

Mesh Network를 위한 토폴로지 제안과 MAC Protocol 설계

한규준^o 최 린
고려대학교 전자컴퓨터공학과
{hackingplus^o, lchoi}@korea.ac.kr

Design of MAC protocol with a special topology for Mesh Network

Kyuchun Han^o Lynn Choi

Dept. of Electronics and Computer Engineering Graduate School, Korea University

요 약

본 논문은 Wireless Mesh Network를 위한 새로운 MAC 프로토콜의 설계에 관해 기술한다. Mesh Network는 Mesh Router에 의해 무선 인프라를 구성한다. WMN(Wireless Mesh Network)는 고정된 상태의 Mesh Router에 의한 인프라를 구성하고 인터넷과 같은 기존의 인프라와 연결되는 구조적 특징을 가진다. 또한 다양한 응용분야의 지원을 위한 QoS(Quality of Service)가 요구되어지기 때문에 end-to-end 전송 지연, 공정성, 그리고 데이터 손실 등 많은 사항을 고려한 프로토콜의 설계가 요구된다. 본 논문에서는 WMN의 이러한 특징을 지원하기 위한 토폴로지의 제안과 TDMA를 활용한 MAC 프로토콜을 설계하였으며, NS-2 시뮬레이션을 통해 성능을 측정하였다.

1. 서 론

Mesh Network는 최근에 등장한 무선 네트워크의 새로운 개념으로써 Mesh Router에 의한 무선 인프라 구축을 그 목적으로 하고 있으며 다음과 같은 구조적 특징을 가지고 있다. 첫째, WMN(Wireless Mesh Network)는 고정된 상태의 Mesh Router에 의한 무선 인프라를 구성한다. 그러므로 빈번한 토폴로지의 변화를 일으키지 않는다. 둘째, 트래픽의 대부분이 인터넷과 같은 기존의 인프라와의 연결을 위해 WMNs과 기존의 인프라를 연결하여주는 게이트웨이로 집중된다[1]. 또한 MAC 프로토콜 설계에 있어서 WMNs은 멀티-홉 통신의 원활한 지원을 요구한다. 기존의 많은 무선 네트워크 프로토콜 중 현재 표준으로 사용되고 있는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 RTS/CTS의 컨트럴 패킷을 활용함으로써 데이터의 손실을 막는 방식으로 가장 널리 사용되는 무선 MAC 프로토콜이다. 그러나 이러한 프로토콜은 WMNs의 요구사항을 만족시키기에 많은 문제점을 가지고 있다. 특히 기존의 많은 라우팅 프로토콜이 멀티-홉을 지원하는데 비해 MAC 프로토콜은 싱글-홉 통신에 제한되어 있어 WMNs에 적용하기에 적절하지 않다. 또한 멀티미디어 트래픽이 증가하는 현재의 네트워크 상황을 충분히 반영하지 못한다.

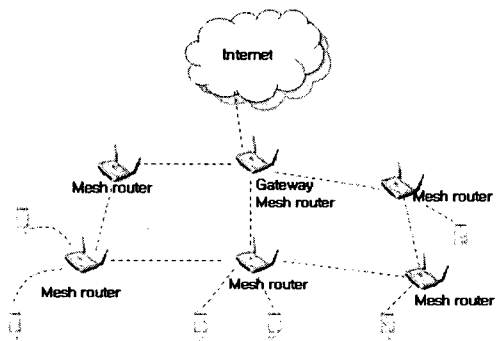
이에 본 논문에서는 WMN의 특징을 효율적으로 지원할 수 있는 토폴로지의 제안과 TDMA 방식의 MAC 프로토콜을 설계함으로써 변화하는 트래픽의 특성과 WMN을 효율적 지원을 그 목적으로 한다.

