

지능형 무선 인지 기술 기반 네트워크 환경에서 MAC 계층 동적 주파수 선택 방법

조경진*, 김현주*, 노권문*, 정희원 유상조**

Dynamic Frequency Selection Method for Medium Access Control in Cognitive Radio Networks

Kyoung-jin Jo*, Hyun-Ju Kim*, Kweon-Mun Roh* *Associate Members,*
Sang-Jo Yoo** *Regular Member*

요 약

최근 FCC에서는 허가된 무선 통신 시스템의 비어 있는 주파수에 대해 허가되지 않은 통신 시스템의 중복 사용에 대한 내용을 고려하고 있다. 하지만 허가된 시스템과 비허가 시스템의 공존으로 인해 기존의 허가된 무선 통신 사용자에게 유해한 간섭을 주어 심각한 통신 성능 저하를 초래할 우려가 있다. 이와 관련하여 본 논문에서는 무선 인지 기술(cognitive radio technology)을 기반으로 MAC(Medium Access Control) 계층에서의 동적 주파수 선택 방법에 대하여 제안한다. 동적 주파수 선택 방법은 기지국과 단말의 센싱을 통해 획득한 감지 정보를 바탕으로 비어 있는 주파수 대역을 검출하여 채널 리스트를 생성하고 허가된 무선 통신 시스템을 감지하면 능동적으로 사용가능한 채널로 이동을 수행하는 방법으로, 이는 기존의 허가된 무선 통신 시스템에 간섭으로써 영향을 줄일 수 있는 동시에 비허가 시스템과 허가된 시스템의 공존을 가능하게 함으로써 채널의 효율성을 극대화시킬 수 있다.

Key Words : Cognitive Radio, Dynamic Frequency Selection, MAC, CPE, Quiet Period

ABSTRACT

Recently FCC has considered about the unlicensed device operation in licensed bands. However, this operation can give the harmful interference to the existent licensed system while unlicensed devices operate. Therefore, there should be strict requirements to protect licensed system. So in this paper we propose dynamic frequency selection method in the MAC layer, which is based on the cognitive radio technology. The proposed dynamic frequency selection method creates channel lists after sensing the licensed channels. And it helps the CR base station immediately to moves the current channels that are used by the unlicensed system to other available bands dynamically when a licensed system's signal is detected. This method can reduce interference that is caused by unlicensed devices. In addition, it can maximize channel utilization with enabling coexistence of unlicensed system and licensed system.

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10266-0)지원으로 수행되었음.

* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망 연구실 (tjksoul, multi, rkm21}@inhain.net)

** 인하대학교 정보통신대학원 교수 (sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-03-151, 접수일자 : 2006년 3월 29일, 최종논문접수일자 : 2006년 6월 26일

I. 서론

주파수는 국가의 무형자산으로서 자원은 한정되어 있는 반면에 이에 대한 수요가 급증하면서 주파수 자원의 가치가 점점 높아지고 있다. 특히 이동통신, WLAN, 디지털 방송 및 위성통신을 비롯하여 RFID/ USN, UWB 통신, WiBro 등 무선 통신을 이용하는 서비스가 급증하면서 한정된 주파수 자원에 대한 수요가 계속 증가하고 있다.

실제로 미국 FCC에서 각 지역의 주파수 활용도를 조사한 결과 매우 낮은 사용률을 보이고 있다고 보고했다.^[1] 따라서 주파수 활용도를 높이고 새로운 무선 통신 시스템의 도입을 용이하게 하고자 미국 FCC에서는 무선 인지 기술(Smart Radio^[2] 또는 Cognitive Radio^[3, 4])의 사용을 승인하였으며, 2003년 12월에 FCC NPRM^[5]의 주파수 공용 사용 가능성이 언급된 이후 이를 현실적인 시스템으로 개발하려는 노력이 IEEE 802.22 WRAN(Wireless Regional Area Networks) 워킹 그룹^[6]을 통하여 실질적으로 진행되고 있다. IEEE 802.22 WRAN은 TV 주파수 대역에 무선 인지 기술을 도입하여 사용하지 않는 TV 대역을 무선 데이터 통신에 사용하고자 하는 것이다. 2004년 8월에 PAR(Project Authorization Request)를 승인받은 IEEE 802.22 워킹 그룹은 PMP(Point-to-Multi-Point) 구조를 기본으로 하고 있으며, 허가된 무선 통신 시스템인 TV, LE(License Exempt) 시스템에 대한 간섭 억제, QoS(Quality of Service) 제공, WRAN시스템 간의 공존 등을 고려한 표준을 작성하고 있다.

이러한 전반적인 발전 추세에 맞추어 무선 인지 기술(cognitive radio)은 단지 IEEE 802.22뿐만 아니라 향후 차세대 무선 통신과 연동하여 서로 상호 보완적으로 사용될 가능성이 높다. 따라서 본 논문에서는 허가된 무선 통신 시스템이 사용하지 않는 비어있는 주파수 대역을 검출하여 비허가 시스템이 공존하여 사용하는 경우에 허가된 무선 통신 시스템에게 주는 간섭을 최소화시키기 위한 동적 주파수 선택 방법(DFS:Dynamic Frequency Selection)을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 본 논문에서 제안하는 동적 주파수 선택 방법에 대해 기술한다. 동적 주파수 선택은 세부적으로 센싱 단계, 주파수 변경 단계, 통신 불능 복구 단계로 구성되어 있다. 제 3장에서는 동적 주파수 선택 방법을 적용한 시나리오에 대해 자세히 설명하고, 제 4장에

