel switching and management of channel allocation in a dynamic and distributed manner. The proposed scheme is composed of two phase processes. In the first phase, highly orthogonal sequences are generated and assigned to mobile base stations. In the second phase, each mobile base station is allocated a channel according to the pre-assigned orthogonal sequences. Simulation results show that the number of successive spectrum switching is reduced significantly compared with the random switching scheme.

Keywords : Mobile Base Station, Mobile Subscriber Access Point(MSAP), Uncoordinated Dynamic Channel Allocation (UDCA), Successive Channel Switching

1. 서론

최근 분산 환경에서 네트워크 확장의 용이성과 배치의 신속성을 위해 기지국의 이동성이 크게 요구됨에 따라, 이동셀룰러망(MCN : Mobile Cellular Network)에 대한 연구가 많은 관심을 받고 있다. MCN은 이동 기지국으로 구성된 셀룰러망을 의미하며, 상용 뿐 아니

라 군사 목적으로 다양한 활용이 가능하다.

MCN은 제한된 스펙트럼을 지역적으로 재사용하고, 동적 토폴로지를 갖는다. 고정 토폴로지를 갖는 기존 셀룰러 시스템에서는 고정적으로 자원 할당이 가능하지만, MCN과 같이 동적 토폴로지를 갖는 환경에서는 빈번하게 동일 채널 간섭이 초래되므로 고정적으로 자원을 할당하는 것은 적절치 않다. 특히, 전장 환경에서는 적에 의한 제밍 공격으로 이동기지국간 네트워크가 마비될 경우에 대비한 자원 할당 방안이 고려되어야 한다.

한편, 우리 군의 TICN 체계 구성 장비인 MSAP

† 2011년 4월 26일 접수~2011년 8월 26일 게재승인

* 아주대학교(Ajou University)

책임저자 : 유 현(yuhyun0807@gmail.com)

(Mobile Base Station, Mobile Subscriber Access Point)가 본 논문에서 고려하는 이동기지국과 유사한 역할을 수행한다. MSAP은 육군의 사단급, 해·공군의 함대사/비행단급 제대에 편성되어 전술지휘소 내부 또는 원격 지역에 위치한 이동 가입자의 지휘통제 및 통신 수단을 제공한다. 그런데, 현재 TIC은 MSAP간 mesh 네트워크 기술을 고려하지 않고 있으므로 협력 기반의 동적 자원 할당이 불가능하다. 따라서 비협력 기반의 동적 자원 할당 기법이 연구될 필요가 있다.

본 논문에서는 MCN에서 동일 채널 간섭 회피를 위한 CR 기술 기반 비협력 방식 동적 자원 할당 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 이동기지국간 동일 채널 간섭 발생 시 채널 변경 횟수를 감소시켜 효율적인 MCN 운영을 가능하게 한다. 제안하는 기법은 1) 각 이동기지국에 이격 거리가 큰 직교 순열의 생성 및 할당 단계와 2) 직교 순열을 이용한 채널 할당 단계로 구성된다. 또한 제안하는 기법은 CR 기능에 따라 세 가지 시스템 모델에 적용되어 평가된다.

본 논문의 구성은 2장에서 본 논문과 관련된 이동기지국 관련 연구, 군 전술정보통신 체계 및 CR 기술에 대하여 설명하고, 3장에서 시스템 모델을 설명한다. 4장에서는 제안하는 기법에 대한 상세히 설명하고 5장에서는 모의실험 결과 통해 제안하는 기법의 성능을 비교·분석하였다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

이동기지국으로 구성된 망에 대한 다양한 학술적 접근이 있다. S. Nesargi^[1]와 M. Salem^[2]은 분산 컴퓨팅 체계를 따르는 상호 배제 원리를 적용한 새로운 무선 채널 할당 알고리즘들을 개발하였다. 이 알고리즘들은 이동기지국간 제어 채널을 통한 메시지 교환에 의존한다. A. L. Garrett^[3]는 이동 셀룰러 CDMA망의 하향 채널에 대해 주변 이동기지국들에 의한 간섭 민감도를 조사하였다. 이동기지국으로 구성된 망에서 자원 할당 관련 연구는 이동기지국간 통신을 전제로 한 협상 방식이 주를 이루며, 비협력 방식의 자원 할당 관련 연구는 많이 이루어지지 않고 있다.

한편, 무선 인지 기술(CR : Cognitive Radio) 기반 동적 스펙트럼 접근 기법(DSA : Dynamic Spectrum Access)^[6]은 스펙트럼 부족 문제를 해결하고 동적이며

분산적인 스펙트럼 할당 능력으로 인해 최근 많은 관심을 받고 있다. CR 기술은 특히 스펙트럼 상태 정보를 스스로 학습할 수 있기 때문에 비협력 방식의 동적 자원 할당에 적용시 큰 효과가 있을 것으로 기대된다.