2. 관련 연구

2.1 WMN 구조

WMNs은 크게 Mesh Router, 게이트웨이로 구성된다. 이 두 가지의 구성요소로 무선 인프라를 구축하며 [그림

1]과 같은 구성을 가진다. Mesh Router는 [그림 1]과 같이 게이트웨이의 기능을 가지게 되고 이것을 이용하여 인터넷과 같은 기존의 인프라에 WMNs을 연결한다. 이러한 Mesh Router는 거리나 건물 등에 설치되어 사용자로 하여금 무선으로 네트워크에 접속할 수 있는 편의성을 제공한다.



[그림 1]

2.2 Mesh Network의 특징

WMNs은 기존의 WLAN의 개념을 확장한 것으로 AP (Access Point) 간의 통신 시 네트워크 성능에 손실 없이 멀티-홉 통신의 지원을 요구한다. 즉, 한 AP쌍의 통신이 통신을 원하는 또 다른 AP에 영향을 주지 않아야 한다. 또한 WMNs은 홈 네트워킹이나 기업 네트워킹, 발당 자동화 등 다양한 응용분야의 지원을 위해 다양한 QoS(Quality of Service)가 요구된다. 이를 위해 end-to-end 전송지연, 공정성 그리고 데이터 손실 등 많은

사항들과 기존의 인프라와의 연결뿐만 아니라 P2P 통신의 지원 등을 고려한 WMNs 프로토콜의 설계가 필요하다.

2.3 MAC 프로토콜

WMNs은 2.2 에서 언급한 요구사항을 감안한 MAC 프로토콜의 설계가 요구된다. 이러한 요구사항을 반영한 기존의 연구로는 기존의 MAC프로토콜을 개선하는 방법과 다중채널을 사용하여 동시에 통신하는 통신 쌍을 증가시켜 성능을 향상시키는 방법으로 크게 나누어 진다.

- 기존의 MAC프로토콜의 개선: 기존의 MAC 프로토콜을 개선하는 방식은 CSMA/CA의 contention window size 나 backoff time과 같은 파라미터의 개선에 그 초점이 맞추어져 있다[2]. 그러나 이러한 파라미터의 개선은 여전히 낮은 end-to-end 데이터 처리율을 가지기 때문에 WMNs의 요소들을 만족시키지는 못한다.

- 멀티채널 MAC 프로토콜: IEEE 802.11b/802.11g 표준은 각각 간섭 없는 3개와 12개의 주파수 채널을 지원한다. 이러한 다중채널을 이용해 통신하는 통신 쌍간의 간섭을 피하는 방식으로 MAC 프로토콜의 성능을 향상시킬 수 있다. 가장 대표적인 프로토콜로는 Multi-Channel MAC(MMAC) 프로토콜을 들 수 있다[3]. MMAC은 IEEE 802.11의 파워 세이빙 모드의 ATIM(ad hoc traffic indication message)을 통해 데이터를 전송할 노드가 수신 노드에게 채널 할당을 요구하는 컨트롤 패킷을 전송하여 통신할 통신 쌍의 통신채널을 선택하고 다른 통신 쌍과의 간섭 없이 선택한 통신채널로 데이터를 전송하는 방식이다. 하지만 이러한 방식은 컨트롤 패킷의 교환이 계속적으로 발생할 뿐만 아니라 빈번한 채널 전환에 따른 지연이 발생하는 문제점을 가지고 있다. (채널전환지연시간: 224us)

이러듯 CSMA/CA MAC프로토콜은 WMNs의 요구사항을 만족시키지 못한다. 이에 반해 TDMA나 CDMA는 CSMA/CA에 비해 향상된 데이터 처리율을 가질 뿐만 아니라 WMNs의 QoS(Quality of Service)를 만족시킬 수 있기 때문에 충분한 적용 가능성을 가지고 있다. 그러나 지금까지의 TDMA 방식은 Ad-Hoc 네트워크에 그 초점이 맞추어져 있으며 적절한 전송 슬롯의 개수결정의 어려움으로 인해 전송 슬롯을 낭비하는 문제점을 가지고 있으며, 또한 노드간의 간섭에 대한 문제를 고려 하고 있지 않아 데이터 손실의 가능성을 가지고 있다 [5][6].