서는 시나리오 별 수행비용을 분석하였다. 제 5장에서는 모의실험을 통해 제안된 방법의 성능평가를 수행하였고 마지막으로 제 6장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 동적 주파수 선택 방법

본 논문에서 제안하는 동적 주파수 선택 방법(DFS: Dynamic Frequency Selection)은 무선 인지 기술을 기반으로, 사용하지 않는 주파수 대역을 검출하여 그 대역을 사용하는 CR(Cognitive Radio) 시스템이 기존의 허가된 무선 통신 시스템을 감지했을 때, 사용하고 있던 대역을 신속하게 변경하여 허가된 시스템에게 간섭을 주지 않도록 하는 방법이다. 이것은 세부적으로 센싱 단계, 주파수 변경 단계, 통신 불능 복구 단계로 나누어진다. 본 논문에서 제안하는 동적 주파수 선택 방법에서는 무선 인지 기술을 실현하기 위해 하향링크 제어 부분으로 SysInfo 라는 것을 새롭게 정의하였다. SysInfo 는 Quiet Time, 채널 리스트, Broadcast messages 등 각종 제어에 필요한 정보나 메시지들을 전송하기 위한 전용 채널이다.

2.1 센싱 단계

CR 시스템은 허가된 무선 통신 시스템에게 영향을 끼치지 않도록 자신의 통신 영역뿐만 아니라 자신의 통신 영역 안에 있는 단말들 주위의 주파수 사용 상황도 인지해야 하기 때문에 기지국과 단말들 사이에서는 주파수 사용 상황에 대한 충분한 감지와 주파수 감지 정보의 교환이 필요하다. 따라서 센싱 단계는 허가된 무선 통신 시스템의 주파수 사용 현황을 감지하여 시스템간의 간섭을 피하고 사용 가능한 주파수의 정보를 습득할 수 있는 단계로 주기적인 센싱(2-a)과 자발적인 센싱(2-b)으로 분류된다.

먼저 주기적인 센싱은 일정한 간격으로 반복되는 Quiet Time 동안에 주변 환경을 감지하여 획득한 정보를 교환하는 방법으로 CR 기지국은 이 시간동안 감지한 정보를 바탕으로 주파수 대역 정보를 갱신하여 단말들에게 전송함으로써 보다 넓은 영역의 주파수 이용 상황을 인지하여 네트워크의 신뢰성을 높이고 허가된 무선 통신 시스템이나 다른 CR 시스템에 영향을 미치지 않도록 할 수 있다.

위에서 언급한 Quiet Time은 CR 기지국과 CPE 간의 통신 중에 센싱할 때 빈번한 신호 교환이나

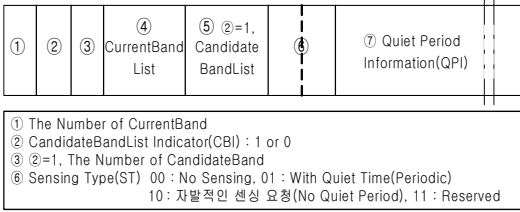


그림 1. 센싱 단계를 위한 SysInfo의 구성 요소

겹쳐진 신호로 인해 감지하기 어려운 상황에 대비하여 보다 신뢰성 있는 센싱을 하기 위해 주어진 시간으로 CR 시스템의 기지국이 scheduling한 주기에 따라 SysInfo에 정보를 표시함으로써 정해지게 된다. 또 주파수 대역 정보에는 현재 사용 중인 주파수 대역들의 리스트를 나타내는 CurrentBandList와 사용가능한 후보 주파수 대역들의 리스트인 CandidateBand List가 있으며 Current Band List는 매 프레임마다 주기적으로 보내는데 비해 Candidate-Band List는 간헐적으로 방송된다. 이를 위해 본 논문에서 정의하는 SysInfo에는 그림 1과 같은 요소들이 들어간다.

여기서 CandidateBandlist Indicator(CBI)는 CandidateBand List의 유무를 표시하는 것으로 CBI가 1이면 그림 1의 ③과 ⑤가 추가되면서 Current Band List와 CandidateBand List가 함께 방송된다. 또 2 bit의 Sensing Type(ST)은 주기적인 Quiet Time

상과 자발적인 센싱 요청의 구분을 위해 필요한 것이다.

주기적인 센싱은 그림 2-a처럼 SysInfo 구간의 Sensing Type(ST)이 01이면 CR 시스템 기지국이 정한 Quiet Period Information을 바탕으로 다음 Quiet Time이 시작할 시간을 알고 단말들은 Quiet Time 동안 주변 시스템에 대해 센싱을 수행한 후 이미 할당된 상향링크 자원으로 무선 감지 보고 메시지(Sensing Report)를 보냄으로써 감지한 주파수 대역 정보를 전송하여 주파수 대역 리스트를 갱신한다. 단, Quiet Time동안에는 CR 시스템의 기지국과 단말들 간에 어떠한 메시지 교환도 일어나지 않으며 오직 주파수 대역 측정만 수행할 수 있다.

다음으로 자발적인 센싱은 그림 2-b와 같이 SysInfo의 ST가 10일 때 단말(CPE)이 자체적으로 주파수 대역 측정을 수행하여 Current Band List와 Candidate-Band List의 주파수 대역에서 허가된 무선 통신 시스템이나 다른 CR 시스템의 간섭 신호를 CPE가 감지하였을 경우 즉시 무선 감지 보고 메시지(Sensing Report)를 보내어 CR 기지국에게 간섭받고 있는 주파수 대역을 알려준다. 만약 현재 CPE에게 할당되어 있는 상향링크 자원이 없을 경우에는 Random Code를 사용하여 기지국에게 상향링크 자원을 요청한 다음, 무선 감지 보고 메시지를 보내게 된다.

