

QoS 보장을 위한 Cognitive Radio 기반의 동적인 스펙트럼 할당 MAC 프로토콜

손선봉^o 조인휘

한양대학교 대학원 전자컴퓨터통신공학과
changwei@hanyang.ac.kr, iwjoe@hanyang.ac.kr

Dynamic Spectrum Allocation MAC Protocol based on Cognitive Radio for QoS Support

Xianfeng Sun^o Inwhee Joe
Department of Electronics and Computer Engineering
Hanyang University

요 약

비능률적인 스펙트럼 이용률과 제한적인 스펙트럼 밴드 사용의 문제점을 해결하기 위하여, Cognitive Radio가 중요한 솔루션으로써 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 다중 채널 무선 네트워크에서의 QoS 보장을 위하여 Cognitive Radio 기반의 동적인 스펙트럼 할당 (Dynamic Spectrum Allocation)을 이용한 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. 사용자의 요청에 따라서, 유동적인 스펙트럼은 DSA 메커니즘을 통한 QoS 보장을 위하여 할당 된다. 그리고 동적인 스펙트럼 할당 (DSA)은 컨트롤 채널의 FRQ/FRP/ACK-hello와 데이터 채널의 DATA/ACK에 의하여 동작한다. 스펙트럼 공유의 성능을 증가시키기 위한 협력 검출 (Cooperative Detection)을 위하여, MAC 프로토콜에서는 Hello 메시지가 주기적으로 교환된다. 추가적으로, 성능 평가를 통하여 본 논문에서 제안한 DSA-MAC이 IEEE 802.11 MAC에 비하여 높은 데이터 처리량을 보임을 증명했다.

1. 서 론

기존의 무선 통신 시스템 환경에서는 각각의 무선 시스템에서 고정된 주파수 설정 정책을 사용했다. 고정된 주파수는 주로 국가에 의해서 허가된 유저나 서비스에 할당되었다. 이런 고정 주파수 할당 방식으로 인해 그림 1처럼 주파수 사용률은 굉장히 비효율적이고 심한 낭비가 발생한다. FCC[1]에 따르면 시간적, 지리적 변화에 따른 고정 주파수의 사용률은 최소 15%에서 최대 85%까지 큰 폭으로 변화를 한다. FCC의 조사를 통해서 대부분의 주파수들은 거의 대부분의 시간은 사용되지 않는 상태라는 것을 알 수 있다. 이런 고정 주파수 할당 방법이 과거에는 동작하는데 문제가 없었지만 지금은 무선 이동 서비스에 대한 수요가 크게 증가함에 따라 제한된 자원을 이용해야 한다는 측면에서 주파수 hole 이라고 부르는 허가된 대역의 주파수 중 사용되지 않는 부분에 대한 효율적 사용법이 중요한 문제로 지목되고 있다.¹

앞에서 언급한 비효율적인 주파수 사용률과 크게 제한된 이용 가능한 대역폭의 문제 등을 해결하기 위해

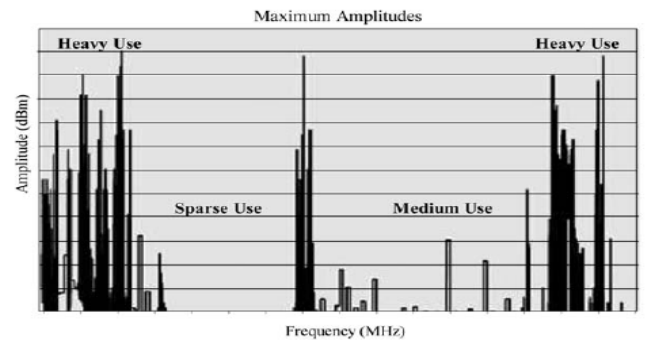


그림 1 스펙트럼 이용현황

Cognitive Radio (CR)[2][3]가 해결책으로 부각되었다. xG 망 환경에서[4]의 CR의 주된 기능은 주파수 센싱, 주파수 관리, 주파수 이동, 주파수 공유로 나누어다.