3. 타임 스케어(Time Square)

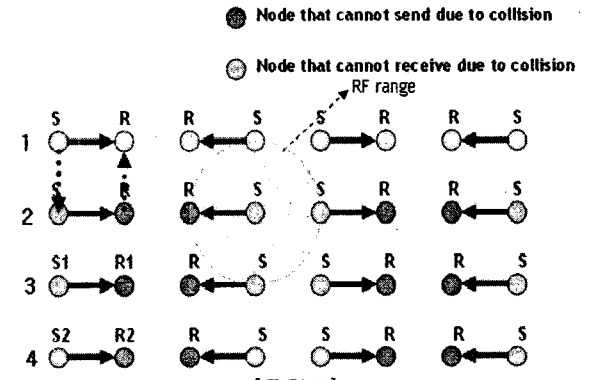
3.1 토폴로지 구성

멀티-홉 무선 Network의 성능은 네트워크 구조, 토폴로지, 트래픽 패턴, 노드의 조밀성 등 여러 가지 요소들에 의해 결정 된다. 그 중 멀티-홉 네트워크에서의 노드의 조밀성은 네트워크의 성능을 좌우하는 중요한 요소이다 [4]. 또한 WMNs을 위한 MAC 프로토콜은 기존의 무선 네트워크와는 다른 특성을 가진다.

그 중 무선 네트워크가 가지고 있는 히든 노드 문제와 같은 전송중인 AP쌍이 다른 AP의 전송에 영향을 주는 문제의 해결과 토폴로지의 정보를 통해 멀티-홉 전송의 원활한 지원을 통한 네트워크의 성능 향상을 요구한다.

이를 위해 본 논문에서는[그림 2]와 같이 네 방향의 이

웃 AP를 가지는 네트워크 토폴로지를 구성하였다. [그림 2]의 토폴로지 구성은 WMNs의 특징인 이동성이 거이 없다는 측면과 네트워크의 성능 향상을 위한 토폴로지 정보의 필요성을 만족시킬 수 있으며 각 AP에게 적절한 이웃 AP를 가지게 함으로써 멀티-홉 네트워크의 성능을 좌우하는 노드의 조밀성을 만족 시킴으로써 네트워크의 성능 향상을 기대할 수 있다. 또한 동시에 통신하는 통신 쌍의 수를 최대화 할 수 있으며, 고정된 이웃 AP의 구성으로 전송 슬롯의 개수를 고정시켜 전송 슬롯의 낭비를 막을 수 있는 이점이 있다. 이러한 이점들은 WMNs의 MAC 프로토콜의 요구사항을 충분히 반영한다.



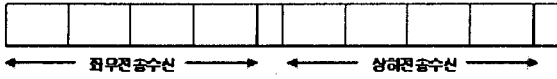
[그림 2]

3.2 타임 스케어(Time Square) MAC 프로토콜

3.1의 토폴로지 구성을 위한 Time Square MAC 프로토콜은 다음과 같은 사항을 가정한다.

- 가정
- 모든 AP는 이웃 AP의 위치를 알고 있으며 타임 동기화가 되어있다. (GPS의 사용을 가정함)
- 모든 AP는 미리 저장된 라디오 주파수 전송범위를 감안한 16개의 전송 스케줄을 가지고 있다.
- 스케줄링은 게이트웨이에 의해 시작된다.