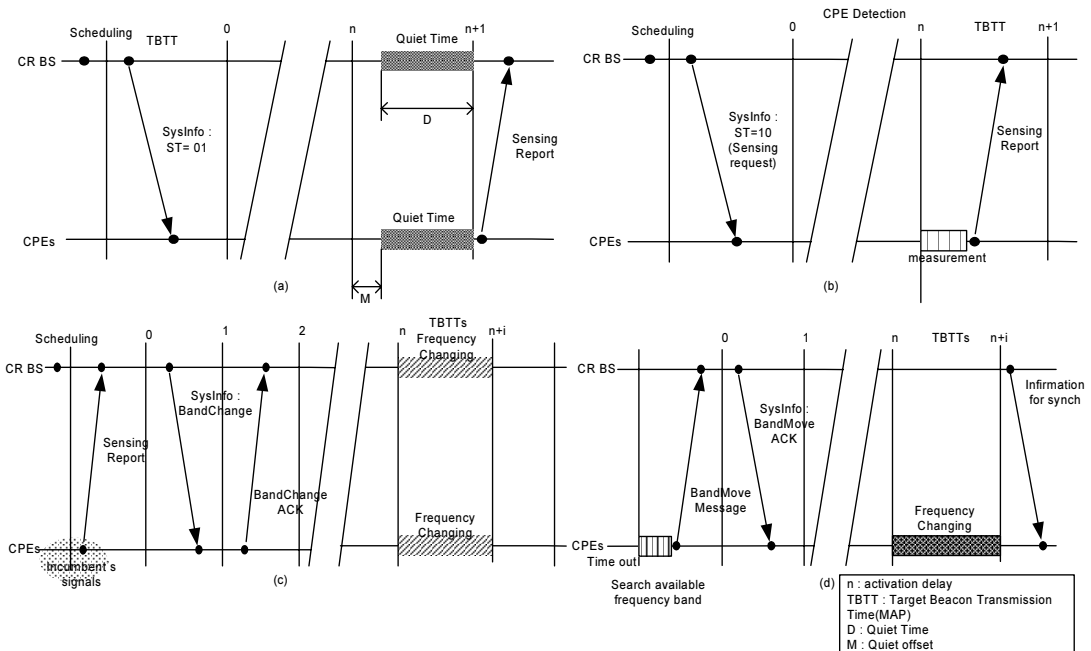


그림 2. 동적 주파수 선택 방법(Dynamic Frequency Selection)

2.2 주파수 변경 단계

상기에 언급한 센싱 단계를 통해 허가된 무선 통신 시스템의 신호를 CPE가 감지하여 알려주거나 CR 시스템의 기지국이 감지하면 주파수 변경 단계로 넘어간다. 주파수 대역이 변경되면 그 주파수 대역은 당분간 허가된 무선 통신 시스템이 사용하므로 CR 시스템은 사용할 수 없게 된다. CR 시스템의 기지국은 허가된 무선 통신 시스템의 신호가 감지될 경우 감지된 주파수 대역을 즉시 비워 주어야 하기 때문에 CR 시스템이 제공하는 서비스를 받고 있는 사용자(CPE)들에게 끊임 없는 지속적인 서비스를 제공하는 것이 중요하다.

본 논문에서 제안하는 주파수 변경 단계는 센싱 단계를 통해 허가된 무선 통신 시스템의 존재를 알게 되면 CR 시스템의 기지국은 주파수 대역 리스트를 바탕으로 이동하기 적합한 주파수 대역 검색을 시작한다. 새로운 주파수 대역을 찾으면 그림 2-c처럼 CR 시스템의 기지국은 검출된 대역으로 옮기기 전에 SysInfo 구간을 사용하여 CR 시스템의 서비스를 받고 있는 CPE들에게 주파수 대역 변경 통지 메시지(Band Change)를 방송(broadcast)한다. 이 때 BandChange는 옮겨갈 주파수 대역의 정보를 포함하고 있다. 그런 다음 Timer를 작동시켜 일정 시간 안에 CPE로부터 주파수 대역 변경 응답 메시지(BandChangeAck)를 받으면 주파수 대역 이동을 수행하고 시간이 만료되어도 CPE의 응답이 오지 않으면 CR 시스템의 기지국은 CPE가 통신 불능 상태로 간주하여 통신 불능 복구 단계를 수행한다.

CPE측에서는 주파수 대역 변경 통지 메시지(BandChange)를 받아 그 메시지가 통지하는 주파수 대역이 사용 가능하다면 주파수 대역 변경 응답 메시지(BandChangeAck)를 보낸다. 그리고 주파수 대역 변경 응답 메시지를 보낼 때 이미 상향링크에 그 CPE에게 할당된 자원이 있을 경우에는 바로 해당 자원을 이용하여 보내면 되지만, CPE에게 할당된 자원이 없을 경우에는 Random Code를 사용하여 상향링크 자원을 요청한 다음 일부분을 할당받아 응답 메시지를 보내게 된다. 만약 일정 시간 안에 BandChange를 받지 못했거나 받았지만 그 메시지를 디코딩 할 수 없는 경우에는 통신 불능 상태가 발생한 것으로 간주하고 통신 불능 복구 단계를 수행하게 된다.