현재 CR 관련 연구 중 셀룰러 시스템 기반 기술로 IEEE 802.22 WRAN(Wireless Regional Area Network)^[7]에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. IEEE 802.22의 가장 큰 특징은 CR 기술을 사용한다는 점이다. IEEE 802.22는 지상 TV 방송 대역에서 동작하기 때문에 해당 대역의 일차 사용자인 TV 서비스 등에 간섭을 일으키지 않으면서 동작해야 한다. 이러한 목적으로 CR 기술은 TV 서비스 등의 일차 사용자 신호를 보호하기 위해 일차 사용자 신호를 탐지하고 점유되지 않은 대역에 대한 정보를 획득하여 동적으로 주파수를 변경할 수 있도록 한다. IEEE 802.22에서는 기지국과 단말 모두 무선 인지 기능을 보유하여 스펙트럼 센싱이 가능하다.

스펙트럼 센싱은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫째는 사용 중인 대역에 대한 센싱인 in-band 센싱이며, 두 번째는 그 외의 대역에 대한 센싱인 out-of-band 센싱이다. IEEE 802.22 프레임에서 송/수신할 데이터가 없는 단말 또는 기지국의 요청을 받은 단말은 out-of-band 센싱을 수행한다. 이후 단말은 out-of-band 센싱 결과를 기지국에 보고한다. 휴지 구간(QP : Quiet Period) 동안 기지국 및 단말은 송신을 중단하고 in-band 센싱을 수행한다. 이와 같은 과정을 통해 기지국은 현재 사용 중인 대역에 일차 사용자의 등장 여부를 확인할 수 있을 뿐만 아니라, 타 대역의 상태도 알 수 있다.

3. 시스템 모델

본 논문에서는 다음과 같은 네트워크 모델을 고려한다. 첫째, 이동기지국간 통신이 불가능하다. 따라서 동일 채널 간섭이 발생한 이동기지국들이 동일한 채널로 각각 변경하여 동일 채널 간섭이 연속적으로 발생할 수 있다. 또한 이동기지국간 통신이 불가능하므로 시간 동기화가 어렵다. 따라서 이동기지국간의 시간 동기는 일반적으로 다르다. 둘째, 이동기지국 및 단말은 CR 기능을 보유하여 전체 채널 상태 정보를 알 수 있다. 셋째, MCN은 IEEE 802.22와 같이 QP를

포함하는 OFDMA 프레임 구조를 기반으로 동작한다. 넷째, 시간 동기가 다른 이동기지국간 동일 채널 간섭 발생 시 상대적으로 동기가 앞서는 이동기지국이 채널 변경을 수행한다. 즉, 상대적 동기가 앞선 이동기지국이 자신의 QP에서 먼저 간섭을 탐지하게 되면 채널 변경을 수행한다. 따라서 상대적으로 동기가 느린 이동기지국은 자신의 QP에서 간섭을 탐지하지 않게 되므로 사용 중인 채널에 머물게 된다. Fig. 1은 시스템 모델의 예를 나타내고 있다.

본 논문에서 간섭 채널(I)은 이동기지국간 동일 채널 간섭이 발생한 채널을 의미하며, 본 논문에서는 간섭 채널이 1개인 경우만 고려한다. 점유 채널(O)은 각 이동기지국 주변의 타 이동기지국에 의해 사용되는 채널을 의미하고, 비점유 채널(E)은 점유 채널과 반대 개념으로, 주변의 타 기지국에서 사용하지 않는 채널을 의미한다. 총 채널(S) 또는 전 채널은 앞서 정의한 간섭 채널(I), 점유 채널(O), 비점유 채널(E)의 총합이다. 간섭 발생 기지국 수는 동일 채널 사용으로 서로 간섭을 일으키는 기지국 수를 의미한다. 이 정보는 동일 채널 간섭 발생시 채널 변경 횟수에 영향을 미친다. 그런데, 이동기지국은 간섭 발생 기지국 수를 파악할 수는 없다.

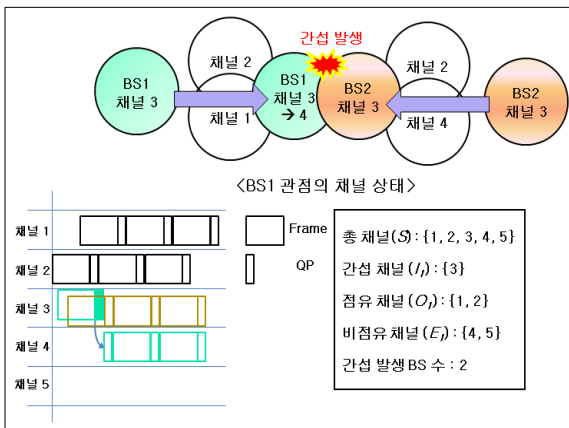


Fig. 1. 시스템 모델의 예

4. 제안하는 UDCA 기법

본 논문에서는 CR 기능을 보유한 이동기지국 상호 간 협력이 불가능한 환경에서 동일 채널 간섭 발생 시 직교하는 순열을 사용하여 주파수 자원을 할당하

는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 채널 선택 시 우선순위 순열(PS : Priority Sequence)이라 정의한 직교 순열을 통해 이동기지국간에 서로 다른 기준으로 채널을 선택하도록 함으로써 동일 채널을 선택할 확률을 줄인다. 제안하는 기법은 임의의 채널을 선택하는 기법(R : Random)과 비교된다.