최초 게이트웨이로부터 발생하는 Time Square MAC 프로토콜의 스케줄링 초기화는 빠른 슬롯 스케줄링을 가능하게 한다. 게이트웨이로부터 선택된 스케줄은 자신의 이웃 AP의 각 방향으로 전송되고 스케줄을 전송 받은 각 AP는 전송 받은 스케줄에 따라 미리 저장된 스케줄 중 적절한 자신의 스케줄을 선택하여 전송한다. 스케줄전송시 전송 받은 스케줄의 방향에 따라 각 AP는 스케줄전송의 우선권을 가지게 되며 이러한 우선권에 의해 충돌 없이 스케줄을 전송할 수 있다. Time Square의 각 스케줄은 [그림 2]와 같이 통신 쌍의 수를 최대화 할 수 있도록 구성된다. 이를 위한 각 AP의 송수신 슬롯은 [그림 3]과 같다. 송수신 슬롯은 총 8개의 슬롯으로 구성되며 앞의 4개의 슬롯은 좌우의 전송과 수신에 뒤의 4개의 슬롯은 상하의 전송과 수신에 사용된다. [그림 3]과 같은 송수신 슬롯의 할당은 각각의 AP에게 자신의 송수신 스케줄이 할당된 슬롯에서 유니케스트한 방식으로 좌우와 상하의 송수신 슬롯을 반복하여 데이터를 송수신 하게함으로써 동시에 통신할 수 있는 통신 AP쌍의 수를 매 송수신 슬롯당 N/2개 만큼 가질 수 있도록 지원한다. (N은 총 AP의 수) 그러나 [그림 2]와 같은 토폴로지의 구성은 전송범위를

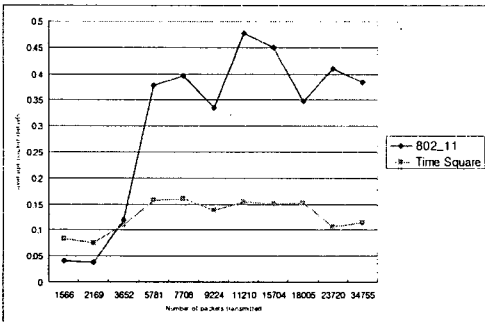


[그림 3]

벗어나는 노드들의 전송에 의해 데이터 수신에 간섭을 받을 수 있는 토폴로지의 구성이다. [그림 2]의 (S1, R1)과 (S2, R2)는 동시에 통신할 수 있는 통신 쌍이다. 그러나 S1과 S2의 전송이 각각의 통신 쌍이 아닌 R2와 R1의 수신에 영향을 미칠 수 있다[7]. 이러한 간섭은 IEEE 802.11뿐만 아니라 Time Square의 성능을 급격히 저하시키는 요인이 된다. 이러한 심각한 간섭의 문제를 해결하기 위해 Time Square MAC 프로토콜은 IEEE 802.11 표준에서 제공하는 멀티 채널을 사용하여 간섭을 해결한다. 즉 [그림 2]에서 1행과 2행, 3행과 4행은 서로 간섭을 일으키는 관계에 있으므로 행간의 통신 채널을 다르게 하여 간섭을 해결할 수 있다. 유니케스한 통신구조와 상하, 좌우로 분리되어 있는 송수신 슬롯의 구조를 가지는 Time Square에서는 각 AP간의 통신채널 협상과정 없이 송수신 슬롯 스케줄 전송 시 좌우, 상하송수신 슬롯의 통신채널을 전송함으로써 쉽게 슬롯의 통신채널을 할당할 수 있다. 멀티 채널의 사용으로 MMAC과 같은 채널전환이 요구되며 이를 위해 송수신 슬롯 전후에 [그림 3]과 같은 채널 전환슬롯을 할당 하였으나 MMAC의 컨트롤 패킷과 채널전환으로 인해 발생하는 오버헤드를 감안할 때 Time Square의 채널 전환으로 인해 발생하는 오버헤드는 MMAC에 비해 상당히 적다고 할 수 있다. 위와 같은 토폴로지의 구성과 송수신 슬롯의 할당 그리고 멀티 채널의 구성으로 각 AP는 자신의 송수신 슬롯의 한 싸이클을 이용하여 이웃 AP 각각에 충돌 없는 브로드캐스팅을 전송할 수 있으며, 충돌 없이 동시에 통신 가능한 통신 쌍을 최대화하여 WMNs의 여러 요구 사항을 충족시킬 수 있다.