2.3 통신 불능 복구 단계

위의 주파수 변경 단계에서 CR 기지국의 무선

감지 요청에도 불구하고 일정 시간동안 CPE로부터 무선 감지 보고 메시지를 받지 못했거나, 받고 나서 주파수 대역 변경 통지 메시지(BandChange)를 하향링크로 보냈지만, 간섭의 정도가 심해, CPE가 하향링크에 대해 디코딩을 할 수 없는 경우를 통신 불능 상태라 한다. 통신 불능 상태는 보통 상·하향링크 주파수 대역 상태가 나쁘거나 허가된 무선 통신 시스템의 전력(신호 세기)이 CR 시스템의 전력보다 강할 때 발생한다.

특정 CPE가 통신 불능 상태로 간주되면 그림 2-d처럼 CR 기지국은 CPE가 변경하고자 하는 채널을 통해 자체 주파수 대역 변경 메시지(BandMove)를 송신할 때까지 일정시간을 기다린다. 이 시간 동안에 BandMove를 받으면, CR 기지국은 그 메시지에 포함된 채널 정보를 바탕으로 채널 리스트를 수정하고 응답메시지(BandMoveACK)를 전송한다. 이러한 방법을 통해 기존 CPE들의 채널이 바뀌었을 때 새로운 등록이나 인증 절차를 거치지 않고 빠르게 통신을 재시작할 수 있다.

CPE는 자신의 하향링크 주파수 대역이 간섭으로 인해 디코딩 할 수 없기 때문에, 그림 2-d와 같이 CurrentBand List, CandidateBand List순서로 다른 주파수 대역 중 사용가능한 주파수 대역을 검출하여 동기를 맞춘다. 그리고 자체 주파수 대역 변경 메시지(BandMove)를 보내기 위한 자원 할당 요청을 위해 Ranging Code를 보내고 상향링크의 자원을 할당받을 때까지 대기한다. 상향링크 자원을 할당 받았다면 CPE는 BandMove를 보내고 응답메시지(BandMove-ACK)를 기다린다. 응답메시지를 받으면 CPE와 CR 시스템의 기지국은 주기적인 레인징을 통해 변경된 파라미터들을 교환함으로써 통신상태가 복구된다. 그러나 CandidateBand List에서도 사용가능한 주파수 대역을 찾지 못했을 경우, CPE는 모든 주파수 대역을 검색해야만 한다. 여기서 BandMove 와 BandMoveACK는 새로운 주파수로 CPE가 조인했다는 것을 기지국과 단말국 사이에 확인하고 CPE가 양쪽의 채널을 사용하기 위함인지, 이전 채널이 통신 불능 상태가 되어 어쩔 수 없는 이동인지를 구별하기 위해 사용된다.

Ⅲ. 제안하는 동적 주파수 선택 방법을 적용한 시나리오

3.1 시나리오 I : DL and UL are Available
첫 번째 시나리오는 TDD(Time Division Duplex)

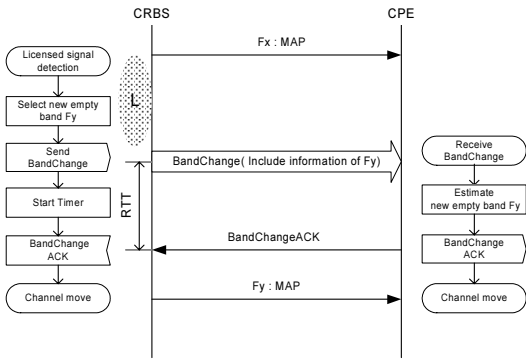


그림 3. scenario 1

과 FDD(Frequency Division Duplex)에 모두 적용되는 것으로 CR 시스템의 기지국이 허가된 무선 통신 시스템의 신호를 감지할 수 있고, 허가된 무선 통신 시스템의 신호가 약하여 신호의 간섭은 받지만 CR 기지국과 CPE간의 메시지 교환은 가능한 경우에 해당한다.

다음 그림 3에서처럼 일단 CR 시스템의 기지국이 허가된 무선 통신 시스템의 신호를 감지하게 되면 CurrentBand List나 CandidateBand List에서 사용가능한 주파수 대역을 선택하여 BandChange 메시지에 그와 관련된 채널 정보를 담아 CPE에게 보내면, 해당 CPE는 CR 기지국이 보내준 채널 정보를 바탕으로 사용 적합성을 판단한 후 그에 대한 긍정적 응답으로 BandChangeAck 메시지를 전송하고 물리적으로 채널을 이동하게 된다.

3.2 시나리오 II : Only UL is Blocked

두 번째 시나리오는 FDD(Frequency Division Duplex)를 사용할 때 적용되는 것으로 CR 시스템의 기지국과 CPE의 통신 중에 허가된 무선 통신 시스템의 강한 신호가 CPE의 상향링크에 나타나 해당 상향링크는 통신 불능 상태가 되고 하향링크는 사용가능한 경우에 해당한다. 그림 4와 같이 CR 기지국의 Timer가 만료될 때까지 해당 CPE에게서 아무런 반응이 없을 때에는 해당 상향링크를 통신 불능 상태로 간주하여 채널 리스트에서 새로운 주파수 대역을 찾아 BandChange 메시지에 정보를 담아 보낸다. BandChange 메시지를 받은 CPE는 그에 대한 응답 메시지를 보내기 위해 채널 리스트에 있는 다른 채널에 동기를 맞추고 Random Code를 보내어 상향링크 자원을 요청하고, 코드를 받은 CR 기지국은 UL-MAP(Uplink Map) 메시지에 CDMA_Allocation_IE를 추가하여 해당 CPE에게 상향링크

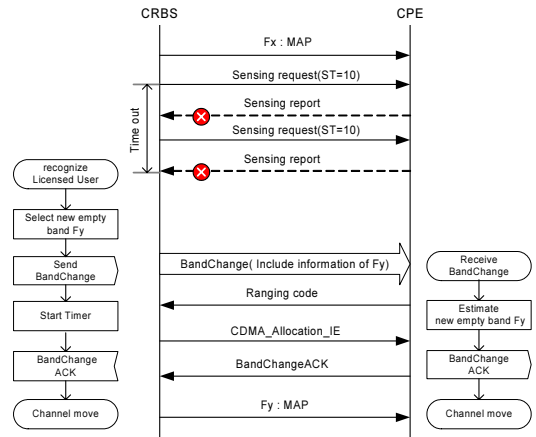


그림 4. scenario 2

를 할당해 준다. 그러면 CPE는 BandChange ACK 메시지를 보낸 후 물리적인 채널 이동을 수행하게 된다.

