

무선 메쉬 네트워크에서 다중 인터페이스 다중채널 MAC 프로토콜의 성능향상에 관한 연구

A Study on the Performance Enhancement of Multi-Interface Multi-Channel MAC Protocols in Wireless Mesh Networks

김 영 범*
(Young-Beom Kim)

요 약

ITS와 WAVE 등의 도입 및 스마트 폰의 광범위한 보급에 따라 WMN 기술은 IEEE802.11 기반의 AP의 무선접속 범위를 확장시키기 위한 효율적인 기술로서 인정받고 있다. 본 논문에서는 WMN 구현에 있어서 대부분의 메쉬 라우터가 갖고 있는 다중 인터페이스/다중 채널 기능을 활용하여 전반적인 통신 속도 및 처리율 향상을 위한 MAC 프로토콜을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증하였다.

Abstract

Spurred by the advent of ITS and WAVE (Wireless access in vehicular environments) as well as the wide-spread use of smart phones, WMN technology is considered to be a promising technology for extending the Internet access coverage supported by the IEEE802.11 based access points. In this paper, we propose a new MAC protocol which can efficiently utilize the multi-interface multi-channel communication capabilities supposedly equipped in most mesh routers, thereby increasing the network throughput considerably. We also verified its performance through computer simulations.

Key words : WMN, MAC, WAVE, ITS, IEEE802.11

I. 서 론

스마트폰과 같은 모바일 통신기기의 광범위한 보급과 지능형 교통 시스템 (ITS), WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)와 같은 차량 이동 통신의 등장에 따라 무선 인터넷 접속 범위를 손쉽게 넓힐 수 있는 기술의 하나인 무선 메쉬 네트워크 (WMN: Wireless Mesh Network)에 대한 관심이

날로 높아지고 있다[1].

현재 IEEE 802.11 기반 무선 접속의 경우 AP (Access Point)를 중심으로 하는 WiFi 존내에서만 인터넷 접속이 가능하다. 그러나 이는 차량 이동통신과 KTX와 같은 고속 이동체내에서의 인터넷 접속 등과 같이 무선 통신단말 들의 이동성 등을 고려하면 ‘언제 어디서나 인터넷 접속이 가능해야 한다’는 유비쿼터스 인터넷 접속 서비스 개념과는

* 주저자 : 건국대학교 전자공학부 교수

† 논문접수일 : 2011년 6월 29일

† 논문심사일 : 2011년 9월 27일

† 게재확정일 : 2011년 9월 28일

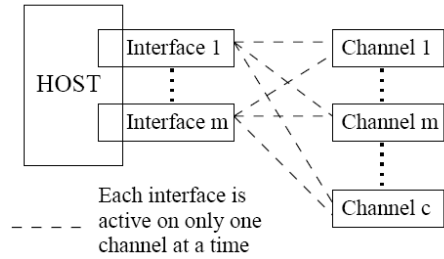
거리가 멀다. 무선 메쉬 네트워크의 경우에는 노드들의 Topology가 메쉬 형태로 연결되어 있기 때문에 자가 구성 (auto-configuration)이 가능하다.

메쉬 노드들은 메쉬 라우터를 통해 네트워크에 접속될 수도 있고, 단말들 간의 직접 연결을 통해 상호 통신할 수도 있다. 인터넷, WiFi, WiMAX, 셀룰라 및 센서 네트워크와 같은 이중의 네트워크와의 연동을 네트워크 인프라가 제공하는 동안 무선 통신단말의 라우팅 기능은 통신 연결의 신뢰성을 증가시키고 WMN의 통신 영역을 확장하는 효과를 가져온다.

현재 대부분의 IEEE802.11 무선 인터페이스 표준[2]을 살펴보면 복수개의 채널을 제공하고 있으나 대부분의 경우 오직 한 개의 채널만을 사용하고 있다. 따라서 하나의 무선단말이 동시에 전송할 수 있는 채널의 수는 단말의 인터페이스 수만큼 제한된다. IEEE802.11b 물리계층의 경우 14개 채널을 가지며 채널간 간격은 5MHz이다. 최근에 이르러 무선랜 카드의 단가저하에 따라 하나의 단말 또는 무선호스트가 복수개의 인터페이스를 장착하는 것이 점차 현실화되고 있다[1,2].