제안하는 기법은 CR 기능에 따라 세 가지 시스템 모델을 고려한다. 첫 번째는 이동기지국이 in-band 센싱만 수행하는 모델이다. 첫 번째 모델에서 이동기지국은 간섭 채널 정보 이외의 점유/비점유 채널 정보는 알지 못한다. 두 번째는 이동기지국이 in-band 센싱을 수행하고 단말이 out-of-band 센싱을 수행하는 모델이다. 그러나 이동기지국이 동일 채널 간섭을 경험하게 되어 채널 변경을 수행하게 되면 단말의 센싱 결과를 받을 수 없으므로 채널 변경 이후에는 in-band 센싱만 수행하게 된다. 따라서 두 번째 모델에서 이동 기지국은 간섭 발생 이전의 점유/비점유 채널 정보는 알지만, 간섭 발생 이후 채널 상태 변화에 따른 채널 정보는 알 수 없다. 세 번째는 모델에서, 간섭 발생 이전에는 이동기지국이 in-band 센싱을, 단말이 out-of-band 센싱을 수행한다. 하지만, 간섭 발생 이후에는 이동기지국이 직접 전 채널에 대한 센싱을 수행한다. 따라서, 세 번째 모델에서 이동기지국은 간섭 발생 이후의 채널 상태 정보도 알 수 있다.

각 시스템 모델에 따라 제안하는 기법의 알고리즘이 일부 변경된다. 하지만, 제안하는 기법은 기본적으로 1) 각 이동기지국에 이격 거리가 큰 직교 순열을 생성 및 할당하는 단계와 2) 직교 순열을 이용한 채널 변경 단계로 구성된다.

가. UDCA-PS

UDCA-PS(Uncoordinated Dynamic Channel Allocation-Priority Sequence)는 이동기지국의 in-band 센싱만 활용하고 단말의 out-of-band 센싱 기능은 활용하지 않는 시스템에 적용된다. 즉, 이동기지국은 간섭 채널 정보 이외의 점유/비점유 채널 정보는 알지 못한다.

UDCA-PS는 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서, 모든 이동기지국은 채널의 우선순위를 의미하는 서로 다른 PS 를 할당 받는다. PS 는 각 이동기지국이 서로 다른 기준으로 변경할 채널을 선택하게 하여, 이동기지국들이 동일한 채널로 서로 채널을 변경할 확률을 낮춘다. 즉, 상호 간섭을 회피하기 위한 연속적인 채널 변경 횟수를 줄이는 것이다. 이동기지국 i 의 PS 인

PS_i 는 채널 번호들로 구성되며, 각 PS_i 가 서로 직교하고 이격 거리가 최대가 되도록 하는 기법(예로, RNS^[9], CFFH^[10], 라틴 정방행렬^[8] 등)을 이용하여 생성된다. 본 논문에서는 모의실험에서 라틴 정방 행렬을 사용하였다. Fig. 2는 라틴 정방 행렬을 이용한 PS 할당의 예를 보여준다.

라틴 정방행렬의 각 행이 PS 가 되며, 각 이동기지역에 할당된다. 각 이동기지역은 동일한 알고리즘으로 라틴 정방행렬을 생성하고 이중 자신의 식별 번호(i)에 대응하는 행을 자신의 PS 로 선택한다.

$$PS = \begin{bmatrix} 2 & 4 & 1 & 3 & 5 \\ 4 & 3 & 2 & 5 & 1 \\ 3 & 5 & 4 & 1 & 2 \\ 5 & 1 & 3 & 2 & 4 \\ 1 & 2 & 5 & 4 & 3 \end{bmatrix} \begin{matrix} \rightarrow PS_1 \\ \rightarrow PS_2 \\ \\ \\ \end{matrix}$$

Fig. 2. 라틴 정방행렬을 이용한 PS 할당 (총 채널 수 : 5)

두 번째 단계에서, in-band 센싱을 통해 동일 채널 간섭을 탐지한 이동기지역 i 는 채널 $PS_i(n)$ 을 선택하여 채널 변경을 수행한다. 여기서 n 은 1부터 총 채널의 수 N 까지 채널 변경시마다 순차적으로 증가하며, 항상 1부터 시작한다. 만약 n 이 최대값 N 일 때 채널이 변경되면 n 은 다시 1이 된다. 채널 변경 후 이동기지역 i 는 in-band 센싱을 수행하고, 간섭이 탐지되지 않은 경우 프레임 전송을 시작한다. 만약, 간섭이 탐지되면 $PS_i(n)$ 을 선택하여 채널 변경을 재수행한다. 이때 n 은 이전 채널 변경시 보다 1 증가한 값이다. 간섭이 탐지되지 않을 때까지 위와 같은 절차는 반복된다. Fig. 3은 UDCA-PS의 두 번째 단계인 채널 변경 절차를 나타낸 것이다.

