

Performance Evaluation of MAC Protocols with Application to MANET Routing for Distributed Cognitive Radio Networks

Sehoon Kwon[†] · Hakwon Kim^{**} · Bosung Kim^{***} · Byeong-hee Roh^{****}

ABSTRACT

In this paper, we propose a design method to extend certain cognitive radio (CR) MAC protocols originally proposed only for the one hop applications in distributed CR networks to MANET routing protocols. Among several CR MAC protocols, the opportunistic MAC (called O-MAC) and the opportunistic period MAC (called OP-MAC) are considered, and AODV as MANET routing protocol is used. We implement the protocols using OPNET network simulator, and compare the performances in both MAC and AODV routing environments. With the experiments, we analyze the relationship between MAC and routing performances of the CR protocols.

Keywords : Cognitive Radio, Ad-Hoc Network, MAC Protocol, Routing Protocol, OPNET

분산 무선 인지 네트워크를 위한 MAC 프로토콜의 MANET 라우팅 적용 성능 분석

권 세 훈[†] · 김 학 원^{**} · 김 보 성^{***} · 노 병 희^{****}

요 약

본 논문에서는 분산 무선인지 네트워크 환경에서 단일 홉 적용을 위하여 제안된 CR MAC 프로토콜들을 MANET 라우팅 프로토콜에 적용하기 위한 설계 방법을 제안한다. 고려하는 CR MAC 프로토콜들은 Opportunistic MAC (O-MAC)과 Opportunistic Periodic MAC (OP-MAC) 이고, MANET 라우팅 프로토콜로서는 AODV를 사용한다. 이들은 OPNET을 사용하여 구현하였으며, O-MAC과 OP-MAC의 MAC 환경에서의 성능과 AODV를 적용하였을 때의 성능을 비교한다. 이를 통하여 단일 홉의 DCRN 환경을 기반으로 설계된 무선인지 MAC 프로토콜의 성능과 AODV 적용시의 성능의 관계를 분석한다.

키워드 : 무선 인지, 애드혹 네트워크, MAC 프로토콜, 라우팅 프로토콜, OPNET

1. 서 론

최근 한정된 스펙트럼 자원에 대한 무선기기들의 요구도 증가하여 한정된 스펙트럼 자원의 부족 문제로 인해 스펙트럼 사용의 효율성을 증대하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. FCC는 상용 무선 네트워크의 스펙트럼 부족 문제를 해결하기 위해 특정 스펙트럼에 대해 사용이 허가되지 않은 기기들이 해당 스펙트럼에 대한 사용을 승인했다[1]. 그 결

과, 스펙트럼 자원의 부족 문제를 해결하고 보다 효율적으로 사용할 수 있는 새로운 통신 패러다임으로 동적 스펙트럼 접근(Dynamic Spectrum Access, DSA) 기술로서 무선인지(Cognitive Radio, CR) 기술이 제안되었다[2]. 무선인지 기술은 스펙트럼 사용이 허가되지 않은 부사용자(Secondary User, SU)들이 사용이 허가된 주사용자(Primary User, PU)가 스펙트럼을 사용하지 않을 때를 센싱하고 주사용자의 통신에 방해가 되지 않도록 해당 스펙트럼을 사용하는 것이다.

분산 인지 무선망(distributed CR network, DCRN)은 중앙 제어 장치의 어떠한 지원이나 관리 없이 부사용자들이 스스로 무선인지 네트워크 내의 주사용자 상태를 센싱하고, 사용 여부를 결정한다. 이와 같은 기능들을 수행하기 위해 DCRN 내의 부사용자들은 대개 부사용자들에게만 사용이 인가된 공용 제어 채널(Common Control Channel, CCC)을

※ 이 논문은 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-(H0301-13-2003)).

† 준 회원: (주)LIG넥스원 연구원

** 정 회원: 아주대학교 NCW학과 박사과정

*** 준 회원: 아주대학교 컴퓨터공학과 석·박사 통합과정

**** 종신회원: 아주대학교 대학원 컴퓨터공학과 교수

논문접수: 2013년 11월 25일

수정일: 1차 2014년 3월 3일

심사완료: 2014년 3월 3일

* Corresponding Author: Byeong-hee Roh(bhroh@ajou.ac.kr)

사용한다. 다수의 무선인지 MAC 프로토콜들이 DCRN 환경을 기반으로 연구되었다[3]-[10]. 이들 무선인지 MAC 프로토콜들은 단일 홉의 DCRN을 기반으로 설계되었고, 멀티홉 환경에서의 효과성에 대하여는 고려하고 있지 않다.

본 논문에서는 DCRN 환경에서 단일 홉 적용을 위하여 제안된 무선인지 MAC 프로토콜들을 MANET 라우팅 프로토콜에 적용하기 위한 설계 방법을 제안한다. 여기에서 고려하는 무선인지 MAC 프로토콜들은 Opportunistic MAC (O-MAC)[5]과 Opportunistic Periodic MAC (OP-MAC)[7]이고, MANET 라우팅 프로토콜로서는 AODV를 사용한다. 라우팅 프로토콜 설계는 이들 무선인지 MAC 프로토콜의 구조를 기반으로 AODV의 제어 메시지가 효율적으로 교환되어 경로를 설정하고, 이로부터 멀티홉 전송이 가능할 수 있도록 구성한다. 구현을 위하여 OPNET 시뮬레이터를 사용하였으며, O-MAC과 OP-MAC의 MAC 환경에서의 성능과 AODV를 적용하였을 때의 성능을 비교한다. 이를 통하여 단일 홉의 DCRN 환경을 기반으로 설계된 무선인지 MAC 프로토콜의 성능과 AODV 적용시의 성능의 관계를 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 고려하는 DCRN에서의 무선인지 MAC 프로토콜들에 대해 소개한다. 3장에서는 이들 무선인지 MAC 프로토콜들을 확장하여 AODV 라우팅 프로토콜과 연계 적용하는 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 AODV를 적용한 무선인지 MAC 프로토콜들의 성능을 비교, 분석하고 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

2.1 DCRN 환경에서 제안된 무선인지 MAC 프로토콜

DCRN에서의 무선인지 MAC 프로토콜들은 CCC의 존재 유무와 부사용자가 장착한 트랜시버(transceiver)의 개수가 네트워크 성능에 영향을 주는 중요한 요소이다. CCC는 센싱 정보 교환 및 공유와 같은 협력적 스펙트럼 센싱 기법과 사용할 주사용자 채널의 선택 등의 제어 시그널링(Control Signaling) 동작들을 효과적으로 지원할 수 있다. 또한, 부사용자들이 다중 트랜시버를 장착하면 CCC를 통한 제어 시그널링과 주사용자 채널을 통한 데이터 통신의 동시 수행이 가능하다. Table 1은 DCRN 환경을 기반으로 제안된 무선인지 MAC 프로토콜들의 특징들을 요약하여 정리한 것이다.