3.3 시나리오 III : Only DL is Blocked

세 번째 시나리오 또한 FDD(Frequency Division Duplex)를 사용할 때 적용되는 것으로 시나리오 II와는 반대로 CR 시스템의 기지국과 CPE의 통신 중에 허가된 무선 통신 시스템의 강한 신호가 CPE의 하향링크에 등장하여 해당 하향링크는 통신 불능 상태가 되고 상향링크는 사용가능한 경우이다.

아래 그림 5와 같이 CPE는 기지국의 신호가 일정 시간동안 오지 않으면 하향링크를 통신 불능 상태로 간주하고 자신이 가지고 있는 채널 리스트에서 사용가능한 주파수 대역을 선택하여 CR 기지국에게 선택한 주파수 대역에 대한 정보를 담아 BandMove 메시지를 전송한다. CPE로부터 BandMove 메시지를

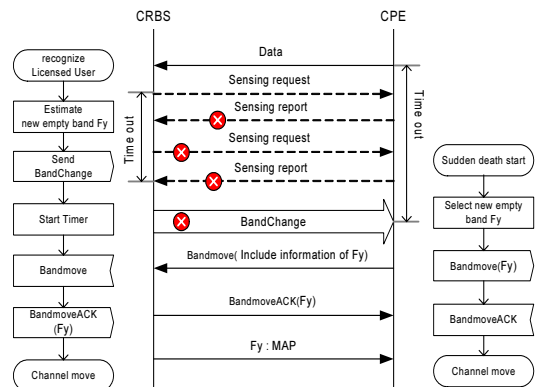


그림 5. scenario 3

를 받은 CR 기지국은 그 메시지에 포함되어있는 채널 정보를 바탕으로 이동할 채널이 적합한지 살펴본 후에 그에 대한 응답으로 CPE가 선택한 채널의 하향링크 자원을 통해 BandMoveACK 메시지를 보낸 후, 물리적인 채널 이동을 수행한다.

3.4 시나리오 IV : DL and UL are Blocked

네 번째 시나리오는 동일한 주파수 대역을 이용하여 양방향 전송을 지원하는 TDD(Time Division Duplex)를 사용할 때 적용할 수 있다. 이 시나리오는 CR 기지국과 CPE의 통신을 위해 사용하고 있는 주파수 대역에 허가된 무선 통신 시스템의 강한 신호가 나타났을 때, 하향링크와 상향링크가 동시에 통신 불가능 상태로 되는 경우이다.

다음 그림 6을 보면 CR 기지국과 CPE는 일정 시간 동안 서로에게 수신되는 신호가 없을 경우 CR 기지국은 상향링크, CPE는 하향링크가 통신 불가능 상태라고 간주한다. 그래서 CR 기지국은 하향링크의 통신 불가능 상태를 인지하지 못하고 새로운 사용 가능한 주파수 대역을 선택하여 CPE에게 보내지만 하향링크 역시 통신 불가능 상태이므로 CPE는 수신할 수 없다. 따라서 일정 시간이 만료된 CPE는 상향링크 자원을 요청하고자 채널 리스트에서 선택한 다른 주파수 대역에 동기를 맞추고 Random Code를 선택하여 레인징 부채널(Ranging Subchannel)를 통해 보낸다. 그 Random Code를 받은 기지국은 UL-MAP(Uplink Map) 메시지에 CDMA_Allocation_IE를 추가하여 해당 CPE에게 상향링크를 할당해 준다. 그런 다음 CPE는 CR 기지국에게 선택한 주파수 대역에 대한 정보를 담아 BandMove 메시지를 보내게 되고 CPE

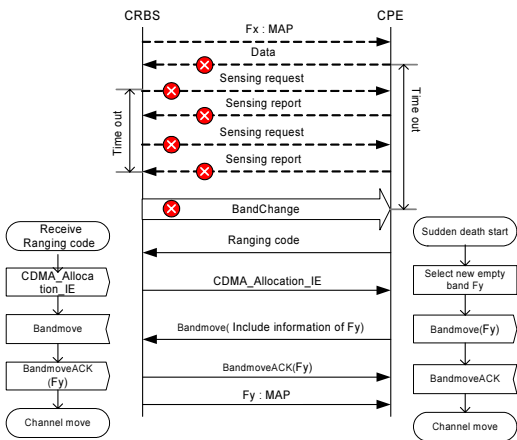


그림 6. scenario 4

로부터 BandMove 메시지를 받은 CR 기지국은 그 메시지에 포함되어있는 주파수 대역 정보를 바탕으로 이동할 주파수 대역이 적합한지 살펴본 후에 그에 대한 응답으로 CPE가 선택한 채널의 하향링크 자원을 통해 BandMoveACK 메시지를 보내고, 물리적인 채널 이동을 수행하게 된다.