UDCA-PS의 비교 기법인 UDCA-R은 in-band 센싱을 통해 간섭 탐지시 전 채널(S)을 대상으로 임의의 채널을 선택하여 변경을 시도한다. 채널 변경 후 in-band 센싱을 수행하여 간섭이 탐지되지 않을 경우 프레임 전송을 시작하고 간섭이 탐지될 경우 다시 같은 방법으로 채널 변경을 시도한다.

UDCA-PS 및 UDCA-R은 점유/비점유 채널에 대한 정보가 없으므로 이미 점유된 채널(O)로 채널을 변경할 수 있고, 이로 인해 채널 변경 횟수가 증가하게 된다.

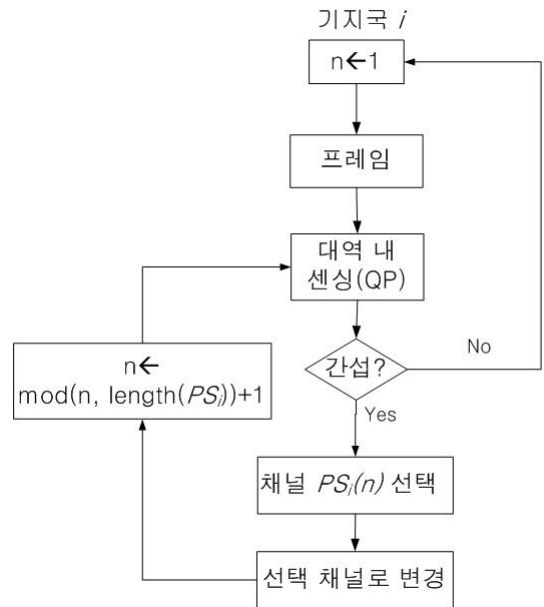


Fig. 3. UDCA-PS의 채널 변경 절차

나. UDCA-PS-IA

UDCA-PS-IA(Idle channel Awareness)는 앞서 언급한 CR 기능에 따른 세 가지 시스템 모델 중 두 번째 모델에 적용된다. 즉, 이동기지역은 간섭 발생 이전의 점유/비점유 채널 정보(O_i, E_i)는 알지만, 간섭 발생으로 인한 1차 채널 변경(즉, $n=1$) 후 점유/비점유 채널 정보(O_i, E_i)는 알 수 없다.

UDCA-PS-IA는 두 단계로 구성되며, UDCA-PS-IA의 첫 번째 단계는 UDCA-PS의 첫 번째 단계와 동일하다.

두 번째 단계는 다음과 같다. 동일 채널간 간섭이 발생하기 전의 프레임에서 이동기지역 i 와 단말들은 각각 in-band 센싱과 out-of-band 센싱을 통해 점유/비점유 채널 정보(O_i, E_i)를 갱신한다. In-band 센싱을 통해 동일 채널 간섭을 탐지한 이동기지역 i 는 $PS_i(n)$ 가 비점유 채널 집합 E_i 에 포함되어 있는지를 순차적으로 탐색하여 가장 먼저 탐색된 $PS_i(n)$ 으로 채널을 변경한다. 여기서 n 은 1부터 N 까지이며, 탐색은 $\{PS_i(1), PS_i(2), \dots, PS_i(N)\}$ 의 순으로 수행된다. 채널 변경 후 이동기지역 i 는 in-band 센싱을 하고 간섭이 탐지되지 않은 경우 프레임을 전송한다. 만약, 간섭이 탐지되면 앞서 설명한 절차와 동일하게 채널을 선택하여 변경한다. 단, 채널 탐색은 1차 채널 변경시 선택된 $PS_i(n)$ 이후부터 재수행된다. 또한, 1차 채널 변경 후에는 단말의 out-of-band 센싱 기능을 활용할 수 없기 때문에 이

동기지국 i 는 1차 채널 변경 이전의 점유/비점유 채널 정보(O_i, E_i)를 활용한다. 간섭이 탐지되지 않을 때까지 위와 같은 절차는 반복된다. Fig. 4는 UDCA-PS-IA의 채널 변경 절차를 나타낸 것이다.

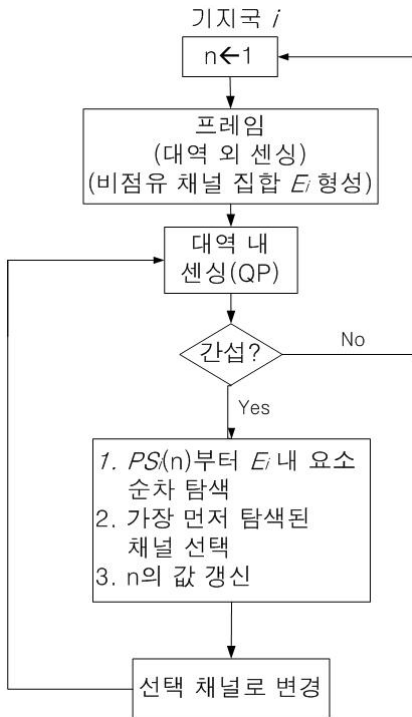


Fig. 4. UDCA-PS-IA의 채널 변경 절차

UDCA-PS-IA의 비교 기법인 UDCA-R-IA는 동일 채널 간섭 발생 이전의 채널 상태 정보를 활용하여 비점유 채널 집합 E_i 에서 임의의 채널을 선택하여 변경한다. 채널 변경 후 in-band 센싱을 수행하여 간섭이 탐지되지 않을 경우 프레임을 전송하고 간섭이 탐지될 경우 같은 방법으로 채널 변경을 시도한다.