앞서 언급하였듯이, 부사용자들을 관리하는 중앙 제어 장치가 존재하지 않는 DCRN 환경에서 무선인지 MAC 프로토콜들은 제어 시그널링을 통한 주사용자 채널 센싱 결과 교환, 사용할 주사용자 채널 협상 및 선택, 시간 동기화 작업들을 부사용자들이 서로 유기적으로 수행해야 한다. 이러한 작업들이 CCC를 통해 수행되면, 부사용자들이 CCC를

모니터링 하여 보다 효율적으로 이루어질 수 있다[11][12]. DCRN에서는 제어 시그널링 및 데이터 전송의 병렬적 수행을 통하여 스펙트럼 자원 사용에 대한 효율성이 증가되기 때문에 단일 트랜시버보다 두 개 이상의 다중 트랜시버가 CCC 사용 환경에서는 더 유리하다.

Table 1. Classification of CR MAC Protocols in DCRN

CR MAC Protocols	CCC 특징	트랜시버 개수	협력 감지	트랜시버 동시사용
DCS-MAC [3]	전용	2	O	X
SCA-MAC [4]	전용	2	O	X
O-MAC [5]	전용	2	O	O
OMC-MAC [6]	전용	1	O	X
OP-MAC [7]	동적	1	O	X
MMAC-CR [8]	전용	2	O	X
N-MAC [9]	전용	2	O	X
P-MAC [10]	전용	2	O	X

2.2 Opportunistic MAC 프로토콜 (O-MAC)

O-MAC 프로토콜 [5]은 단일 홉의 DCRN 환경을 기반으로 설계되었다. O-MAC 프로토콜이 동작되는 DCRN 환경은 주사용자에게 사용이 인가된 N_c 개의 주사용자 채널과 하나의 CCC가 존재한다. O-MAC 프로토콜은 모든 부사용자들이 두 개의 반 이중 트랜시버를 장착하도록 설계된다. 두 개의 트랜시버 중 하나는 제어 트랜시버(Control Transceiver)로 불리며 항상 무선인지 네트워크 내의 전용 CCC에 맞춰져 CCC 상의 제어 패킷들을 송수신하고, CCC의 반송과 감지 기능을 수행한다. 나머지 하나는 데이터 트랜시버(Data Transceiver)로 단일 홉의 DCRN 환경에 존재하는 주사용자 채널들에 동적으로 맞춰지며 주사용자 채널 센싱 및 주사용자 채널 상으로의 데이터 전송 기능을 수행한다. CCC를 포함하는 O-MAC 프로토콜의 모든 채널들의 시간은 Fig. 1과 같이 동일한 간격을 갖는 타임슬롯으로 나뉜다. 특히, O-MAC 프로토콜의 CCC 타임슬롯은 리포트 단계(reporting phase)와 협상 단계(negotiating phase)로 다시 한 번 나뉘지며, 리포트 단계는 또다시 주사용자 채널의 개수인 N_c 의 미니슬롯으로 구성된다.

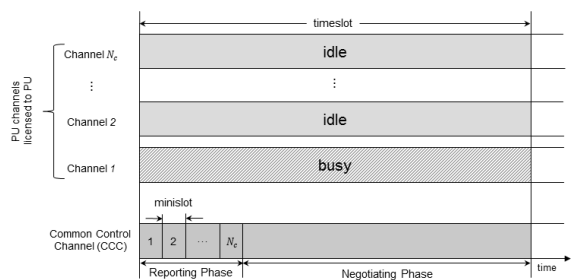


Fig. 1. O-MAC Protocol Structure

O-MAC 프로토콜의 부사용자들은 리포트 단계 시작 부분에서 N_c 개의 주사용자 채널들 중에서 센싱한 주사용자 채널을 하나를 선택 후 데이터 트랜시버를 사용하여 해당 주사용자 채널을 센싱한다. 센싱한 주사용자 채널의 상태는 busy와 idle로 나뉜다. 자신이 센싱한 주사용자 채널이 idle 상태일 때, 리포트 단계 내의 미니슬롯에서 해당 주사용자 채널의 정보를 비콘 메시지로 다른 부사용자들에게 알린다. 이때, 부사용자들이 전송하는 비콘 메시지는 주사용자 채널에 대응되는 미니슬롯을 통해 전송된다. 예를 들어, 어느 부사용자가 2번 주사용자 채널을 센싱하고 이 채널의 상태가 idle이면, 부사용자는 리포트 단계 내의 2번째 미니슬롯에서 비콘 메시지를 전송한다.

리포트 단계를 통해 idle 상태의 주사용자 채널 정보를 보고 받은 부사용자들은, 협상 단계를 통해 보고 받은 idle 상태의 주사용자 채널 사용을 다른 부사용자들과 협상한다. 협상 단계에서 이루어지는 채널 사용의 협상은 RTS와 CTS 패킷을 사용하는 p-persistent CSMA 메커니즘을 사용한다. 데이터 전송을 원하는 부사용자는 먼저 DIFS 시간 동안 대기한다. 그 후, 0과 1 사이에서 값을 임의로 뽑은 p 확률에 따라 RTS 패킷을 전송한다. RTS 패킷을 보낸 부사용자가 CTS 패킷을 성공적으로 수신하면, 바로 다음 타임슬롯에서 가용한 주사용자 채널들을 사용하여 데이터를 전송한다. 다시 말해, RTS-CTS 패킷의 교환으로 주사용자 채널들을 예약한 타임슬롯에서 즉시 데이터를 전송하지 않고, 바로 다음 타임슬롯에서 전송하게 된다.

2.3 Opportunistic Periodic MAC 프로토콜 (OP-MAC)

OP-MAC 프로토콜 [7]은 O-MAC 프로토콜과 마찬가지로 단일 홉의 DCRN 환경을 기반으로 설계되었다. 하지만 OP-MAC 프로토콜은 O-MAC 프로토콜과 달리 부사용자에게 인가된 CCC가 따로 존재하지 않고 오직 N_c 개의 주사용자 채널이 존재하는 DCRN 환경을 고려한다. 그러므로 부사용자들 간의 제어 시그널링 동작은 주사용자 채널 중 하나를 제어 채널로 선택하는 동적 CCC 방법을 사용한다. OP-MAC 프로토콜의 모든 부사용자들은 하나의 반 이중 트랜시버를 장착한다. 이 트랜시버를 통해 주사용자 채널을 센싱하거나, 제어 시그널링, 데이터 전송 기능을 수행한다. OP-MAC 프로토콜은 개의 주사용자 채널의 시간을 Fig. 2와 같이 동일한 길이의 MAC period로 나눈다. 하나의 MAC 주기는 네트워크 센싱 단계(network sensing phase), 네트워크 리포트 단계(network reporting phase), 전송 예약 단계(transmission reservation phase), 데이터 전송 단계(data transmission phase)로 나뉜다.