동적 주파수 접근 기법은 기존의 유저와의 간섭 없이 상황에 따라 허가된 주파수에 접근하는 것으로 알려져 있다. 그러나 기존의 무선환경에서 사용하던 물리 계층의 채널 탐색 기법이나 MAC 프로토콜 등은 Cognitive Radio에서 사용하기에 적합하지 않다. 허가된 주파수 영역까지 탐색이 가능한 광대역 센싱 기법과 동적 채널 할당이 가능한 다중 채널 MAC 프로토콜의 사용이 필수적이다.

본 연구는 정부통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구 센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IIITA-2008(C1090-0801-0047))

그런 측면에서 본 논문에서는 Cognitive Radio 기반의 동적 주파수 할당 MAC 프로토콜이라는 다중 채널 무선 환경에서의 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. 사용자의 요청에 따라서, 유동적인 스펙트럼은 DSA 메커니즘을 통한 QoS 보장을 위하여 할당 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 연구된 Cognitive Radio에서의 MAC 프로토콜에 대해서 정리하고 3장에서는 본 논문에서 제안하는 QoS를 제공하기 위한 Cognitive Radio 기반의 동적 주파수 할당 MAC 프로토콜을 설명한다. 그리고 4장에서 이론적 분석을 통한 성능 평가를 하고 마지막 장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

기존의 기법들은 대부분 애드혹 망에서의 Cognitive Radio를 기반으로 하는 MAC 프로토콜이었다. 동적 개방 주파수 공유 MAC 프로토콜[5]은 다음과 같은 5단계로 되어있다. (1) 존재하는 1차 유저 탐색, (2) 세 가지의 동작 주파수 대역 설정: busy tone band, 컨트롤 채널, 데이터 밴드, (3) 주파수 맵핑, (4) 주파수 협상, (5) 데이터 전송. 또한 두 가지의 transceiver가 필요하다. 하나는 컨트롤 채널과 데이터 밴드가 공유하고, 다른 하나는 무선 통신 환경에서 hidden terminal과 exposed 노드 문제를 해결 하기 위해서 busy tone band가 사용한다. Busy tone 신호를 증가시키기 위한 전담 transceiver 때문에 오버헤드가 크다.

[6]에서는 통계적으로 채널을 할당하는 SCA-MAC이라는 Cognitive MAC 프로토콜을 제안했다. SCA-MAC은 CSMA/CA 기반의 프로토콜로 채널 접근을 위한 의사결정에 사용되는 주파수의 사용률의 통계적 수치를 이용하는 기법이다. SCA-MAC는 크게 세 가지의 동작으로 구분된다. (1) 환경을 검색하고 인지, (2) 컨트롤 채널을 통해 CRTS/CCTS 교환, (3) 데이터 채널을 통한 데이터 전송 및 ACK 전송. 그러나 SCA-MAC은 주파수 공유와 센싱에 있어서 효율적이지 못했다.

[7]에서는 Distributed Coordinated Spectrum Sharing MAC 프로토콜을 제안했다. 이 프로토콜에서는 1차 유저로의 간섭 현상을 크게 줄일 수 있는 협력 검색을 위해 CHRPT-S를 사용했다. 또한 사용 가능한 채널 리스트를 RTS, CTS 메시지에 추가함으로써, 송수신 양단이 사용 가능한 보조 데이터 채널을 알 수 있다. 그러나 이를 위해서는 보조 데이터 채널을 나타내는 특정 time slot이 이웃 노드 사이 동기화 되어 있어야 하는데 CHROT-S 주기의 지연시간이 크기 때문에 성능저하에 영향을 준다.