UDCA-PS-IA 및 UDCA-R-IA는 점유/비점유 채널(O_i, E_i)에 대한 정보를 갱신할 수 없기 때문에, 연속적으로 채널 변경 횟수가 증가할수록 점유/비점유 채널(O_i, E_i)에 대한 정보의 정확성이 떨어지는 문제가 있다.

다. UDCA-PS-AIA

UDCA-PS-AIA(Active Idle channel Awareness)는 CR 기능에 따른 세 가지 시스템 모델 중 세 번째 모델에 적용된다. 즉, 이동기지국이 in-band 센싱을 수행하고 단말이 out-of-band 센싱을 수행하는 것은 UDCA-PS-IA

와 동일하지만 채널 변경 이후 전 채널에 대해 센싱을 수행하는 모델이다. 따라서 이동 기지국은 1차 채널 변경 후에도 정확한 점유/비점유 채널 정보(O_i, E_i)를 유지할 수 있다.

UDCA-PS-AIA는 앞서 제안한 기법들과 마찬가지로 두 단계로 구성되며, 채널 변경 절차는 UDCA-PS-IA와 동일하다. 다만, 채널 변경 이후 이동기지국 i 가 전 채널을 대상으로 센싱을 수행하여, 점유/비점유 채널 정보(O_i, E_i)를 갱신하는 부분만 추가된다. Fig. 5는 UDCA-PS-AIA의 채널 변경 절차를 나타낸 것이다.

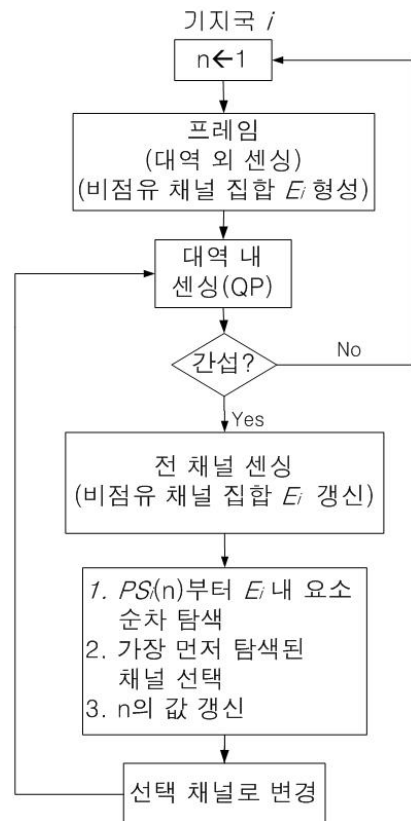


Fig. 5. UDCA-PS-AIA의 채널 변경 절차

UDCA-PS-AIA의 비교 기법인 UDCA-R-AIA는 채널 센싱을 통해 갱신된 비점유 채널 집합(E_i) 내에서 임의의 채널로 변경한다. 채널 변경 후 in-band 센싱을 하여 간섭이 탐지되지 않을 경우 프레임 전송을 시작하고 간섭이 탐지될 경우 전 채널 센싱을 수행하여 채널 상태 정보를 최신화한 후 같은 방법(즉, E_i 내에서 임의로 채널 선택)으로 채널 변경을 시도한다.

UDCA-PS-AIA 및 UDCA-R-AIA는 채널 변경 시마다 기지국이 전 채널에 대한 센싱을 수행하기 때문에 시간 지연을 증가시키는 문제가 있다.

5. 모의 실험

가. 모의실험 매개변수

모의실험에 사용된 매개변수는 Table 1과 같다.

Table 1. 모의실험 매개변수

유형	값
총 채널(S) 수	5 ~ 10
간섭 채널(I) 수	1
점유 채널(O) 수	0 ~ 8
비점유 채널(E) 수	1 ~ 9
간섭 발생 기지국 수	2 ~ 5
센싱 소요 시간	1ms

간섭 채널 수, 점유 채널 수, 그리고 비점유 채널 수의 합은 총 채널 수를 초과하지 못한다. 간섭 채널 수는 1로 고정하여 한 채널에서 간섭이 발생하는 경우만 평가하였다. 점유 채널 수와 비점유 채널 수의 범위는 총 채널 수에 의존적이다. 간섭 발생 기지국 수는 총 채널 수 보다 클 수 없으며 최대 5개까지 충돌한 상황을 고려한다. 모의실험은 총 채널 수에 따라 모든 경우에 대해 실험하였으며, 채널 센싱에 대한 오차는 없다고 가정하였다. CR 기능에 따른 각 시스템 모델 내에서 제안하는 기법과 비교 기법과의 채널 변경 횟수 및 채널 변경 지연 시간을 비교 평가하였다.