<그림 1>은 멀티채널 멀티 인터페이스 모델을 나타내고 있다. 멀티홉 무선 네트워크에서 멀티 채널의 효율적 사용방안은 매우 중요한 문제이다. 예를 들어 각 호스트가 한 개의 인터페이스를 갖고 두 개의 채널을 사용할 수 있는 경우를 고려해 보자. 각 노드가 인터페이스를 한 개 채널에만 고정하는 경우 모든 호스트가 공통채널에만 고정한다면 두 번째 채널은 사실상 무용지물이 된다. 반면에 한 호스트가 하나의 채널에 튜닝하고 다른 호스트는 둘째 채널에 튜닝하게 되면 첫째 채널을 사용 중인 호스트는 둘째 채널 상의 호스트들과 통신이 불가능하게 됨으로서 네트워크 파티션이 발생하게 된다. 이 상황에서 각 호스트별로 인터페이스의 채널을 스위칭하도록 하면 이러한 문제는 해결될 수 있으나 인접노드간에 스위칭 타임을 조율하는 점에 있어서 시스템 복잡도가 가중되게 된다.

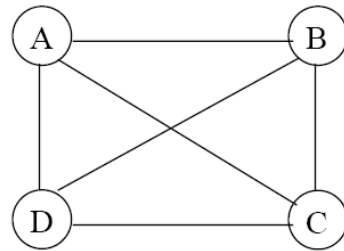
메쉬 네트워크 구축에 있어서 중요한 현안문제 중의 하나는 광대역 애플리케이션이 요구하는 충



<그림 1> 다중 인터페이스 다중 채널 모델
(Fig. 1) A multi-interface multi-channel model

분한 네트워크 용량을 마련하는 데 있다. 메쉬 네트워크 상의 트래픽은 주로 인터넷 게이트웨이 호스트와 메쉬 호스트간에 집중될 것으로 예상되고 있다. 이러한 관점에서 중요한 문제 중의 하나는 각 호스트들의 인터페이스 수가 한정된 조건에서 복수개 채널의 활용방안이다. 복수 채널을 사용할 경우의 이점은 <그림 2>의 간단한 예를 들어 설명할 수 있다. 이 네트워크에서 각 노드는 한 개 인터페이스를 가지며 두 개 채널이 사용 가능하다면 노드 A는 한 개 채널을 통해 노드 B로 데이터를 보내고 동시에 노드 D는 또다른 채널을 통해 노드 C로 데이터를 보낼 수 있다. 따라서 노드간 전송 타이밍을 적절히 조율한다면 두 개 채널을 적절히 활용할 수 있다.

본 연구에서는 WMN 구성에 있어서 핵심요소인 메쉬 라우터의 다중 채널과 다중 인터페이스를 활용하기 위한 기존의 대표적인 MAC 프로토콜인 MMAC (Multi-Channel MAC)[3]와 HMCP (Hybrid Multi-channel Protocol)[4,5]의 장단점을 고찰하고 트래픽 처리율 (throughput)을 향상시키기 위한 방



<그림 2> 단일 I/F, 두 개 채널의 경우
(Fig. 2) The case of one interface and two channels

안을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 장에서는 각각 MMAC와 HMCP에 대해 간략히 소개하고 문제점을 살펴본다. III 장에서는 새로운 MAC 프로토콜을 제안하며, IV 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜의 성능을 검증한다. 마지막으로 V 장에서 결론을 맺는다.

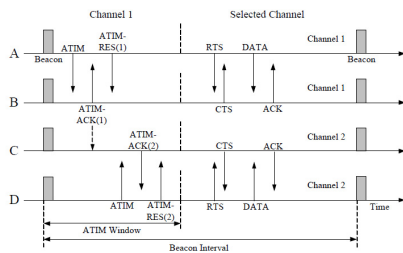
II. 기존 Protocol에 대한 고찰

1. MMAC의 기본개념과 문제점

MMAC 프로토콜의 경우 각 이동 호스트들은 효율적인 채널 선택을 위해 선호채널목록 (PCL : Preferable Channel List)이라 부르는 데이터 구조를 유지 및 관리한다. PCL은 해당노드의 전파범위 (transmission range) 내에서 채널의 사용 상태를 기록하게 되며 이 때 모든 통신채널은 채널의 가용성 정도에 따라 높은 수준부터 차례로 HIGH, MID, LOW의 3개 상태로 분류되어 관리된다.

MMAC 프로토콜에서는 IEEE802.11 절전모드[2]에 정의되어 있는 ATIM (Ad hoc Traffic Indication Message) 윈도우에 해당하는 시간 동안 모든 Host는 공통채널에 맞춰져 있으며 이 시간동안 송신 및 수신측은 추후의 데이터 통신을 위해 사용할 채널을 결정하게 되며 이러한 송/수신측간 교환되는 채널 정보를 엮는게 되는 다른 인접 호스트들은 이러한 정보를 자신의 PCL 상에 반영하게 된다.