3. 동적인 스펙트럼 할당 MAC 프로토콜

본 논문에서는 다중 채널 무선 네트워크에서의 QoS

보장을 위하여 Cognitive Radio 기반의 동적인 스펙트럼 할당을 이용한 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. 사용자의 요청에 따라서, 유동적인 스펙트럼은 DSA 메커니즘을 통한 QoS 보장을 위하여 할당 된다. 그리고 동적인 스펙트럼은 컨트롤 채널의 FRQ/FRP/ACK-hello와 데이터 채널의 DATA/ACK에 의하여 동작한다. 스펙트럼 공유의 성능을 증가시키기 위한 협력 검출 (Cooperative Detection)을 위하여, MAC 프로토콜에서는 Hello 메시지가 주기적으로 교환된다. DSA-MAC 프로토콜은 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance(CSMA/CA) 기술을 기반으로 하며 아래와 같은 몇 가지 가정을 하고 있다.

(1) 본MAC에서의 통신 가능한 데이터 채널은 ZigBee의 스펙트럼 밴드 범위에 제한을 받는다. 채널의 수는 0부터 26까지 27개이고 ZigBee Alliance에 특화되어 있다. 채널0은 컨트롤 채널로서 사용 되고 그 외의 채널들은 데이터 채널로 사용된다.

(2) CR 노드가 동시에 서로 다른 채널에 접근할 수 있는 다중 half-duplex tranceivers을 갖고 있다. 컨트롤 채널은 컨트롤 정보의 교환을 위해 쓰인다.

(3) 각각의 CR 노드는 주위 환경을 센싱 할 수 있는 능력을 가지고 있다. 스펙트럼 센싱이 주기적으로 일어난다.

제안하는 MAC 프로토콜에서는MIMO와 OFDM기술에 적용된다. Hello 메시지의 변화와 협상과정은 하나의 협조적인 송수신기에 의해 컨트롤 채널에서 완료된다. 그것은 멀티채널 무선네트워크 환경에서 남은 송수신기가 데이터통신을 위해 활용될 수 있다는 것을 의미한다. 그래서 hidden terminal과 exposed node 문제를 해결한다. 그림 2 은 FRQ/FRP mechanism의 예를 보여주고 있다.

- 컨트롤 채널 0에서 FRQ/FRP가 변화한다.
- 이웃 노드들은 FRQ/FRP를 받고선 SST를 업데이트 한다.
- 데이터 통신은 데이터 채널 3,4,8에서 이루어진다.

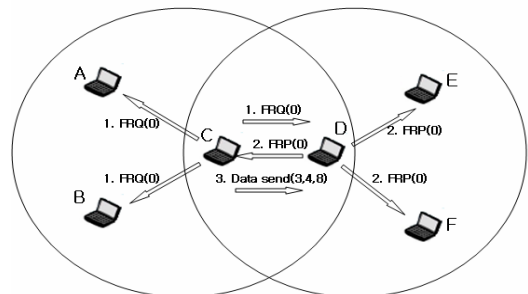


그림 2 DSA-MAC 프로토콜의 예

3.1 스펙트럼 센싱과 SST(스펙트럼 상태 테이블)

우선, 무선인지의 중요 요구사항은 licensed 사용자에게 할당된 스펙트럼 출을 센싱 하는 것이다. 그리고 무

선인지 사용자들에 의해 접속할 수 있다. 스펙트럼 센싱 테크닉은[8] matched 필터링, 에너지 검출, cyclostationary 특징 검출을 포함하고 있다. 제안하는 MAC프로토콜에서는, 에너지 검출 방식이 스펙트럼 센싱에 사용되고 있다. 에너지 검출을 통해서 우리는 각각의 채널의 SINR (signal-to-interference plus noise ratio) 파라미터를 얻을 수 있다[9]. 그리고 스펙트럼 센싱을 통한 정보는 표 1에서 보인 것처럼 스펙트럼 상태 테이블 (Spectrum Status Table)에 저장되며 스펙트럼 사용 정보를 확립하게 된다. 각각의 무선인지 사용자들은 SST를 업데이트 하기 위해 주기적으로 주위 환경을 센싱한다. SST의 정보를 이용해서, 효과적인 스펙트럼 공유는 무선인지 사용자간의 hello 메시지 변화를 이행한다. 그리고 hidden terminal과 exposed node 문제도 SST의 정보를 이용해서 해결한다.