나. 실험 결과

Fig. 6은 첫 번째 시스템 모델의 제안 기법인 UDCA-PS와 비교 기법인 UDCA-R의 실험 결과를 나타내고 있다. Fig. 6은 총 채널 수가 증가함에 따라 채널 변경 횟수가 감소함을 보여준다. 모의실험에서 최대 간섭 발생 기지국 수를 5개로 제한하였기 때문에 점유 채널 수가 동일한 상황에서 총 채널 수가 5개보다 커질수록 비점유 채널 수가 증가하게 된다. 따라서 채널 변경 시 비점유 채널을 선택할 확률이 증가하

므로 채널 변경 횟수는 감소하게 된다.

간섭 발생 기지국 수에 따라 UDCA-PS와 UDCA-R를 비교한 결과 UDCA-PS가 항상 적은 채널 변경 횟수를 보임을 알 수 있다. 이는 UDCA-PS가 사용하는 순열(PS)이 각 채널에 대한 균등한 선택 확률을 보장하지만 UDCA-R은 이를 보장하지 못하며, UDCA-PS는 직교하는 순열을 사용하여 서로 다른 기준으로 채널을 선택하여 서로 동일 채널을 선택할 확률이 UDCA-R보다 낮기 때문이다.

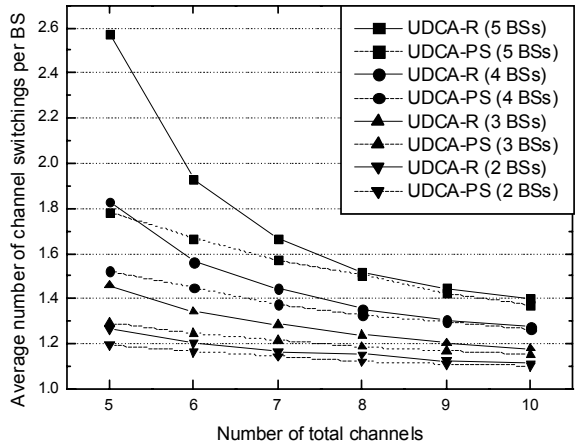


Fig. 6. 첫 번째 모델에서 총 채널 수에 따른 기지국당 평균 채널 변경 횟수

Fig. 7은 두 번째 시스템 모델의 제안 기법인 UDCA-PS-IA와 비교 기법인 UDCA-R-IA의 실험 결과를 나타내고 있다. 간섭 발생 이동기지국 수가 2개일 경우에는 총 채널 수에 상관 없이 0.5회의 채널 변경 횟수를 보인다. 이는 간섭 발생 이동기지국 수가 2개일 때 하나의 이동기지국만 채널 변경을 수행하게 되므로 타 이동기지국과 동일 채널로 변경할 확률이 존재하지 않는다. 또한 변경할 채널 선택 시 비점유 채널 집합 내에서 선택하므로 비점유 채널이 최소한 한 개 이상 존재하면 해당 이동기지국은 한 번의 채널 변경만 경험하게 된다. 따라서 이동기지국 당 평균 0.5회가 된다. Fig. 7에서 UDCA-PS-IA가 UDCA-R-IA보다 항상 더 적은 채널 변경 횟수를 보인다.

Fig. 8은 세 번째 시스템 모델에서 제안 기법인 UDCA-PS-AIA와 비교 기법인 UDCA-R-AIA의 실험 결과를 나타낸다. 앞서 두 시스템 모델에서의 실험 결과와 마찬가지로 제안 기법은 UDCA-PS-AIA가 비교 기

범인 UDCA-R-AIA에 비해 더 작은 채널 변경 횟수를 보이고 있음을 알 수 있다.