OP-MAC 프로토콜의 네트워크 센싱 단계는 부사용자들이 단일 트랜시버를 통해 주사용자 채널들을 센싱 하도록 설계된다. 미리 지정된 부사용자들은 네트워크 센싱 단계

시간 동안 자신들에게 고정으로 할당된 주사용자 채널을 센싱 하여 해당 주사용자 채널의 상태가 idle 상태인지, busy 상태인지를 알아낸다. 채널 센싱을 마친 부사용자들은 망 리포트 단계를 통해 해당 주사용자 채널의 상태를 다른 부사용자들에게 보고한다. OP-MAC 프로토콜의 망리포트 단계는 주사용자 채널의 개수와 동일한 N_c 개의 미니슬롯으로 구성되며 각 미니슬롯은 앞서 설명한 O-MAC 프로토콜과 마찬가지로 주사용자 채널과 대응된다. 즉, 망 리포트 단계 내의 1번 미니슬롯은 주사용자 채널 1번과 대응된다. 만약 네트워크 센싱 단계를 통해 센싱한 주사용자 채널의 상태가 idle이면, 주사용자 채널 번호에 대응되는 미니슬롯에서 비콘 메시지 통해 해당 채널의 정보를 다른 부사용자들에게 알린다. 반대로, 주사용자 채널의 상태가 busy이면, 비콘 메시지를 전송하지 않는다.

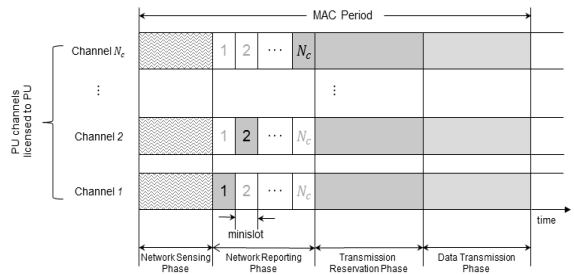


Fig. 2. OP-MAC Protocol Structure

이와 같은 과정으로 네트워크 리포트 단계 종료 후에, 부사용자들은 idle 상태의 가용한 주사용자 채널들의 정보를 획득 할 수 있다. OP-MAC 프로토콜의 전송 예약 단계에서는 다른 부사용자들과 경쟁하여 가용한 주사용자 채널들의 사용을 예약하는 동작이 이루어진다. 전송 예약 단계에서 이루어지는 채널 사용 경쟁은 backoff 알고리즘을 사용하는 IEEE 802.11 DCF와 유사한 메커니즘을 사용한다. 데이터 전송을 원하는 부사용자들은 임의의 backoff 시간을 기다린 후, RTS 패킷을 목적지 부사용자에게 전송한다. 목적지 부사용자로부터 RTS 패킷에 대한 응답인 CTS 패킷을 성공적으로 수신한 소스 부사용자는 바로 이어지는 데이터 전송 단계에서 가용한 주사용자 채널들을 사용하여 목적지 부사용자에게 데이터를 전송한다. 이 경우, 앞서 설명된 O-MAC 프로토콜과 달리 다음 MAC period에서 데이터를 전송하는 것이 아니라 채널 예약이 이뤄진 MAC period와 동일한 MAC period의 데이터 전송 단계에서 이루어진다.

3. 무선인지 MAC 프로토콜들의 AODV 라우팅 프로토콜 적용

DCRN에서 소스 부사용자와 목적지 부사용자 간의 경로는 단일 홉 내에서 동일한 주사용자 채널로 구성될 수 있고,

각 홉별로 사용이 가능한 스펙트럼에 따라 각기 다른 채널로 구성된 다중 홉으로 구성될 수 있다. 다중 홉 경로인 경우, 각 홉내의 주사용자 활동이 서로 상이함에 따라 각 홉에서 사용할 수 있는 주사용자 채널이 다르다. 그렇기 때문에 동적으로 변환되는 소스 부사용자와 목적지 부사용자 간의 경로 탐색을 위한 라우팅 알고리즘이 중요하다. 주사용자의 활동으로 인해 부사용자가 채널을 사용할 수 없게 되면, 부사용자는 주사용자 트래픽의 영향이 미치지 않는 다른 영역으로 경로를 변경하거나, 기존의 경로에 포함되어 있던 사용 가능한 채널의 목록 중 다른 채널로 변경을 해야 한다.

이는 종단 간 지연 시간과 채널 변경 지연을 증가시키고, 경로의 길이가 길어지는 등 네트워크의 성능 저하가 발생하게 된다. 그러므로 DCRN에서는 스펙트럼 할당과 라우팅 프로토콜 사이에 긴밀한 협력이 요구된다[13]. 본 논문에서는 3장에서 설명된 O-MAC 프로토콜 및 OP-MAC 프로토콜과 같이 단일 홉의 DCRN에서 CCC를 사용하도록 설계된 무선인지 MAC 프로토콜들에 MANET 라우팅 프로토콜 중 하나인 Ad-hoc On-demand Distance Vector(AODV)를 적용하여 위 무선인지 MAC 프로토콜들이 다중 홉에서도 통신이 가능하도록 기능을 확장한다.

다중 홉의 DCRN은 부사용자들이 중앙 제어장치 없이 네트워크를 구성하여 각 노드 간 애드 혹 방식의 통신을 하는 일반적인 다중 홉의 MANET과 매우 유사하다. 그러므로 다중 홉 DCRN의 라우팅을 위해 MANET 라우팅 프로토콜을 적용하는 것은 타당하다. MANET 라우팅 프로토콜은 모든 노드들에 대해 라우팅 경로 정보를 갖고 있는 Proactive 라우팅 프로토콜 방식(ex. DSDV, WRP, OLSR)과 필요 시에만 경로 정보를 생성하는 Reactive 라우팅 프로토콜 방식(예를 들어, AODV, DSR, TORA), 이들을 혼합한 Hybrid 라우팅 프로토콜 방식(예를 들어, ZRP)이 존재한다.

이 MANET 라우팅 프로토콜 중 AODV는 DSDV와 DSR을 개선한 방식이며, 경로를 동적으로 바꾸는 데 용이한 Reactive 라우팅 프로토콜이다. 특히, 다른 라우팅 알고리즘에 비해 지연시간 및 라우팅에 의한 오버헤드, 메모리 사용량이 적은 이점이 있다[14][15]. 또한 기존에 진행되었던 다수의 무선인지 라우팅 프로토콜들은 AODV를 기반으로 설계되었다.

3.1 문제 정의 및 해결 방안

앞 장에서 언급했듯이, DCRN 환경에서 MAC 프로토콜의 제어 메시지를 위해 CCC를 사용하는 무선인지 MAC 프로토콜들에 MANET 라우팅 프로토콜인 AODV를 적용하기 위해서는 설계된 MAC 프로토콜에서의 RREQ 와 RREP, RERR 같은 라우팅 제어 메시지를 전송 방법이 추가되어야 한다. 무선인지 MAC 프로토콜의 제어 메시지를 위한 사용되는 기존의 CCC 상으로만 라우팅 제어 메시지를 전송 할 경우, 이

미 무선인지 MAC 제어 메시지로 거의 포화된 CCC의 혼잡을 증가시키며 CCC의 부하를 더욱 증가시켜 무선인지 MAC 제어 메시지와 라우팅 제어 메시지 모두 제대로 전송하지 못하여 성능이 저하되는 치명적인 단점이 존재한다.

따라서 라우팅 제어 메시지의 전송 방법은 위 방법을 제외한 1) 주사용자 채널을 통한 라우팅 제어 메시지 전송 방법과 2) 무선인지 MAC 프로토콜의 제어 시그널링을 위한 기존 CCC와는 다른 라우팅 제어 패킷만을 위한 전용 제어 채널을 사용한 전송 방법, 3) 주사용자 채널과 무선인지 MAC 프로토콜의 제어 메시지를 위한 CCC를 동시에 활용한 전송 방법과 같이 크게 세 가지로 나눌 수 있다.