MMAC에서 채널선택 과정은 다음과 같다 (그림



<그림 3> MMAC에서의 채널 선택 및 데이터 통신 과정
<Fig. 3> Channel selection and data exchange process in MMAC

3 참조). <그림 3>에서 호스트 A는 B와 그리고 D는 C와 통신을 하려고 시도하는 상황이다. 이 경우 A는 B에게 ATIM 신호를 보내서 통신할 수 있는지 확인하고 만약 B가 통신이 가능하다면 ATIM-ACK 신호를 보낸다. 이때 ATIM-ACK 신호 안에는 B가 선호하는 채널이 들어가 있게 되고 이 패킷은 브로드캐스트가 되어서 이웃 호스트들이 어느 채널에서 통신을 하게 하는지 알게 해준다. ATIM 윈도우가 끝나면 각자 약속한 채널로 가서 통신을 하게 된다.

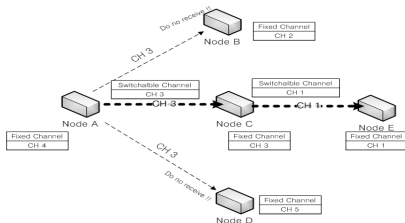
MMAC 프로토콜은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 즉, 채널의 수가 적고 통신에 참여하는 이동 호스트의 수가 많은 경우, 단순한 Back-off 방식으로는 패킷의 충돌확률이 증가하게 되고 RTS/CTS 메커니즘으로 인한 통신 대역폭 낭비가 커진다.

2. HMCP의 기본개념과 문제점

MMAC은 다중 채널을 사용할 경우에 네트워크의 효율성을 증대시키며 한 개의 채널이 아닌 이 용가능한 모든 채널을 사용하기 위하여 제안된 프로토콜이라고 볼 수 있다. 이번에는 다중 채널뿐만 아니라 다중 인터페이스환경까지 고려하여 각 인터페이스에 대한 채널 할당에 관련된 프로토콜인 HMCP에 대해 살펴보도록 한다.

각 노드에 M개의 인터페이스가 사용가능한 경우 HMCP에서는 사용 가능한 M개의 인터페이스를 고정 인터페이스와 변동 인터페이스의 두 종류로 나눈다. 전체 M개의 인터페이스중 K개의 인터페이스를 상대적으로 긴 시간동안 고정 인터페이스로 사용한다. ‘고정’과 ‘변동’의 인터페이스는 각각 수신과 송신을 전담하게 된다.

<그림 4>에서 노드 A, B, C, D, E는 2개의 인터페이스를 가지고 있으며 1개의 고정 인터페이스와 1개의 변동 인터페이스가 존재한다. 노드 A에서 노드 C를 거쳐서 노드 E로 전송을 하고자 할 때 자신의 채널을 노드 C의 고정 채널인 3으로 할당하고 패킷을 전송하게 된다. 노드 C는 수신된 패킷을 다시 E로 보내기 위해 자신의 변동 채널을 노드 E의 고정 채널 1로 스위치하고 전송한다.



〈그림 4〉 HMCP를 적용한 채널할당의 예
 (Fig. 4) An example of channel assignments under HMCP

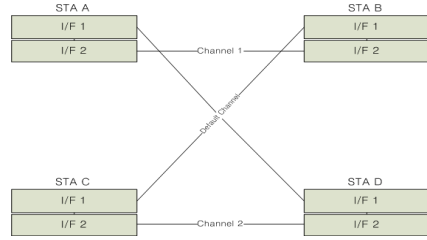
고정 인터페이스에 채널을 할당하기 위해서는 주변 노드의 고정 인터페이스에 할당된 채널들에 대한 정보가 필요하다. 각 노드는 NT (Neighbor Table)와 CUL (Channel Usage List)를 가지게 되는데 NT는 주변 노드들의 고정 채널에 대한 정보를 포함하며 CUL에는 두 홉 내의 노드들이 사용하고 있는 고정 채널에 대한 정보가 포함된다.

III. 제안 프로토콜 MHH

앞서 MMAC과 HMCP의 동작원리에 대해 간단히 소개하였다. 하지만 2가지 프로토콜의 경우, 현재 실용화에 있어서 다소 문제점이 있다. MMAC의 경우에는 단일 인터페이스만을 고려하고 있으며 HMCP의 경우 경유하는 홉 수가 증가하면 트래픽 처리율이 급격히 감소한다.