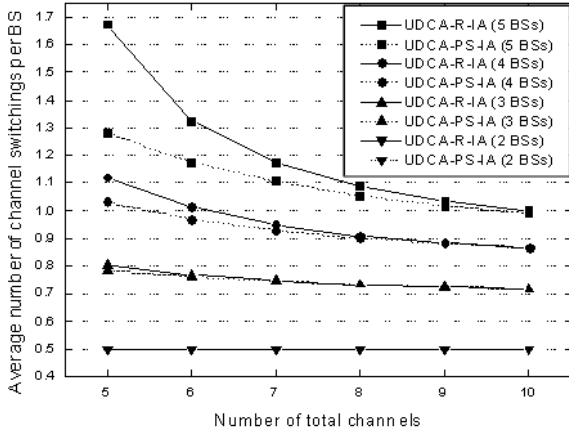


Fig. 7. 두 번째 모델에서 총 채널 수에 따른 기지국당 평균 채널 변경 횟수

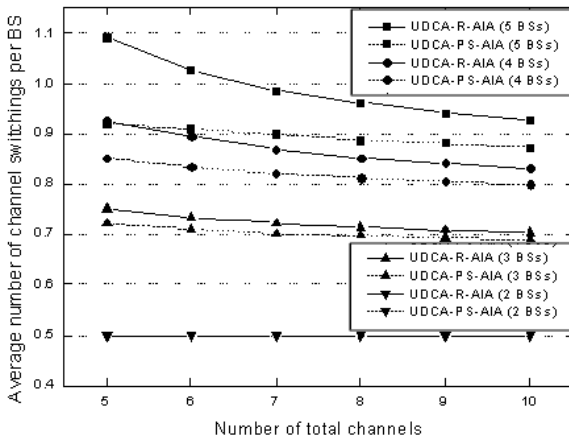


Fig. 8. 세 번째 모델에서 총 채널 수에 따른 기지국당 평균 채널 변경 횟수

지금까지는 각 실험모델 별로 제안하는 기법인 UDCA-PS 계열과 UDCA-R 계열간의 성능을 채널 변경 횟수를 통해 비교하였다. Fig. 9는 총 채널 수의 증가에 따른 채널 변경 횟수와 채널 변경 지연 시간을 비교한 것이다. Fig. 9에서는 UDCA-PS-AIA가 가장 큰 채널 변경 지연 시간을 보인다. 그 이유는 UDCA-PS-AIA가 채널 변경 시마다 이동기지국이 전 채널에 대한 센싱을 수행하여 지연 시간이 증가하기 때문이다. 즉, UDCA-PS-AIA에서는 채널 변경 시마다(총 채널

수 $\times 1ms$)만큼 지연 시간이 발생하지만, UDCA-PS와 UDCA-PS-IA는 채널 변경 시 in-band 센싱만 하기 때문에 1ms의 지연 시간이 발생한다.

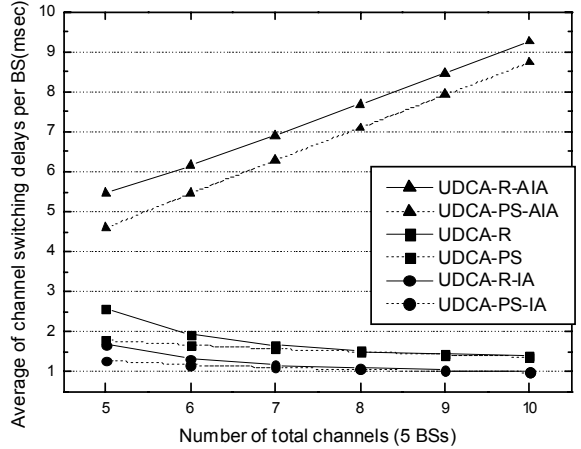


Fig. 9. 총 채널 수에 따른 세 모델간 기지국당 평균 채널 변경 지연 시간 비교(기지국 수 : 5)

다. 결과 분석 및 고찰

Fig. 6, 7, 8을 통해 제안된 각 기법 간의 성능을 비교해보면, UDCA-PS가 가장 큰 채널 변경 횟수를 보이고 UDCA-PS-AIA가 가장 적은 채널 변경 횟수를 보인다. 이러한 차이는 이동기지국의 CR 기능 차이에서 비롯된다. UDCA-PS는 점유 채널과 비점유 채널에 대한 정보가 없이 전 채널에 대해 변경할 채널을 선택하기 때문에 점유채널로 채널이 변경될 확률이 존재한다. 반면 UDCA-PS-IA와 UDCA-PS-AIA는 비점유 채널 내에서만 변경할 채널을 선택하기 때문에 불필요하게 점유 채널로 변경할 확률이 존재하지 않으므로 보다 적은 채널 변경 횟수를 나타낸다.

또한, UDCA-PS-IA와 UDCA-PS-AIA의 성능 차이는 비점유 채널 정보의 정확도에서 비롯된다. UDCA-PS-IA는 간섭 발생 이전의 비점유 채널 정보를 토대로 채널 변경을 수행한다. 이때 간섭 발생 이동기지국 수가 셋 이상일 경우에는 채널 변경을 수행하는 둘 이상의 이동기지국이 비점유 채널 내에서 동일한 채널을 선택할 확률이 존재한다. 또한 채널 변경 시마다 비점유 채널 정보는 변경된다. 따라서 간섭 발생 이후 채널 변경 횟수가 증가할수록 비점유 채널 정보의 정확도가 감소한다. 이러한 문제는 기지국의 이동성이 클수록 채널 상태 정보가 빠르게 변화하기 때문에 더 심

각해될 수 있다. 반면 UDCA-PS-AIA는 채널 변경 시마다 전 채널의 상태 정보를 갱신하기 때문에 비점유 채널의 정확도가 높다. 즉, 비점유 채널 내에 실제 점유된 채널이 존재할 가능성이 UDCA-PS-IA에 비해 낮기 때문에 불필요한 채널 변경을 방지할 수 있다. 하지만, 채널 변경으로 인한 긴 지연시간은 극복해야할 단점으로 남아있다.