4. 실험과 결과

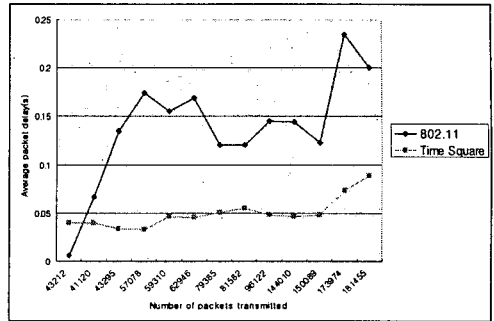
Time Square 프로토콜은 ns-2 시뮬레이터로 구현되었다. 토폴로지 구성은 [그림 2]와 같은 구조이며 노드 수는 40개로 이루어 졌다.



[그림 4]

[그림 4]는 하나의 게이트웨이로 데이터가 집중될 때의 데이터 평균 지연 시간에 관한 그림이다. [그림 4]에서 보는 것처럼 IEEE 802.11은 데이터 발생량이 많아짐에 따라 컨트롤 패킷의 잦은 충돌에 의해 데이터 전송 지연의 발생으로 Time Square에 비해 높은 전송 지연을 보임을 알 수 있다. 반면 Time Square 거의 일정한 데이터

전송 지연이 발생함을 알 수 있다.



[그림 5]

[그림 5]는 P2P전송 시 데이터 발생 수에 따른 전송 지연을 보인 것이다. [그림 5] 또한 [그림 4]와 마찬가지로 데이터 전송 량이 증가할수록 IEEE 802.11은 컨트롤 패킷의 충돌에 의해 전송 지연의 발생을 볼 수 있다. 이러한 전송 지연은 결국 많은 데이터의 손실을 발생시켜, 데이터 처리율의 저하를 가져온다. 따라서 CSMA/CA와 같은 MAC 프로토콜은 WMNs의 요구사항을 충족시킬 수 없음을 보여주고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 새로운 개념의 WMNs가 요구하는 사항들을 충분히 반영할 수 있는 Time Square MAC 프로토콜을 제안했다. Time Square MAC 프로토콜은 RTS/CTS를 가지는 CSMA/CA MAC 프로토콜에서 충분히 지원되지 않는 end-to-end 전송 지연, 공정성, 그리고 데이터 손실 등 mesh network를 위한 프로토콜 설계 시 요구되는 많은 사항들을 만족시킬 수 있는 WMNs를 위한 MAC 프로토콜이다. 또한 멀티미디어의 발전과 더불어 멀티미디어 트래픽이 요구하는 QoS를 만족시키는 프로토콜이다.

참고문헌

- [1] Ashish Raniwala and Tzi cker Chiueh, Architecture and algorithms for an iee 802.11-based multi-channel wireless mesh network, in IEEE INFOCOM, 2005.
- [2] D. Qiao, K. Shin, UAV: a simple enhancement to IEEE 802.11 DCF, in Hawaii International Conference on System Science, 2002.
- [3] J. So, N. Vaidya, Multi-channel MAC for ad hoc networks: handling multi-channel hidden terminals using a single transceiver, in MOBIHOC, 2004.
- [4] L. Kleinrock, J. Silvester, Optimum transmission radii for packet radio networks or why six is a magic number, in Proceedings of the IEEE National Telecommunications Conference, Birmingham, Alabama, December 1978.
- [5] C. Zhu and M. S. Corson. A five phase reservation protocol (FPRP) for mobile ad hoc networks. In IEEE INFOCOM, 1998.
- [6] Mahesh K., George D., Ulag C. Kozat RBRP: A Robust Broadcast Reservation Protocol for Mobile Ad Hoc Networks in IEEE ICC, 2001.
- [7] K. Xu, M. Gerla, and S. Bae, How effective is the IEEE 802.11RTS/CTS handshake in Ad Hoc networks? in IEEE Globecom 2002.