MMAC의 가장 큰 특징은 일정 시간 동안에 지정된 채널로 스위칭하여 통신을 하려는 통신 단말들이 상호 채널을 조율하여 통신을 하는 방식이다. HMCP인 경우 고정된 인터페이스와 스위칭 인터페이스로 나누어서 통신을 하게 된다. 각 단말이 상대방의 고정된 인터페이스 (고정된 인터페이스는 한 개의 채널로 고정되어 있음)의 채널을 알고 있어서 해당 채널로 변동 인터페이스를 변경하여 통신을 하게 된다.

본 논문에서 제안한 MHH (MMAC protocol and HMCP protocol Hybrid) 프로토콜은 MMAC와 HMCP의 특성을 모두 가지고 있다. 즉, 한 개의 인터페이스는 모두 같은 채널에 고정되고 나머지 인터페이스는 채널을 변경할 수 있다. 고정 채널에서는 각

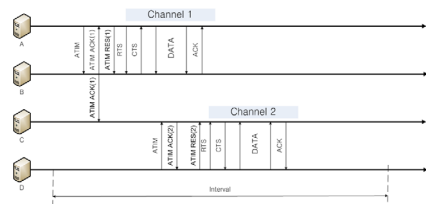


〈그림 5〉 MHH를 적용한 채널할당의 예
 (Fig. 5) An example of channel assignments under MHH

각의 통신 단말이 통신을 할 수 있도록 채널 조율을 위한 제어 패킷을 보내 통신할 채널이 정해지면 남은 인터페이스가 변경되어 해당 채널을 통해 통신을 진행하게 된다.

MHH를 이용할 경우 통신 단말간의 동기화가 필요 없다. 즉, 필요로 하는 데이터가 발생할 경우에 고정된 인터페이스는 즉시 해당 통신 단말과 채널 협상을 하게 되고 채널 협상 후 곧바로 데이터 전송이 가능하다. 또한 채널을 협상할 당시 보내는 제어 패킷은 기존의 IEEE 802.11의 CSMA/CA 방식을 취하고 있기 때문에 서로간의 전송시간 확인을 통해 잠복 단말 문제를 해결할 수 있다. 더구나 HMCP와는 달리 “Hello” 패킷을 주기적으로 보낼 필요없이 기본 채널을 통해서 필요할 때만 제어 패킷을 보내면 되기 때문에 통신 단말의 부하를 상당히 줄일 수 있다.

3개 이상의 인터페이스가 존재할 경우에는 좀 더 원활한 통신이 가능하다. 한 개의 인터페이스는 이미 정해진 채널에 고정되고, 다른 한 개의 인터페이스는 기본 채널을 제외한 채널, 즉 통신 단말에서 자신이 데이터를 수신할 때 사용하는 채널에 고정된다. 또한 나머지 한 개의 인터페이스는 채널



〈그림 6〉 MHH를 적용한 데이터 통신
 (Fig. 6) Data exchanges under MHH

을 변경하여 통신 단말에서 데이터를 발신할 때 목적지 통신 단말에서 사용하는 수신 인터페이스의 채널로 스위칭하는 역할을 하게 된다. <그림 7>은 3개의 인터페이스를 이용한 데이터 전송의 경우 사용되는 전송 절차에 대한 의사코드를 나타내고 있다.

```

Xmit_Data(){
do {
    send ATIM pkt to the rcvr
    using default CH;
    wait for ATIM_ACK through
    default CH;
    identify CH No. in ATIM_ACK;

    tune SWITCHABLE I/F to the
    determined CH No.

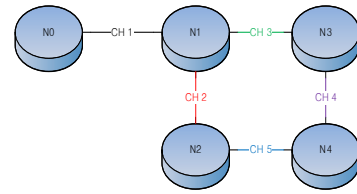
    send RTS to the rcvr using
    SWITCHABLE I/F;
    wait CTS;
    send DATA to the rcvr;
    wait until ACK pkt arrives;
} while (FRAME_TO_SEND_EXISTS)
}
    
```

<그림 7> MHH에서 3개 인터페이스인 경우 데이터 전송을 위한 의사코드
 <Fig. 7> Pseudocode for data trans. through 3 I/F's under MHH

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 및 검토

제안한 다중 채널 다중 인터페이스 프로토콜의 성능을 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 시험하였다. 1회의 시뮬레이션의 시간은 40 sec으로 하였고 비콘인터벌의 길이는 100ms으로 설정하였다. 시뮬레이션에서 채널당 전송속도는 2Mbps, 발생 트래픽의 종류는 CBR (Constant Bit Rate), 3개 채널을 가정하였으며, 패킷의 길이와 ATIM 윈도우의 길이는 각각 512 bytes, 20ms으로 설정하였다. <그림 8>은 다섯 노드로 구성되는 WMN 모델과 채널 할당을 보여주고 있다.