IV. 시나리오 별 DFS Operation Cost

본 장에서는 3장에서 제안된 시나리오에서 DFS(Dynamic Frequency Selection)를 수행하는데 필요한 비용에 대해서 분석하였다. 다음 그림 7은 각 시나리오에 따른 시간 배치도이다.

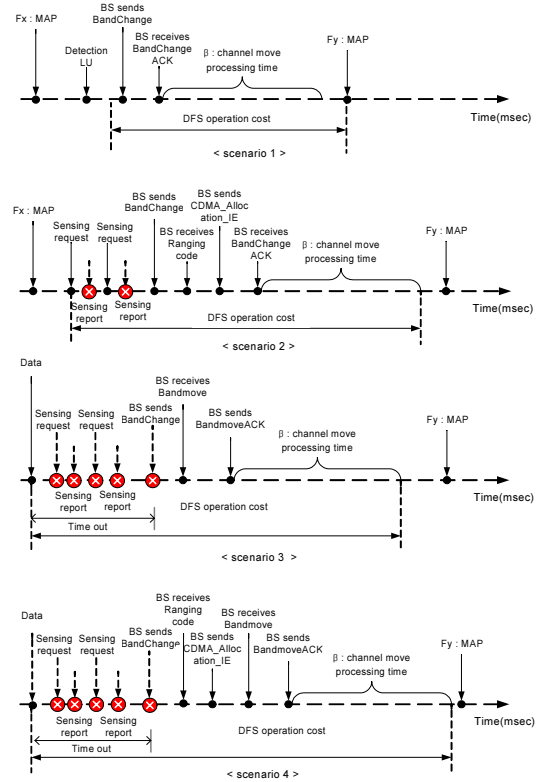


그림 7. 시나리오 별 DFS operation cost

위의 분석을 바탕으로 각 DFS 수행 비용을 계산하기 위해 다음과 같은 파라미터들을 정의하였다.

- T_{BC} : BandChange Message의 프레임 전송 시간.
- T_{BCA} : BandChangeAck Message의 프레임 전송 시간.
- T_{SRQ} : Sensing Request Message의 프레임 전송

시간.

- T_{SRP} : Sensing Report Message의 프레임 전송 시간.
- T_{RC} : Ranging Code의 프레임 전송 시간.
- T_{CAIE} : CDMA_Allocation_IE(UL-MAP)의 프레임 전송 시간.
- T_{Data} : CPE가 BS와의 통신 중에 보내는 데이터의 프레임 전송 시간.
- T_{BM} : BandMove Message의 프레임 전송 시간.
- T_{BMA} : BandMoveAck Message의 프레임 전송 시간.
- T_{AQD} : 다음 Quiet Time이 오기까지 기다려야 하는 평균 지연 시간.
- T_{prop} : 한 프레임 당 신호 전파 시간(propagation time).
- β : CPE와 BS의 하드웨어적 채널 변경이 이루어지는 시간.

따라서 각각의 시나리오에 따른 DFS의 operation cost는 메시지 송수신 결과에 따라 다음과 같이 계산된다.

$$C_{scenario 1} = T_{BC} + T_{BCA} + 2T_{prop} + \beta \quad (1)$$

$$C_{scenario 2} = 2(T_{SRQ} + T_{SRP} + 2T_{prop}) + T_{BC} + T_{RC} + T_{CAIE} + T_{BCA} + 4T_{prop} + \beta \quad (2)$$

$$C_{scenario 3} = T_{Data} + 2(T_{SRQ} + T_{SRP} + 2T_{prop}) + T_{BC} + T_{BM} + T_{BMA} + 4T_{prop} + \beta \quad (3)$$

$$C_{scenario 4} = T_{Data} + 2(T_{SRQ} + T_{SRP} + 2T_{prop}) + T_{BC} + T_{RC} + T_{CAIE} + T_{BM} + T_{BMA} + 6T_{prop} + \beta \quad (4)$$

V. 성능 평가

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 동적 주파수 선택 방법에 대한 모의 실험 결과를 설명한다.

먼저 CR 기지국과 CPE간의 일정 시간 통신 중에 허가된 무선 통신 시스템이 나타날 수 있는 채널의 평균을 분석하였다. Quiet Time동안에 허가된 무선 통신 시스템의 신호가 감지되면 바로 DFS를 이용하여 변경할 수 있지만, 문제는 Quiet Period에서 다음 Quiet Time전에 나타난 허가된 무선 통신 시스템의 신호를 검출하지 못할 경우이다.

본 실험에서는 Quiet Period와 확률 P를 변화시키면서 Quiet Period 동안 허가된 무선 통신 시스템이 나타날 수 있는 평균 채널의 수(5)를 검토하였다.

$$(QP - QT) \times P \times N \quad (5)$$

- P : 단위시간동안 임의의 허가된 시스템이 나타날 확률.
- N : CR 시스템이 감지하고 사용할 수 있는 전체 채널의 수.
- QT : 보다 신뢰성 있는 센싱을 위해 CR 시스템의 기지국과 단말들 간에 어떠한 메시지 교환 없이 오직 주파수 대역 측정만 수행하는 시간.
- QP : Quiet Time이 시작한 시간부터 다음 Quiet Time이 시작하기 바로 전까지의 시간.