방법 1)의 경우, 부사용자들은 라우팅 경로 설정을 위한 RREQ-RREP 메시지 교환을 위해 각 홉 내 idle 상태의 가용한 주사용자 채널들 중에서 하나의 주사용자 채널을 선택 후 해당 채널을 사용한다. 이 방법은 RREQ-RREP 메시지 교환 시 가용한 주사용자 채널을 사용하지 못하여 무선인지 네트워크 전체의 성능을 저하시킨다. 또한 주사용자 채널 선택을 위한 추가적인 기능이 필요하기 때문에 오버헤드 및 불필요한 지연이 발생한다. 특히, 본 논문에서 제안된 PO-MAC 프로토콜과 같이 채널의 시간을 타임슬롯으로 나누어 동작하는 무선인지 MAC 프로토콜들의 경우에 데이터를 전송할 수 있는 하나의 슬롯을 RREQ나 RREP를 전송하는데 사용하기 때문에 스펙트럼 사용 측면에서 비효율성을 보인다.

방법 2)의 경우, 기존 무선인지 MAC 프로토콜의 제어 메시지를 위한 CCC와 다른 라우팅 프로토콜의 제어 메시지를 위한 제어 채널을 추가하여 해당 채널로 RREQ-RREP 메시지 교환이 이루어진다. 이 방법은 제한된 스펙트럼에서 하나의 채널을 오직 RREQ-RREP 메시지 교환만을 위한 제어 채널로 할당해야 하기 때문에 스펙트럼 자원 낭비를 초래한다. AODV는 새로운 경로가 필요할 때 RREQ-RREP 메시지가 교환되기 때문에 전용 제어 채널의 효율성이 기존 MAC 제어 메시지를 위한 CCC보다 낮다. 게다가 이 채널을 위한 전용 트랜시버가 요구되어 노드 구성 비용 및 복잡도의 증가를 유발한다.

방법 3)의 경우, MAC 제어 메시지 교환을 위한 기존 CCC 및 주사용자 채널을 동시에 사용하여 RREQ-RREP 메시지를 교환한다. 일반적인 AODV 방식에서 RREQ는 브로드캐스트 되기 때문에 다중 채널 환경에서 채널 변경 없이 모든 부사용자들이 RREQ를 즉시 송신하거나 수신할 수 있어야 한다. RREP는 RREQ와는 달리 브로드캐스트가 아닌 유니캐스트로 다른 부사용자들과 충돌 없이 경로에 존재하는 부사용자에게 전송되어야 한다. 따라서, RREQ는 무선인지 MAC 프로토콜에서 사용되는 RTS와 CTS 같은 제어 메시지와 같이 기존 CCC를 통해 다른 부사용자들에게 브로드캐스트되고 RREP는 무선인지 MAC 프로토콜에서 데이터가

전송되는 것과 같이 가용한 주사용자 채널을 통해 전송된다. 특히, RREQ는 RTS 전송과 동일한 방법으로 브로드캐스트된다.

이 방법은 무선인지 MAC 프로토콜의 제어 메시지와 라우팅 제어 메시지가 서로 충돌 없이 CCC를 공유하기 위한 별도의 설계가 필요하다. 또한, 부사용자가 단일 트랜시버를 장착한 경우 RREQ-RREP 메시지 교환을 위한 채널 변경 시간이 추가로 소모되는 단점이 있다. 하지만 별도의 과정 없이 기존 CCC 상으로 RREQ를 브로드캐스트 하기 때문에 방법 1)에 비해 RREQ 송수신을 위한 추가적인 기능이 필요 없다. 이를 통해 RREQ 전송 시간이 단축되어 경로 설정을 위한 오버헤드를 줄일 수 있다. 특히, 타임슬롯 기반으로 동작되는 무선인지 MAC 프로토콜들에게 데이터를 전송할 수 있는 타임슬롯의 낭비를 최소화하여 자원 낭비를 줄인다. 방법 2)에 비해 추가적인 제어 채널 할당이 필요하지 않기 때문에 스펙트럼 자원의 낭비를 유발하지 않는다. 또한 이와 함께 추가로 요구되는 트랜시버의 추가가 필요하지 않기 때문에 노드 구성 비용 및 복잡도 증가를 방지한다.

본 논문에서는 방법 3)을 사용하여 무선인지 네트워크 상으로 브로드캐스트 되는 RREQ 메시지는 기존 CCC에서, 유니캐스트되는 RREP 메시지는 데이터 전송 방법과 같이 가용한 주사용자 채널을 통해 전송되는 방법을 사용한다.

3.2 O-MAC의 AODV 적용

앞선 절에서 설명하였듯이, 무선인지 MAC 프로토콜을 기반으로 적용된 일반적인 MANET 라우팅 프로토콜을 위해 라우팅 제어 메시지는 무선인지 MAC 프로토콜의 제어 메시지를 위한 CCC와 주사용자 채널을 같이 사용하며 전송된다. 이를 위해, 본 논문에서 우리는 O-MAC 프로토콜에 AODV를 적용하기 위해 Fig. 3과 같은 방법으로 RREQ 패킷과 RREP 및 RERR 패킷의 전송이 가능하도록 설계한다.

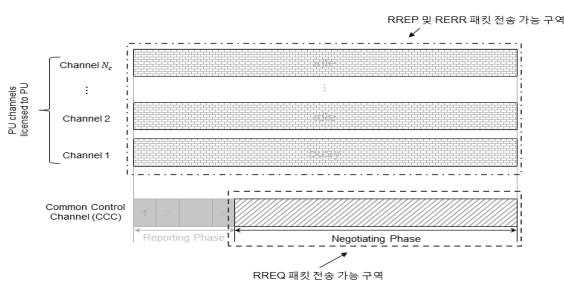


Fig. 3. Routing Message Delivery Extension in O-MAC Protocol

O-MAC 프로토콜에서 경로를 찾기 위해 RREQ 패킷을 전송하기 원하는 부사용자는 CCC를 통해 RREQ 패킷을 다른 부사용자들에게 브로드캐스트한다. 하지만, CCC를 통해 RREQ를 전송할 때 리포트 단계에서 전송되는 것을 방지해야 한다. 만약 센싱한 주사용자 채널의 상태가 교환되는 리

포트 단계에서 전송 된다면, 비콘 메시지와 충돌이 일어나 RREQ 패킷과 비콘 메시지 모두 전송되지 못하는 상황이 발생할 것이다. 따라서, O-MAC 프로토콜에서 RREQ 메시지는 협상 단계에서 전송되어야 한다. 특별한 추가 설계 없이 AODV를 적용하기 위해서, RREQ 패킷은 기존 O-MAC 프로토콜의 협상 단계에서 교환되는 RTS 및 CTS 메시지와 같은 방법인 p-persistent CSMA를 사용하여 전송된다. RREQ 패킷과는 달리, RREP 패킷과 RERR 패킷은 브로드캐스트가 아닌 유니캐스트 방식을 사용하여 지정된 부사용자에게 전송되어야 한다. 따라서, 이 라우팅 제어 메시지들은 데이터와 마찬가지로 주사용자 채널을 통해 전송된다. 이때, 데이터 패킷과 같이 협상 단계에서 RTS-CTS 교환으로 사용권을 예약한 뒤, 다음 타임슬롯에서 전송된다. 이와 같이 RREQ 패킷과 RREP, RERR 패킷은 무선인지 MAC 계층에서 전송돼야 할 채널로 분리되어야 한다. 하지만 MAC 계층에서는 IP 계층에서 내려오는 패킷의 종류를 제대로 파악 할 수 없다. 이를 위해 O-MAC 프로토콜 환경에서 무선인지 MAC 계층으로 내려오는 패킷의 목적지 주소가 브로드캐스트 주소인 경우에는 CCC를 통해 전송하도록 설계하고, 하나의 특정 노드로 향하는 유니캐스트 주소인 경우에는 주사용자 채널을 사용하여 전송되도록 설계한다.