HMCP와 MHH 프로토콜을 노드 5개의 경우에 적용시켜 처리율을 측정해본 결과 상대적으로 규

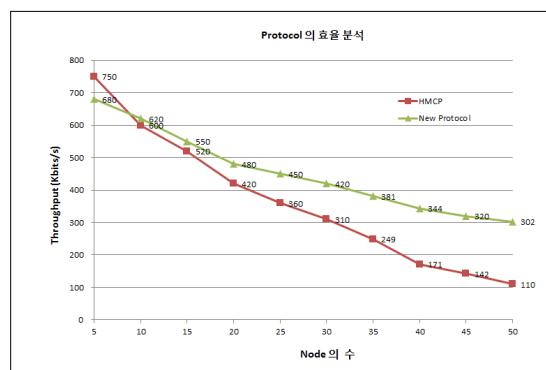


<그림 8> 5개 메쉬 노드로 구성되는 WMN 시뮬레이션 모델
 <Fig. 8> A WMN simulation model with 5 mesh nodes

모가 작은 WMN이기 때문에 MHH가 기존의 HMCP에 비해 처리율 면에서 다소 작은 값을 보여 주고 있다. 노드 수를 5개에서 50개까지 5씩 증가시켜 가면서 HMCP와 MHH를 적용시켰을 때의 처리율을 비교 분석해 보았다.

<표 1> HMCP와 MHH 성능비교
 <Table 1> Performance comparison between HMCP and MHH

# Node	HMCP	Proposed Protocol
5	750	680
10	600	620
15	520	550
20	420	480
25	360	450
30	310	420
35	249	381
40	171	344
45	142	320
50	110	302



<그림 9> HMCP와 MHH의 성능비교
 <Fig. 9> A performance comparison of HMCP and MHH

노드 수가 증가할수록 처리율 감소량이 MHH가 HMCP에 비해 작은 것을 확인 할 수가 있다. 이는 노드의 수가 적을 경우 하나의 채널을 Default 채널로 설정하여 채널 협상을 위해서만 사용하기 때문에 상대적으로 데이터를 전송하는 채널이 줄어들기 때문에 채널 사용의 효율성은 HMCP가 더 뛰어나다고 할 수 있다. 하지만 노드의 수가 증가할수록 주기적으로 발생하는 각 노드들의 제어 패킷의 수 또한 노드의 수에 비례하는 반면 MHH의 경우 하나의 Default 채널을 이용하여 지속적인 채널협상을 유지할 수 있기 때문에 불필요한 제어 패킷 발생으로 인한 전파지연은 발생하지 않는다. 따라서 많은 노드 수의 네트워크 환경에서 MHH가 HMCP에 비해 뛰어난 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 ITS와 WAVE 등에 효율적 적용이 기대되고 있는 WMN 구현에 있어서 대부분의 메쉬 라우터가 갖고 있는 다중 인터페이스/다중 채널 기능을 활용하여 전반적인 통신 속도 및 처리율 향상을 위한 MAC 프로토콜을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증하였다.

WMN에서 무선 라우터들은 MANET (Mobile Ad-hoc Network)에서 오는 달리 이동성이 제한적이므로 이웃 노드들에 제어 패킷을 발생하여 인접 노

드들의 정보를 주기적으로 갱신해야 할 필요성은 상대적으로 작다. 따라서 한 개 채널을 고정하여 지속적으로 인접노드와 정보를 교환할 경우 제어 패킷을 발생할 필요가 없게 되고, 또한 노드 수가 많아질수록 제어 패킷의 발생량이 많아지는 HMCP에서 오는 달리 보다 안정적인 통신이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang and W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey," *Computer Networks Journal*, vol. 47, pp.445-487, Jan. 2005.
- [2] IEEE 802.11 Working Group, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1997.
- [3] J. So and N. H. Vaidya, "Multi-Channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-channel Hidden Terminals Using a Single Transceiver," *Proc. ACM MOBIHOC*, pp.222-233, 2004.
- [4] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing and Interface Assignment in Multi-Channel Multi-Interface Wireless Networks," *Proc. WCNC*, pp. 2051-2056, 2005.
- [5] P. Kyasanur and N. H. Vaidya, "Routing and Link-layer Protocols for Multi-Channel Multi-Interface Ad hoc Wireless Networks," *Tech. Rep.*, University of Illinois at Urbana-Champaign, May 2005.

저자소개



김 영 범 (Kim, Young-Beom)

1996년 : 미국 매릴랜드 주립대 전자공학 박사

1997년 9월 ~ 현재 : 건국대학교 정보통신대학 전자공학부 교수