Quiet Period가 길어질수록 CR 시스템이 사용하는 채널 중에 허가된 무선 통신 시스템에게 영향을 주는 채널의 수도 증가하게 된다. 그러나 이를 고려하여 Quiet Period를 짧게 설정한다면 빈번한 Quiet Time으로 인한 Overhead(OV)가 생긴다. 여기서 OV는 Quiet Time으로 인해 통신을 하지 못하고 낭비되는 시간의 비율(6)로 다음과 같이 계산하였다.

$$OV = \frac{QT}{QP} \quad (6)$$

그림 8은 Quiet Time이 20ms이고 Quiet Time 동안에 총 50개의 채널을 감지한다고 할 때 Quiet Period에 따른 허가된 무선 통신 시스템이 나타날 평균 채널의 수와 Overhead를 보여주고 있다. 이 결과를 참조하여 허가된 무선 통신 시스템이 P확률로 나타날 때 적합한 Quiet Period를 파악할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 동적 주파수 선택 방법은 무선 인지 기술을 기반으로 사용하지 않는 주파수

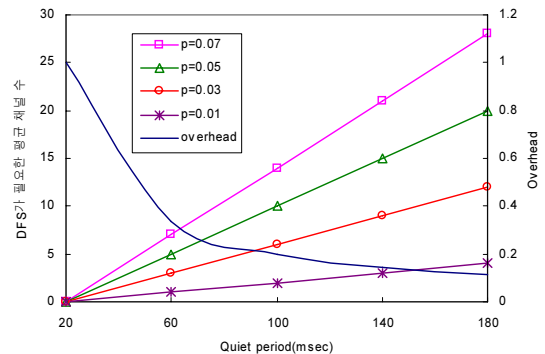


그림 8. Quiet Period에 따른 DFS가 필요한 평균 채널의 수 및 Overhead

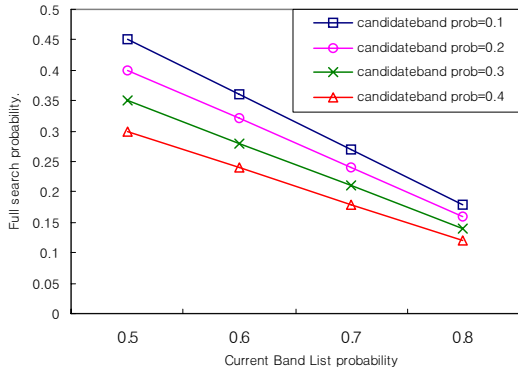


그림 9. $P_{current}$ 와 $P_{candidate}$ 에 따른 full search probability.

대역을 검출하여 그 대역을 사용하는 CR 시스템이 기존의 허가된 무선 통신 시스템에게 영향을 미치지 않기 위해서 사용하고 있던 대역을 변경한다. 이때 CurrentBand List와 CandidateBand List를 이용하여 새로운 사용가능한 주파수 대역을 찾음으로써 full search를 하여 찾는 것보다 검색 시간을 절약할 수 있다. CPE가 통신 불능 상태에 빠진 상태에서 CR 기지국과의 통신을 위해 새로운 채널을 확보할 때, 현재 CR 기지국이 서비스 중인 CurrentBand list에서 사용가능한 주파수 대역을 찾을 확률을 $P_{current}$ 라 하고, CandidateBand list에서 사용가능한 주파수 대역을 찾을 확률을 $P_{candidate}$ 라 하면 CPE가 CR 기지국과의 통신을 위한 채널을 채널리스트에서 확보하지 못하여 전 대역을 탐색해야하는 full search 확률은 $(1 - P_{current})(1 - P_{candidate})$ 가 된다. 그림 9는 $P_{current}$ 과 $P_{candidate}$ 의 변화에 따라 full search를 해야 할 확률을 나타내고 있다.

다음으로 상기 4장의 분석에 기초하여 제안된 각 시나리오의 성능을 분석하였다. 이를 위해 CR 기지국과 CPE사이에서 한 프레임의 전송 시간을 5ms로 정하여 실험하였다. propagation time은 전파 속도가 $2.99774 \times 10^8 m/sec$ 이므로 CR 기지국과 CPE 사이가 30km만큼 떨어져 있다고 가정할 때 0.1ms가 된다. 단, β 는 1sec로 하고 그 외에 processing time은 무시한다. 그림 10은 위 파라미터 값을 적용하여 각 시나리오 별 DFS operation cost를 계산한 결과를 나타내고 있다.

시나리오 2와 4에서는 CPE가 BandChangeAck, BandMove, Sensing Report 같은 메시지를 보내기 위해 다른 채널에 동기를 맞추고 Random Code를 보내어 상향링크의 자원을 요청하는 단계가 포함되어 있다. 여기서 Random Code Set은 0~255로 한

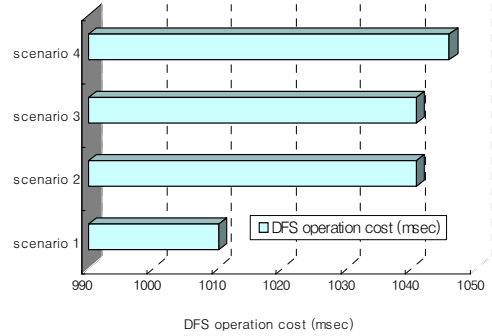


그림 10. CPE의 수에 따른 각 단말이 선택한 code의 충돌 확률

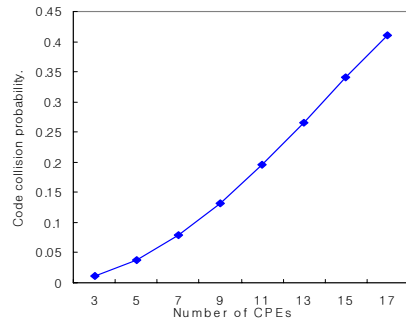


그림 11. CPE의 수에 따른 각 단말이 선택한 code의 충돌 확률

정되어 있는데 상향링크 자원을 요청하는 CPE의 수가 많아지면 각 CPE가 선택한 Random Code가 다음과 같은 확률(8)로 충돌이 일어날 수 있다.