3.3 OP-MAC 프로토콜에 AODV 적용

O-MAC 프로토콜과 마찬가지로, OP-MAC 프로토콜에서 경로를 찾기 위해 RREQ 패킷을 전송하기 원하는 부사용자는 CCC를 통해 RREQ 패킷을 다른 부사용자들에게 브로드캐스트한다. 하지만 O-MAC 프로토콜과 달리, OP-MAC 프로토콜은 전용 CCC가 아닌 주사용자 채널을 제어 채널로 사용하는 동적 CCC를 사용하기 때문에 구간을 나누어서 라우팅 제어 메시지가 전송된다. OP-MAC 프로토콜의 경우, CCC를 통해 RREQ를 전송할 때는 네트워크 센싱 단계와 네트워크 리포트 단계에서 전송되는 것을 방지해야 한다. 따라서, OP-MAC 프로토콜에서의 RREQ 패킷은 Fig. 4와 같이 제어 채널로 설정된 주사용자 채널 상으로 RTS-CTS가 교환되는 전송 예약 단계를 통해 전송되어야 한다. O-MAC 프로토콜과 같이, 특별한 추가 설계 없이 AODV를 적용하

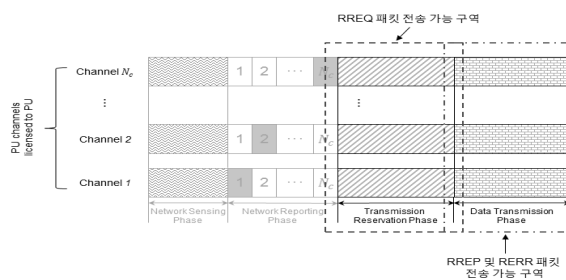


Fig. 4. Routing Message Delivery Extension in OP-MAC Protocol

기 위해서, RREQ 패킷은 기존 OP-MAC 프로토콜의 전송 예약 단계에서 교환되는 RTS 및 CTS 메시지와 같은 방법인 IEEE 802.11 방식을 사용하여 전송된다. 즉, RREQ 패킷을 전송할 부사용자는 다른 부사용자와 마찬가지로 임의의 backoff 시간을 기다린 후, 경쟁에서 이기면 RREQ 패킷을 브로드캐스트하게 된다.

유니캐스트로 전송되는 RREP 패킷과 RERR 패킷은 일반적인 데이터와 마찬가지로 전송 예약 단계에서 RTS-CTS의 교환으로 인한 주사용자 채널의 사용권 획득 후에 데이터 전송 단계를 통해 전송된다. OP-MAC 프로토콜도 O-MAC 프로토콜과 마찬가지로 무선인지 MAC 계층으로 내려오는 패킷의 목적지 주소가 브로드캐스트 주소인 경우, 주사용자 채널이 제어 채널로 설정된 전송 예약 단계 통해 RTS 패킷과 경쟁하여 전송하도록 설계하고, 하나의 특정 노드로 향하는 유니캐스트 주소인 경우에는 일반적인 데이터 패킷과 같이 사용권 경쟁 및 예약 후에 주사용자 채널을 사용하여 전송되도록 설계한다.

4. 성능 평가

4.1 실험 환경

실험을 위하여, 네트워크 시뮬레이터인 OPNET [16]을 사용하여 위 두 개의 무선인지 MAC 프로토콜을 구현하였고, 구현된 무선인지 MAC 프로토콜 위에 AODV를 확장 적용 구현하였다. 또한, 실험을 위해 사용되는 각 주사용자 채널 내의 주사용자 트래픽은 Markov Chain ON/OFF 모델 [17]을 사용하여 모델링하였다. 실험에 사용되는 O-MAC 프로토콜과 OP-MAC 프로토콜의 공통적인 환경은 다음 Table 2와 같다. 각 주사용자 채널의 전송률은 1Mbps이고, 데이터 패킷의 크기는 O-MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 표준 [18]과 같이 2304 bytes로 설정하고, 이에 맞도록 타임슬롯의 길이를 20ms로 설정한다. 일관성을 위해, OP-MAC 프로토콜의 MAC period도 20ms으로 설정하였다. 하지만, OP-MAC 프로토콜은 O-MAC 프로토콜과 달리 데이터 전송이 전체 MAC period 구간이 아닌 오직 데이터 전송 단계에서 이루어지기 때문에 O-MAC 프로토콜보다 전송할 수 있는 데이터의 양이 적다. 따라서, OP-MAC 프로토콜에서 전송할 수 있는 최대 데이터의 크기는 2,000 bytes로 제한하였다. 특히, O-MAC 프로토콜의 리포트 단계의 경우, [5]에서 제안된 두 가지의 채널 센싱 정책 (RSP, NSP)을 각각 사용하여 센싱할 주사용자 채널을 선택하도록 하였고, 협상 단계에서 RTS 패킷을 전송하는 데 사용되는 확률인 p 값을 각각 [5]에서 사용된 0.01과 부사용자의 개수를 균등분포산으로 계산된 값을 사용하였다.

Table 2. Experiment Parameters

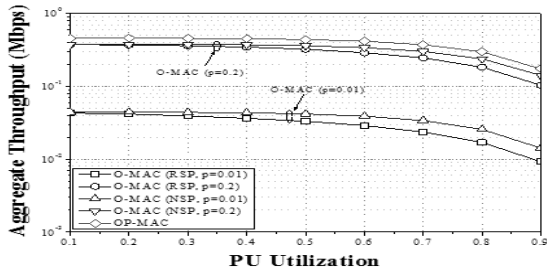
시뮬레이션 매개 변수	변수 값
주사용자 채널의 개수(Nc)	5
타임슬롯 길이(Nts)	20ms
미니슬롯 길이(Nms)	20 μ s
RTS 패킷 크기	20 bytes
CTS 패킷 크기	14 bytes
DIFS 시간 간격	50 μ s
SIFS 시간 간격	10 μ s

AODV 적용 후 O-MAC 프로토콜과 OP-MAC 프로토콜의 성능 비교 실험을 위해 소스 노드와 목적지 노드가 하나씩 있는 단일 flow 트래픽이 발생하도록 설정하고, 소스 노드와 목적지 노드 간의 홉 수를 증가하며 이에 따른 평균 트래픽 처리율을 측정하였다. 이를 위해 소스 부사용자가 전송할 데이터가 항상 존재하는 포화된 무선인지 네트워크 환경을 고려하였다. 마지막으로, 실제 환경의 고려를 위해 데이터 전송은 다수의 주사용자 채널을 동시에 사용하는 Channel bonding/aggregation 방법이 아닌 하나의 주사용자 채널만을 통해서 전송하도록 수정하였다[6]. 즉, 하나의 부사용자는 하나의 주사용자 채널만을 사용하여 데이터를 전송할 수 있는 환경을 가정하고 성능을 측정하였다.