Channel ID	SINR	Status
Channel 1	3	occupied
Channel 2	4	occupied
Channel 3	7	available
.....		
Channel n	2	occupied

표 1 스펙트럼 상태 테이블

3.2 스펙트럼 공유를 위한 hello 메시지

무선통신에서, multi-path fading과 shadowing effects는 가장 중요한 문제이다. 그리고 무선인지에서, multi-path fading과 shadowing effects는 licensed user 검출의 성과를 저하시키는 주 요인이 된다. 본 논문에서는 효과적인 스펙트럼 공유를 위해 채널의 ID와 SINR 과 같은 SST의 정보를 포함한 hello 메시지를 사용한다. 무선인지 노드들은 컨트롤 채널 0을 통한 협력 검출을 위해 주기적으로 hello 메시지를 바꾼다. 이러한 방법을 통해, multi-path fading과 shadowing effects를 효과적으로 극복할 수 있다. 본 MAC 프로토콜에서, 각각의 무선인지 노드들은 이웃 노드들로부터 hello 메시지를 수신하고 hello 메시지의 정보를 통해 SST를 업데이트 한다. Hello 메시지를 바꾸고 나선, 각각의 노드들에 의해 정확한 주위 환경을 알 수가 있다. 그래서 스펙트럼 홀은 정확히 센싱이 되고, 스펙트럼은 licensed users와 다른 무선인지 사용자들에게 심각한 간섭 없이 공유 될 수 있다.

제안하는 DSA-MAC프로토콜에서는 두 가지 타입의 hello 메시지가 있다, 하나는 효과적인 스펙트럼 공유를 통한 협력 검출을 위해 주기적으로 주고 받고, ACK-hello로 불리는 다른 하나는 동적 주파수 할당에 의해 선택된 채널에서 데이터 통신이 끝났을 때 소스와 데스티네이션에서 보내진다. ACK-hello의 임무는 통신완료

를 이웃 노드들에게 알리는 것이다. 할당 받은 데이터 채널의 정보는 ACK-hello에 포함되어 있어서 ACK-hello를 받은 이웃 노드들은 SST를 업데이트 한다. 이 과정은 만약 할당된 데이터채널의 통신이 완료 된다면 할당된 데이터 채널이 다른 데이터 통신에 의해 접속될 수 있음을 말한다.

Hello 메시지의 프레임 포맷은 그림 3 과 같다. 여기서는 두 가지 타입의 hello 메시지가 같은 프레임 포맷을 가지고 있다. 그러나 SST의 정보 범위는 다르다. ACK-hello프레임은 할당된 데이터채널의 정보에 제한되어 있다.

2 bytes	2	6	Variable	4
Frame Control	Duration	Transmitter Address	Information SST	FCS