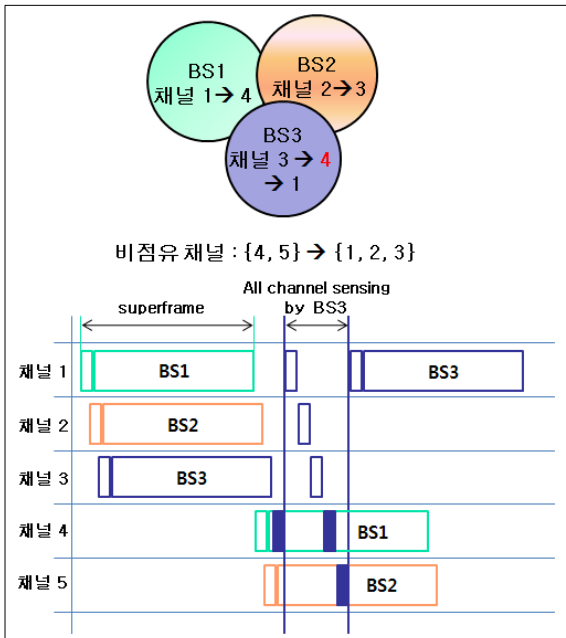


Fig. 10. 무선 인지 기술 기반 채널 호핑 셀룰러 시스템

한편, 이동기지국이 무선 인지 기술 기반으로 채널 호핑을 하는 시스템을 고려해보자. 전장 환경에서는 항재밍 능력을 향상시키기 위해 채널 호핑 기법을 사용한다. TICN의 MSAP과 같은 협상 불가능한 셀룰러 시스템도 항재밍을 위해 채널 호핑을 적용하는 것이 가능하다. 대신 일반적인 호핑 순열을 따르는 것이 아니라 무선 인지 기술을 이용하여 비점유 채널 중 선택하여 호핑하는 시스템을 생각해볼 수 있다. Fig. 10과 같이 IEEE 802.22 또는 IEEE 802.16m의 슈퍼프레임 단위로 채널 호핑을 하는 시스템이 있다면, 슈퍼프레임 구간 내에서 단말 및 이동기지국이 센싱을 통해 획득한 채널 상태 정보는 슈퍼프레임이 끝나고 채널 호핑을 수행하면서 정보의 정확도가 급격히 낮아지게 된다. 또한 채널 호핑 수행 동안에는 단말의 센싱 기능을 활용할 수 없다. 이런 환경에서는 이동기지국이

UDCA-PS-AIA와 같이 전체 채널에 대한 센싱을 수행하여 채널 상태 정보를 갱신하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

6. 결론

본 논문에서는 협상 불가능한 이동셀룰러망에서 무선 인지 기반 비협력 동적 주파수 자원 할당 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 이동기지국간 동일 채널 간섭 발생 시 채널 변경 횟수를 감소시켜 효율적인 이동셀룰러망 운영을 가능하게 한다.

제안하는 기법은 무선 인지 기능에 따른 세 가지 시스템 모델에 일부 변형되어 적용되었다. 실험 결과 제안하는 기법은 임의로 채널을 선택하는 기법에 비해 적은 채널 변경 횟수를 보였다. 특히 UDCA-PS-IA는 다른 기법들보다 채널 변경 횟수 및 채널 지연 시간, 그리고 이에 대한 기지국간 공정성 면에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 한편, UDCA-PS-AIA는 채널 상태 정보의 정확도를 향상시키는 장점이 있어, 채널 상태가 빈번하게 변화하는 채널 호핑 시스템 등에 적용시 효과가 클 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2011-(C1090-1021-0011))

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음.(계약번호 : UD110032ED)

References

- [1] S. Nesargi and R. Prakash, "Distributed Wireless Channel Allocation in Networks with Mobile Base Stations", INFOCOM, 1999.
- [2] M. Salem and M. Salamah, "A Novel Distributed Wireless Channel Allocation Algorithm in Cellular Networks with Mobile Base Stations", MIC-CSC, 2008.
- [3] A. L. Garrett, T. G. Macdonald, D. L. Noneaker, M.

- B. Pursley and J. M. Shea, "Interference in Mobile Cellular CDMA Forward Traffic Channels", MILCOM, 1998.
- [4] D. S. Alberts, J. J. Garstka and F. P. Stein, Network Centric Warfare : Developing and Leveraging Information Superiority, CCRP, 2000.
- [5] R. A. Poisel, "Modern Communications Jamming Principles and Techniques", Artech House, 2003.
- [6] Q. Zhao and B. M. Sadler, "A Survey of Dynamic Spectrum Access : Signal Processing, Networking, and Regulatory Policy", IEEE Signal Processing Magazine, May, 2007.
- [7] C. Cordeiro, K. Challapali, D. Birru and Sai Shankar N, "IEEE 802.22 : The first Worldwide Wireless Standard Based on Cognitive Radio", DySPAN, 2005.
- [8] J. Denes and A. D. Keedwell, "Latin Squares and Their Applications", Academic Press Inc., New York, 1974.
- [9] D. Zhu and B. Natarajan, "Residue Number System Arithmetic Assisted Coded Frequency-hopped OFDMA", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2009.
- [10] L. Lightfoot, L. Zhang, J. Ren and T. Li, "Secure Collision-free Frequency Hopping for OFDMA-based Wireless Networks", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2009.