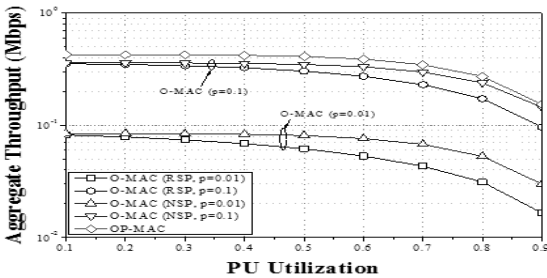
4.2 무선인지 MAC 프로토콜의 성능 실험 결과

Fig. 5의 (a)와 (b)는 각각 주사용자 채널이 5개인 단일 홉의 DCRN 환경에서 통신하는 부사용자 쌍의 개수가 5개, 10개일 때 통합 처리율의 성능을 나타내고, Fig. 6의 (a)와 (b)는 동일한 환경에서의 평균 지연 시간을 나타낸다. 이 그림들을 종합하여, OP-MAC 프로토콜이 O-MAC 프로토콜보다 좋은 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

앞에서 언급하였듯이, O-MAC 프로토콜은 두 개의 반 이중 트랜시버를 활용하여 제어 시그널링과 데이터 통신을 동시에 수행하여 스펙트럼을 보다 효율적으로 사용할 수 있도록 설계되었다. 하지만 O-MAC 프로토콜의 협상 단계에서 p-persistent CSMA 방식으로 이루어지는 RTS-CTS 교환이 비효율적이기 때문에, 가용한 주사용자 채널이 존재하여도 사용에 대한 협상이 성공적으로 이루어지지 않아 사용할 수 없는 경우가 발생한다. 이는 O-MAC 프로토콜의 협상 단계에서 사용되는 p-persistent CSMA의 p 값을 달리한 실험을 통해 확인할 수 있다. p 값이 소스 부사용자에 균등분포산분포를 갖는 경우, [5]에서 사용된 0.01의 p 값보다 높은 처리율을 보이며 동시에 낮은 지연 시간을 갖는 것을 알 수 있다. 또한, 채널 센싱 정책에 따라 성능의 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. RSP 방법은 매 타임슬롯마다 센싱할 주사용자 채널을 임의로 선택하는 방법이기 때문에 다른 부사용자와의 중복 문제 및 효과적으로 idle 상태의 주사용자

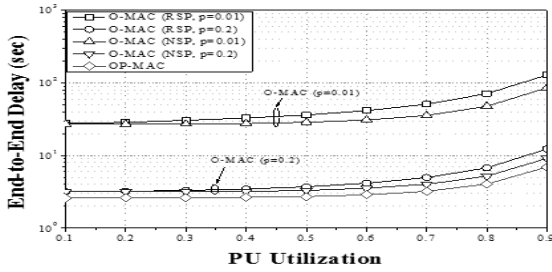


(a) Number of SU pairs = 5

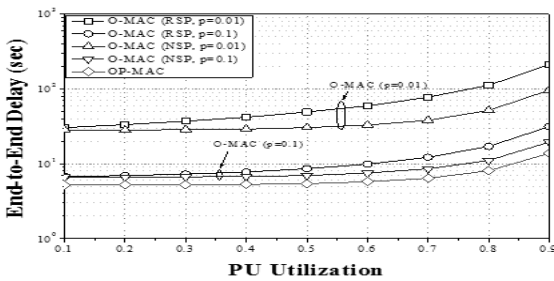


(b) Number of SU pairs = 7

Fig. 5. Aggregate Throughput Performance in Single hop Environment



(a) Number of SU pairs = 5



(b) Number of SU pairs = 7

Fig. 6. Average Delay Performance in Single hop Environment

채널을 센싱 할 수 없는 단점이 존재한다. 반면에 NSP 방법은 협상 단계에서 전송되는 RTS와 CTS 패킷에 자신이 센싱한 주사용자 채널의 정보가 포함되어 주사용자 채널 센싱의 중복을 최소화할 수 있다. 따라서, RSP 방법보다 NSP

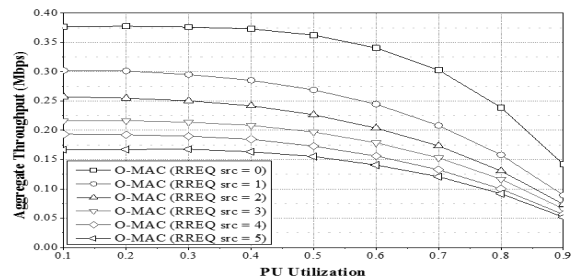
방법이 보다 효과적으로 idle 상태의 주사용자 채널을 사용할 수 있으며, 실험 결과를 통해서도 이를 확인할 수 있다.

OP-MAC 프로토콜은 하드웨어 적인 한계로 제어 시그널링과 데이터 통신을 동시에 수행하지 못할 뿐만 아니라 동일한 길이의 타임슬롯 동안 전송할 수 있는 최대 데이터량이 적다. 하지만 전송 예약 단계에서 IEEE 802.11 DCF 과 유사한 메커니즘으로 이루어지는 가용한 주사용자 채널에 대한 사용권 예약이 O-MAC 프로토콜의 사용권 예약보다 효율적으로 이루어지므로 보다 통합 처리율과 지연 시간에서 나은 성능을 보인다.

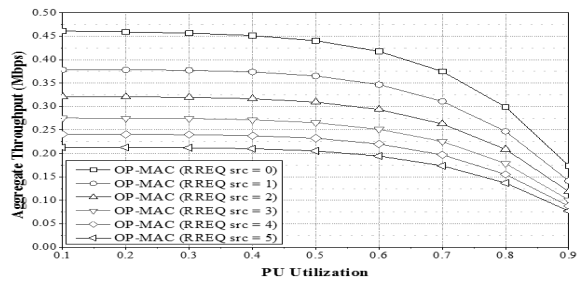
4.3 AODV 적용 성능 실험 결과

여기에서는 O-MAC 프로토콜 및 OP-MAC 프로토콜에 AODV 라우팅 프로토콜을 적용하였을 때, 이들 무선인지 프로토콜들이 네트워크 운용 성능에 어떤 영향을 보여주는지를 실험을 통하여 보인다. 실험은 주사용자 채널이 5개인 DCRN 환경에서 통신하는 10개의 부사용자가 5개의 쌍을 이루어 통신하는 상황을 고려하였다. 이때, AODV 라우팅 경로 설정을 위하여 RREQ 메시지를 전송하는 부사용자의 수를 추가로 증가시켜 가면서, 통신중인 이들 부사용자 쌍의 통합 처리율을 구하였다.