그림 3 Hello 메시지의 프레임 포맷

3.3 FRQ/FRP, DATA, ACK, ACK-hello의 진행 과정

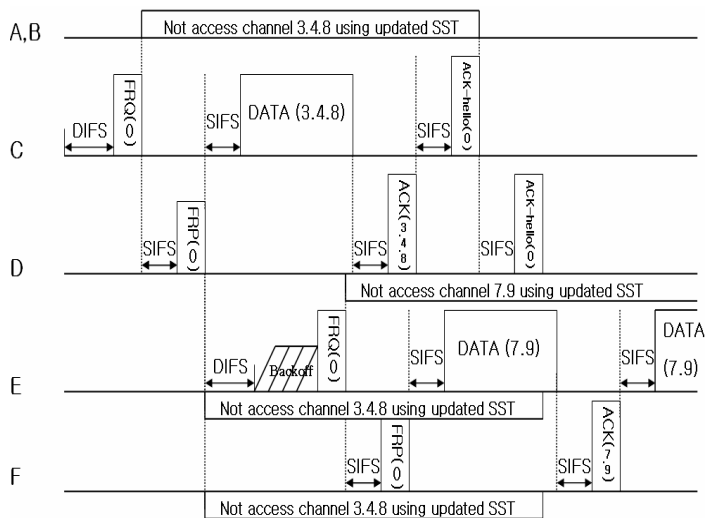


그림 4 DSA-MAC 프로토콜의 동작과정

그림 4에 대한 도폴로지는 그림 2과 같다. DSA-MAC 프로토콜은 Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance(CSMA/CA) 기술을 기반으로 제안 된다. 채널 0은 FRQ/FRP, ACK-hello패킷을 주고받는 컨트롤 채널로서 사용된다. FRQ/FRP의 전달은 동적 주파수 할당의 완료를 위한 소스와 데스티네이션의 데이터 채널 간의 협상을 가리킨다. 프레임 포맷은 그림 5와 같다.

2 bytes	2	6	6	Variable	4
Frame Control	Duration	Receiver Address	Transmitter Address	Data Channel ID	FCS

2 bytes	2	6	Variable	4
Frame Control	Duration	Receiver Address	Data Channel ID	FCS

그림 5 FRQ: 주파수 요청; FRP:주파수 응답

본 DSA-MAC 프로토콜에서, IFS세팅은 통신을 기다리는 다른 가능한 노드들 사이에서 데이터를 받는 CR 노드에게 우선권을 주는 방식으로 이루어진다. 이는 CSMA/CA와 비슷한 개념으로 볼 수 있다. 채널 0이 Distributed Inter Frame Space(DIFS) 보다 긴 시간 동안 유휴 상태임을 알 경우 발송자는 FRQ 전송을 계속하고 그렇지 않을 경우 CSMA/CA의 contention window와 유사한 방식으로 backoff time이 끝날 때까지 연기된다. FRQ/FRP의 전달을 통해서, 데이터 채널은 동적 주파수 할당을 받게 된다. 이 장에서, hello 메시지는 3.2 장에서 언급한 것과 같이 주기적으로 바뀐다. 그래서 SST는 각각의 인지무선 노드에서 업데이트 된다. 또한 채널 선택은 SST의 signal-to-interference plus noise rate(SINR)을 최대화 하는 것을 기초로 완료된다.

데이터전송은 노드 C와 노드 D간에 할당된 채널 3,4,8에 의해서 완료되며 채널 7,9를 사용하는 다른 전송은 그림 4와 같이 노드 E부터 노드 F사이에서 행해진다. CSMA/CA의 가상 캐리어 센싱 메커니즘과 유사하게 다른 인지 무선 노드는 채널 3,4,7,8,9에 접속할 수 없으나 몇 가지 다른 점은 있다. DSA-MAC 프로토콜에선, 이웃 노드가 FRQ/FRP 패킷을 overhear함으로써 할당된 데이터 채널 ID 정보를 얻을 수 있다. 그리고 각각의 이웃 노드들은 채널점유와 관련된 SST 세팅을 업데이트 한다. 따라서 다른 노드들은 이러한 방식을 이용해 다른 채널에 접근하게 된다. 그리고 DATA, ACK 패킷은 할당된 채널, 즉 C와 D에서 보내지기 위해 동시에 다른 채널에 접근할 수 있는 다중 half-duplex transceivers를 이용한다. 스펙트럼 사용완료를 알리기 위해 3.2 장에서 언급한 ACK-hello 메시지가 C와 D에 의해서 보내진다. 따라서 ACK-hello 메시지를 받은 이웃 노드들은 또 다른 통신을 위해 SST를 업데이트 한다.

따라서 제안한 DSA-MAC 프로토콜에서, 사용자의 요청에 따라서, 유동적인 스펙트럼은 DSA 메커니즘을 통한 QoS 보장을 위하여 할당 된다. e-mail, web, streaming multimedia와 같은 traffic class에 따라서 QoS 보장을 위해 많은 채널들이 할당된다.