그림 11은 상향링크의 자원 요청을 시도하는 CPE의 수에 따른 각 단말이 선택한 Random Code (0 ~ 255)의 충돌 확률을 보여주고 있다.

$$(전체 확률) - (각각의 CPE들이 전부 다른 코드를 선택할 확률) = 1 - \frac{n \times (n-1) \times (n-2) \times \dots \times (n-k+1)}{n^k} \quad (7)$$

$$= 1 - \frac{n!}{n^k(n-k)!} \quad (8)$$

n : number of ranging codes
k : number of CPEs.

위와 같은 확률로 충돌이 났을 경우 단말은 백오프 윈도우 내에서 하나의 번호를 무작위로 선택하는 랜덤 백오프 방법을 사용한다. 이 무작위의 값은 단말이 전송 이전에 연기해야하는 경쟁기반 전송 기회의 번호를 나타낸다. 백오프 윈도우는 기지국에 의하여 제어되고 그 값은 CR 기지국에 의해 주기

적으로 상향링크 물리 채널의 특성을 정의하는 UCD (Uplink Channel Descriptor) 메시지의 일부분으로서 규정되며, 2의 지수승 값을 가진다. 예를 들어, 4의 값은 윈도우가 0에서 15사이라는 것을 나타낸다. 따라서 시나리오 2와 4에서 DFS를 수행시 접근하는 CPE의 수가 많아 Random Code가 충돌이 났을 경우 그 충돌로 인한 백오프 지연 시간($T_{backoff}$)도 고려해야한다.

VI. 결론

본 논문에서는 무선 인지 기술을 사용하는 시스템을 위한 MAC 계층에서의 동적 주파수 선택 방법을 제안하였다. 제안하는 동적 주파수 선택 방법은 CR 시스템 주위에 존재할 가능성이 있는 허가된 무선 통신 시스템들이나 다른 CR 시스템에 간섭을 주지 않도록 하기 위하여 기지국과 단말 사이에 충분한 주파수 감지 정보의 교환을 통해 CR 시스템이 허가된 무선 통신 시스템의 존재를 효율적으로 인식하고, CR 시스템이 허가된 무선 통신 시스템에 영향을 끼칠 가능성이 존재하게 되면 사용 가능한 주파수 대역으로 변경을 시도함으로써, 서로 간의 신호 간섭을 피할 수 있다. 또한, 사용하고 있는 주파수 대역 리스트(CurrentBand List)외에 후보 주파수 대역 리스트(CandidateBand List)가 간헐적으로 제공되는 동적 주파수 선택 방법을 사용하여 신속하게 사용가능한 주파수 대역 검색을 수행하고, 혹시 있을 통신 불능 상태에 대비하여 통신 불능 복구 메커니즘을 수행함으로써, CR 시스템의 서비스를 받고 있는 사용자들에게 지속적인 서비스를 제공할 수 있도록 하였다.

또한 시나리오별 분석을 통해 센싱 단계와 주파수 변경, 통신 불능 복구 단계까지 필요한 메시지 지연 시간에 관련된 식을 유도하였고 이를 이용한 성능 평가를 통해 본 논문에서 제안된 동적 주파수 선택의 적합한 Quiet Period와 수행비용을 파악할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Joseph Mitola III, "Software radios : Survey, critical evaluation and future directions", IEEE Aerospace and Electronic System Magazine, Vol. 8, Issue. 4, pp. 25-36, April 1993.
 [2] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications", IEEE International Workshop on Mobile Multimedia

Communications, pp. 3-10, November 1999.

[3] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio : An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", 2004.
 [4] Magnus Janson, and Magnus Karlsson, "WOK - A Simulation Model for DFS and Link Adaptation in IEEE 802.11a WLAN", 2004.
 [5] IEEE Std. 802.11h - IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications - Amendment 5: Spectrum and Transmit Power Management Extensions in the 5 GHz band in Europe, 2003.
 [6] FCC, Spectrum policy task force report, No. 02-155, November 2002.
 [7] FCC, Notice of rule making and order, No. 03-322, December 2003.
 [8] IEEE 802.22-05/0007r47, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN standard", 2006.
 [9] IEEE Std. 802.16 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems, 2004.

조 경 진 (Kyoung-jin Jo)

준회원



2005년 2월 인하대학교 컴퓨터 공학과(공학사)
 2005년 2월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
 <관심분야> Cognitive Radio, 휴대인터넷(Wibro), 무선 센서 네트워크

김 현 주 (Hyun-Ju Kim)

준회원



2004년 2월 인하대학교 정보통신공학과(공학사)
 2005년 8월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정
 <관심분야> Cognitive Radio, 휴대인터넷(Wibro), 무선 센서 네트워크

노 권 문 (Kweon-Mun Roh)

준회원



2004년 8월 인하대학교 컴퓨터
공학과 (공학사)
2004년 8월~현재 인하대학교
정보통신대학원 석사과정
<관심분야> Cognitive Radio, 무
선 인터넷 QoS, IEEE 802.16

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

정회원



1988년 2월 한양대학교 전자통
신학과(공학사)
1990년 2월 한국과학기술원 전
기및전자공학과(공학석사)
2000년 8월 한국과학기술원 전
자전산학과(공학박사)
1990년 3월~2001년 2월 KT 연

구개발본부

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수
<관심분야> 인터넷 QoS, 초고속 통신망 구조, 멀티미
디어 네트워킹, 트래픽 엔지니어링