Fig. 7 (a)와 (b)는 각각 O-MAC과 OP-MAC이 적용된 경우에, 주사용자의 사용율의 변화와 RREQ 메시지를 발생시키는 추가 부사용자 (RREQ 부사용자) 수의 변화에 따른 통신중인 부사용자 쌍의 통합 처리율을 보여준다. RREQ 부사용자수가 0인 경우는 AODV 라우팅 경로 설정이 진행되



(a) O-MAC



(b) OP-MAC

Fig. 7. Aggregate Throughput Reduction Effect when the Number of RREQ SUs is Increased (Number of Communicating SU Pairs=5, Number of PU channels=5)

지 않는 상태 (즉, 일반적인 무선인지 통신 상태)에서 구해지는 통합 처리율을 의미한다. Fig. 7 (a)와 (b)에서 보듯이 RREQ 부사용자 수가 증가할수록 (즉, AODV 라우팅 경로 설정을 요구하는 부사용자 수가 증가할수록) 통합처리율이 감소하게 됨을 볼 수 있다.

Fig. 7에서 RREQ 부사용자 수가 증가할수록 통합 처리율이 감소하는 이유는 다음과 같다. RREQ 부사용자가 RREQ 메시지를 전송하면, AODV 프로토콜에 따라 DCRN 내의 모든 통신중인 부사용자와 다른 RREQ 부사용자들은 RREQ 메시지를 다시 브로드캐스트하여야 한다. 이에 따라 통신중인 부사용자들의 전송 기회는 감소하게 되어, 통합 처리율이 감소하게 된다. Fig. 8은 주사용자 사용률이 0.4인 경우에 RREQ 부사용자 증가에 따라 O-MAC과 OP-MAC의 통합 처리율 성능을 비교하여 보여준다. Fig. 8에서 분석은 참고문헌 [5]와 [7]의 O-MAC과 OP-MAC에서 제시한 식을 근거로 구한 것이고, 시뮬레이션은 이를 본 논문에서 구현한 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 구한 것이다. 앞서의 결과에서와 마찬가지로, Fig. 8에서도 RREQ 부사용자 수가 증가할수록 통합 처리율을 감소하는 경향을 보이나, 이 경우에도 OP-MAC의 통합처리율 성능이 O-MAC의 경우보다 더 좋음을 볼 수 있다. 이것은 앞서의 실험결과에서 설명한 이유와 동일하다.

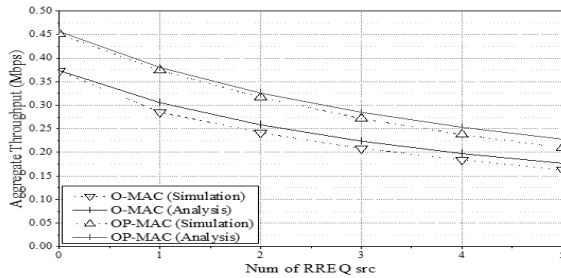


Fig. 8. Comparison of Aggregate Throughput Reduction Effects between O-MAC and OP-MAC (Number of Communicating SU Pairs=5, Number of PU channels=5, PU Utilization=0.4)

Fig. 9는 주사용자 채널에서의 주사용자 사용률이 0.1, 0.5, 0.9일 때, 소스 부사용자 노드와 목적지 부사용자 노드 사이의 홉 수에 따른 데이터 처리율에 대해 O-MAC 프로토콜과 OP-MAC 프로토콜을 비교하여 나타낸다. 앞선 무선인지 MAC 프로토콜들만의 성능 비교와 마찬가지로 OP-MAC 프로토콜에 AODV를 적용한 경우, 트래픽 처리율이 O-MAC 프로토콜에 AODV를 적용했을 때보다 높다. 그 이유로는 앞선 무선인지 MAC 프로토콜의 성능 비교와 마찬가지로 첫째, OP-MAC 프로토콜은 O-MAC 프로토콜과 달리 네트워크 리포트 단계에서 다른 부사용자들과의 충돌 없이 idle 상태의 주사용자 채널 정보를 모두 얻을 수 있으며 이는 사

용할 수 있는 주사용자 채널의 증가를 의미한다. 둘째, OP-MAC 프로토콜의 전송 예약 단계에서는 O-MAC 프로토콜의 협상 단계에서 사용하는 p-persistent CSMA 대신 IEEE 802.11 DCF와 유사한 백오프 메커니즘을 사용하여 주사용자 채널에 대한 사용권을 예약하는 데 이는 부사용자의 수에 크게 구애 받지 않기 때문에 보다 효율적으로 사용권 예약이 가능한 것을 확인할 수 있다. 게다가 경로 탐색을 위해 사용되는 RREQ 및 RREP 메시지 교환이 O-MAC 프로토콜보다 OP-MAC 프로토콜에서 효율적으로 수행되기 때문이다.

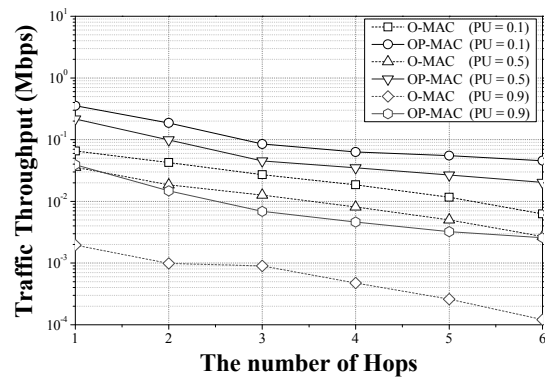


Fig. 9. Throughput Performance Varying PU Utilization and Hop Counts

이 실험 결과로 단일 홉 내에서 무선인지 MAC 프로토콜들의 성능이 다중 홉을 위한 라우팅 프로토콜을 적용하였을 때도 유지되는 것을 알 수 있다. 또한, 위 무선인지 MAC 프로토콜들이 무선인지 네트워크의 단일 홉 환경에 맞게 설계되었고, 무선인지 MAC 프로토콜들 상에서 운용되는 라우팅 프로토콜도 무선인지 특성을 고려하지 않은 일반적인 AODV이기 때문에 무선인지 네트워크의 다중 홉 환경에 적합하지 않아 홉 수가 증가할수록 성능이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 만약, 이 실험에 사용된 일반적인 AODV를 무선인지 환경에 적합하도록 수정하거나 무선인지 MAC 프로토콜들을 기존보다 다중 홉 환경에 맞도록 수정한다면 현재 실험 결과보다 더 나은 성능을 보일 것이라 생각된다.