4. 성능 평가

이장에서는 멀티채널 무선 네트워크에서 우리가 제안한 DSA-MAC 프로토콜의 최대 throughput 값을 분석한다. DSA-MAC 프로토콜의 성능을 평가하기 위해, 우리는 비교를 위한 참고로 IEEE 802.11b CSMA/CA를 주로 사용한다. 애드혹 네트워크의 최대 throughput은 [10]에서 정의되며, 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Th_{max} = \frac{m}{DIFS + T_{RTS} + T_{CTS} + T_{DATA} + T_{ACK} + 3 \times SIFS + \frac{CW_{min} \times Slot_Time}{2}} \quad (1)$$

m은 application에 의해 하나의 프레임 생성하는

바이트 수이고 $\frac{CW_{min}}{2} \times Slot_Time$ 는 평균 backoff time이다. (1)번식에 언급되었던 것을 보면, 제안된 DSA-MAC 프로토콜의 최대 throughput은 다음과 같이 달라졌다.

$$Th_{max} = \frac{n \times m}{DIFS + T_{FRQ} + T_{FRP} + T_{DATA} + T_{ACK} + 5 \times SIFS + 2 \times T_{ACK-hello} + \frac{CW_{min} \times Slot_Time}{2}} \quad (2)$$

제안된 DSA-MAC 프로토콜에서 CR 노드는 동시에 다른 채널에 접속할 수 있는 능력을 가지고 있는 다중 half-duplex transceivers를 갖춘다. 그래서 n은 동시에 하나의 노드에 의해 사용되는 transceiver의 수이다. (2)번식은 그림 4에서 C와 D 사이의 처리와 같은 각 데이터 채널에서 한 개의 프레임 데이터 전송 처리를 나타낸다. 그러나 데이터 채널에서 데이터 전송은 DATA-ACK-DATA-ACK의 처리로 구현된다. 그래서 할당된 데이터 채널을 통해 throughput은 (3)번식에 따라 계산된다.

$$Th_{max} = \frac{n \times m}{T_{DATA} + T_{ACK} + 2 \times SIFS} \quad (3)$$

제안된 DSA-MAC 프로토콜의 성능에 따라서 본 논문은 표 2에서 열거된 분류들을 파라미터로 표현된다.

PHY header	192 bits	Channel Bit Rate	1.2 Mbps
DIFS	50 μsec	SIFS	10 μsec
SlotTime	20 μsec	DATA	512 bytes
FRQ	160 bits+PHYhdr	FRP	160 bits+PHYhdr
ACK	112 bits+PHYhdr	ACK-hello	128 bits+PHYhdr
CWmin	32 slots	CWmax	1024 slots

표 2 파라미터의 값

분석 결과는 그림 6에서 나타난다. 우리는 한 개와 세 개의 채널에 걸친 평가를 통해 DSA-MAC를 사용하는 것이 높은 throughput이 보장되는 것을 발견했다.