5. 결 론

무선인지는 부사용자들이 주사용자에게 인가된 채널에 대해 주사용자가 사용하지 않을 때 사용을 허가함으로써 현재의 스펙트럼 부족 문제를 해결하고 무선 자원 사용의 효율성을 향상시킬 수 있는 매우 유망한 차세대 무선 통신 기술이다. 본 논문에서는 중앙 제어 장치가 존재하지 않는 DCRN 환경에서 기존에 제안된 무선인지 MAC 프로토콜을 소개하며 이들 중 O-MAC 프로토콜과 OP-MAC 프로토콜을 OPNET

으로 실험하여 성능을 비교하였다. 또한 이 무선인지 MAC 프로토콜들에 일반적인 MANET 라우팅 프로토콜인 AODV를 적용할 때의 고려 사항 및 해결 방안을 제시하였다. 이를 바탕으로 O-MAC 프로토콜과 OP-MAC 프로토콜에서의 AODV 적용을 위한 설계 방법을 제시하였다. 또한, 기존에 전혀 고려되지 않았던 단일 홉의 DCRN 환경을 기반으로 설계된 무선인지 MAC 프로토콜과 MANET 라우팅 프로토콜 적용의 성능 측정 및 평가를 위해, 위 무선인지 MAC 프로토콜들과 AODV 라우팅 프로토콜 적용 후, 실험을 통해 성능을 측정하여 어느 무선인지 MAC 프로토콜이 더 나은 성능을 보이는지를 확인하였다. 실험 결과를 바탕으로 무선인지 MAC 프로토콜의 성능이 AODV 적용하였을 때도 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 추후에 무선인지 라우팅 프로토콜과 동시에 무선인지 MAC 프로토콜을 고려한 cross-layer 프로토콜의 설계로 단일 홉과 다중 홉에서 우수한 성능을 보이는 프로토콜의 연구 및 개발이 필요할 것이다.

Reference

[1] FCC, ET Docket No 03-222 Notice of Proposed Rule Making and Order, Dec., 2003.

[2] I. F. Akyildiz, W. Lee, M. Vuran, and M. Shantidev, "Next Generation/Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Networks: A survey," *Computer Networks*, Vol.50, No.13, pp.2127-2159, Sep., 2006.

[3] H. Nan, S. Yoo, and T. Hyon, "Distributed Coordinated Spectrum Sharing MAC Protocol for Cognitive Radio", *IEEE DySPAN 2007*, Apr., 2007.

[4] A. Hsu, D. Wei, and C. Kuo, "A Cognitive MAC Protocol using Statistical Channel Allocation for Wireless Ad-hoc Networks," *IEEE WCNC 2007*, Mar., 2007.

[5] H. Su and X. Zhang, "Cross-layer based Opportunistic MAC Protocols for QoS Provisionings over Cognitive Radio Wireless Networks," *IEEE Jr. Selected Areas in Commun.*, Vol.26, No.1, pp.118-129, Jan., 2008.

[6] S. Jha, U. Phuyal, M. M. Rashid, and V. K. Bhargava, "Design of OMC-MAC: An Opportunistic Multi-channel MAC with QoS Provisioning for Distributed Cognitive Radio Networks," *IEEE Tr. Wireless Communications*, Vol.10, No.10, pp. 3414-3425, Oct., 2011.

[7] D. Xue, E. Ekici, and X. Wang, "Opportunistic periodic MAC protocol for cognitive radio networks," *IEEE GLOBECOM 2010*, Dec., 2010.

[8] M. Timmers, S. Pollin, A. Dejonghe, L. Perre, and F. Catthoor, "A Distributed Multichannel MAC Protocol for Multihop Cognitive Radio Networks," *IEEE Tr. Vehicular Technology*, Vol.59, No.1, pp.446-459, Jan., 2012.

[9] W. Jeon, J. Han, and D. Jeong, "A Novel MAC Scheme for Multichannel Cognitive Radio Ad Hoc Networks," *IEEE Tr. Mobile Computing*, Vol.11, No.6, pp.922-934, Jun., 2012.

[10] G. Joshi, S. Nam, and S. Kim, "Decentralized Predictive MAC Protocol for Ad Hoc Cognitive Radio Networks," *Wireless Personal Commun* 2013, Jul., 2013.

[11] J. Mo, H. So, and J. Walrand, "Comparison of Multichannel MAC Protocols," *IEEE Tr. Mobile Computing*, Vol.7, No.1, pp.50-65, Jan., 2008.

[12] A. Domenico, E. Strinati, and M. Benedetto, "A Survey on MAC Strategies for Cognitive Radio Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol.14, No.1, pp.21-44, First Quarter 2012.

[13] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, and K. R. Chowdhury, "CRAHNS: Cognitive radio ad hoc networks," *Ad Hoc Networks*, Vol.7, No.5, pp.810-836, Jul., 2009.

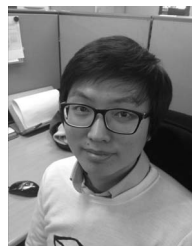
[14] C. E. Perkins, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," *Proceedings. WMCSA '99. Second IEEE Workshop on*, pp. 90-100, Feb., 1999.

[15] Z. Zhai, Y. Zhang, M. Song, and G. Chen, "A reliable and adaptive AODV protocol based on cognitive routing for Ad hoc networks," *Advanced Communication Technology (ICACT), 2010 The 12th International Conference on*, Vol.2, pp. 1307-1310, Feb., 2010.

[16] OPNET Modeler, <http://www.opnet.com>.

[17] Q. Zhao, L. Tong, A. Swami, and Y. Chen, "Decentralized Cognitive MAC for Opportunistic Spectrum Access in Ad Hoc Networks: a POMDP Framework," *IEEE Jr. Selected Areas in Commun.*, Vol.25, No.3, pp.589-600, Apr., 2007.

[18] IEEE Standard 802.11 - 2012; Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Mar., 2012.



권 세 훈

e-mail : kksh1098@ajou.ac.kr

2012년 아주대학교 정보컴퓨터공학부 (학사)

2014년 아주대학교 컴퓨터공학과(석사)

2014년~현 재 (주)LIG넥스원 연구원

2012년 한국컴퓨터종합학술대회 우수논문상 수상

2013년 한국정보처리학회 추계학술대회 우수논문상 수상

관심분야: 무선인지통신, 국방전술통신네트워크



김 학 원

e-mail : kimhakwn@ajou.ac.kr
1981년 육군사관학교 전자공학과(학사)
1992년 한양대학교 전자통신공학과(석사)
2002년 아주대학교 C4I학과(석사)
2011년~현 재 아주대학교 NCW학과
박사과정

2011년~현 재 시스코시스템즈코리아 상무
관심분야: 국방통신네트워크, 애드혹네트워크, 무선인지통신



노 병 희

e-mail : bhroh@ajou.ac.kr
1987년 한양대학교 전자공학과(학사)
1989년 KAIST 전기및전자공학과
(공학석사)
1998년 KAIST 전기및전자공학과
(공학박사)

1989년~1994년 한국통신 통신망연구소
1998년~2000년 삼성전자
2005년 Stony Brook University, New York, Visiting Associate
Professor

2000년~현 재 아주대학교 소프트웨어융합학과 교수
관심분야: 유/무선 인터넷 멀티미디어 통신 및 응용, 트래픽제어, 유
비쿼터스 네트워킹, 인터넷 보안, 국방전술통신 네트워크



김 보 성

e-mail : kbs8354@ajou.ac.kr
2009년 아주대학교 정보컴퓨터공학부(학사)
2009년~현 재 아주대학교 컴퓨터공학과
석·박사 통합과정
2012년 IWUCA'2012 최우수논문상 수상

관심분야: 멀티미디어통신, 전술이동통신, 위성통신, 무선인지통신