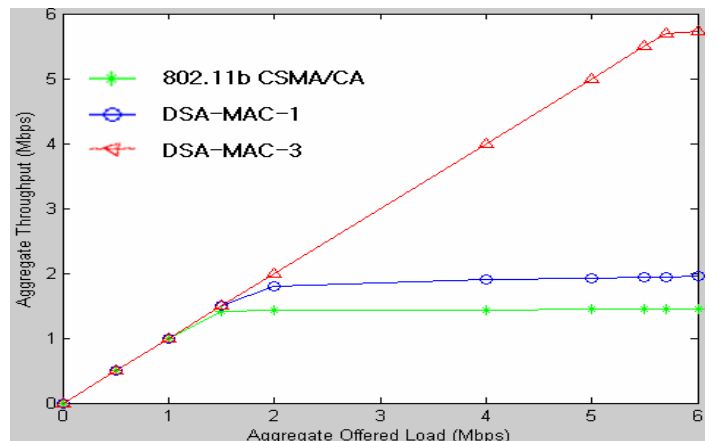


그림 6 성능 결과

802.11b CSMA/CA는 [10]에서 보여준 파라미터를 활용하고 그림 6에서 제일 낮은 throughput으로 나타난다. 할당된 하나 데이터 채널을 사용하는 DSA-MAC-1은 802.11b CSMA/CA보다 높은 throughput 갖는다. channel bit rate가 2Mbps이라면, 하나 데이터 채널이 할당된 DSA-MAC 프로토콜의 최대 throughput은 1.934Mbps이다. 그러나 802.11b CSMA/CA에서 적절한 값은 1.44Mbps이다. 그리고 세 개의 데이터 채널을 사용하는 DSA-MAC-3의 throughput은 5.7932Mbps가 된다. 그래서 본 논문 제안한 프로토콜은 높은 성능을 보임을 증명했다.

5. 결론

본 논문에서는 QoS 보장을 위한 Cognitive Radio 기반의 동적인 스펙트럼 할당 MAC 프로토콜을 제안했다. 스펙트럼 공유의 성능을 증가시키기 위하여, SST의 정보가 포함된 Hello 메시지를 주기적으로 전송하고, 컨트롤 채널의 FRQ/FRP/ACK-hello와 데이터 채널의 DATA/ACK에 의하여 수행되는 DSA-MAC 프로토콜은 소스와 목적지 사이에서 동작된다. 본 논문에서 제안한 MAC 프로토콜은 Multiple-input multiple-output(MIMO)와 orthogonal frequency division multiplexing(OFDM)에 적용할 수 있다. 또한 4장에서는 본 논문에서 제안한 DSA-MAC 프로토콜이 높은 성능을 보임을 증명했다. 네트워크 로드 증가하고 있기 때문에, DSA-MAC 프로토콜은 스펙트럼 홀에서 높은 데이터 처리량을 보장할 수 있고, Cognitive Radio 기술에서 중요한 역할을 할 수 있다.

참고문헌

- [1] FCC, ET Docket No 03-222 Notice of proposed rule making and order, December. 2003.
- [2] J. Mitola et al., "Cognitive Radios: Making Software Radios more Personal," in IEEE Personal Communications, vol. 6, no. 4, Aug. 1999.
- [3] J. Mitola, "Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio," PhD Dissertation, Royal Inst. Technol. (KTH), Stockholm, Sweden, 2000.
- [4] Ian F. Akyildiz, Won-Yoel Lee, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey," in computer Networks 50 2127-2159, 2006
- [5] L. Ma, X. Han, and C.-C. Shen, "Dynamic Open Spectrum Sharing for Wireless Ad Hoc Networks," in IEEE DySPAN, Nov. 2005.
- [6] Hsu AC-C, Wei DSL, Jay Kuo C-C, "A cognitive MAC protocol using statistical channel allocation for

wireless ad hoc networks," in Proceedings of IEEE Wireless Communications Networking Conference (WCNC'07), pp. 105-110, 2007.

[7] Hao Nan, Tae-In Hyon, Sang-Jo Yoo, "Distributed Coordinated Spectrum Sharing MAC Protocol for Cognitive Radio," in IEEE International Symposium on Publication Date: 17-20 April. 2007

[8] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," Conference on Signals, Systems, and Computers, vol. 1, pp. 772-776, Nov. 2004.

[9] N. Jain, S. Das, "A Multichannel CSMA MAC Protocol with Receiver-based Channel Selection for Multihop Wireless Networks," in IEEE ICCCN, Oct. 2001.

[10] Giuseppe Anastasi, Eleonora Borgia, Marco Conti, Enrico Gregori, "IEEE 802.11b Ad Hoc Networks: Performance Measurements," in Cluster Computing 8(2-3): 135-145, 2005