

고밀집 무선랜의 시스템 성능 향상을 위한 멀티채널 기반 매체접근제어 프로토콜

이주상, 소정민*
한림대학교, 서강대학교

93js@hallym.ac.kr, jsol@sogang.ac.kr

A Multi-Channel Medium Access Protocol for Improving System Spectral Efficiency of Dense Wireless LANs

Joo Sang Lee, Jungmin So
Hallym Univ., Sogang Univ.

요 약

본 논문에서는 노드의 밀집도가 높은 무선네트워크 환경에서 멀티채널을 이용하여 시스템의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 무선랜의 매체접근제어 방식인 DCF는 프레임의 충돌을 피하기 위해 CSMA/CA 방식을 사용한다. CSMA/CA에서 시스템 성능은 반송파 감지(carrier sense) 임계값에 따라 달라지는데, 노드의 위치와 주변 환경에 따라 적절한 임계값이 다르다. 본 논문에서는 노드에게 채널을 할당할 때 AP까지의 거리를 기준으로 채널을 할당하고, 각 채널에 할당된 모바일 노드 중 AP와의 거리가 가장 먼 노드를 기준으로 반송파 감지 임계 값을 적용하여 시스템 성능을 향상시키는 방안을 제안하였다. 시뮬레이션을 실험을 통해, 제안된 채널 할당 방안이 채널을 무작위로 할당하는 방안에 비해 높은 전송량(throughput)을 얻을 수 있음을 확인하였다.

I. 서론

지난 수년간 무선 네트워크 기술은 빠르게 발전하고 있으며, 한정된 공간 안에 모바일 기기와 AP(Access point)의 수가 급격히 증가하고 있는 추세이다. 이러한 네트워크 환경에서 시스템 성능을 향상시키기 위한 기술의 연구가 활발한데, 그 중 한가지 방법은 다중 채널을 사용하는 것이다. 다중 채널은 각 채널 사이에 간섭이 없기 때문에 많은 모바일 노드들이 동시에 충돌 없이 성공적으로 전송할 수 있어서 전체 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

현재 IEEE 802.11 표준에서 사용하는 CSMA/CA 방식은 프레임 충돌을 피하기 위하여 하나의 노드가 자신의 데이터를 송신하기 전에 공유되고 있는 전송매체가 사용 중인지 감지를 한 후(carrier sensing: 반송파 감지 기법), 매체가 유휴 상태일 때 전송을 하는 방식을 사용한다. 반송파 감지 기법을 사용할 때 필요한 반송파 감지 임계 값은 충돌 방지를 위해 일반적으로 낮은 값으로 사용되고 있다. 이로 인해 여러 노드가 충돌 없이 동시에 전송할 수 있는 경우에도 반송파 감지를 통하여 전송을 못하는 문제가 발생하게 된다. 이것을 노출 단말(exposed terminal)문제라고 한다. 반대로, 반송파 감지 임계 값을 높이 올리면 모든 노드들이 공격적으로 전송하기 때문에 다른 노드가 전송되고 있을 때 또 다른 노드가 전송매체가 유휴 상태라고 판단하여 전송을 하기 때문에 프레임 충돌이 발생할 수 있는데, 이를 숨겨진 단말(hidden terminal)문제라고 한다.[1]

이러한 두 문제를 모두 만족할 수 있도록 적절한 임계 값을 찾는 것이 어려운 이유는 전송량 및 숨겨진, 노출 단말 문제 사이에 트레이드 오프(trade-off)가 존재하기 때문이다.[2] 임계 값을 높이 올리면 AP와 거리가 가까운 노드들은 공격적으로 전송하여 전송량이 높아지지만 먼 노드들은 가까운 노드들에 의해 프레임 충돌이 발생할 수 있기에 전체 전송량은 높지만 모든 노드들의 공평도는 낮아지게 된다. 반대로 임계 값을 낮추면 먼 노드들은 안정적으로 전송을 하지만 가까운 노드들은 충돌 없이 동시에 전송할 수 있어도 반송파 감지로 인해 전송을 하지 못하여 낮은 전송량을 얻게 된다.

본 논문에서는 프레임 전송을 위해 사용할 수 있는 채널이 여러 개 있는 멀티채널 환경을 가정한다. 또한, AP는

다중 라디오 인터페이스를 장착하여 여러 채널을 동시에 접속할 수 있고, 모바일 노드는 하나의 채널만 접속할 수 있는 환경을 가정한다. 이러한 조건에서, AP-노드간 거리에 따라 노드가 사용할 채널을 결정하고 채널 별로 최적화된 반송파 감지 임계 값을 적용함으로써 시스템 성능을 향상시키는 멀티채널 매체접근제어 프로토콜을 제안한다.

II. 사전 실험

하나의 채널에서 AP-노드간 거리에 따른 전송량을 확인하기 위해 사전 실험을 수행하였다. 사전 실험에서는 25개의 AP와 50개의 모바일 노드를 배치하고, 노드들은 AP에 2개씩 연결되도록 하였다. 시뮬레이션 크기는 너비와 폭 모두 10m로 설정 후 5×5 크기의 25개의 방으로 구성되도록 하였고 AP들은 각 방의 중앙에 배치하였다. 반송파 감지 임계 값은 일반적으로 사용하는 값으로 적용하여 전송량을 측정하였다. 그림 1이 그 결과이다.

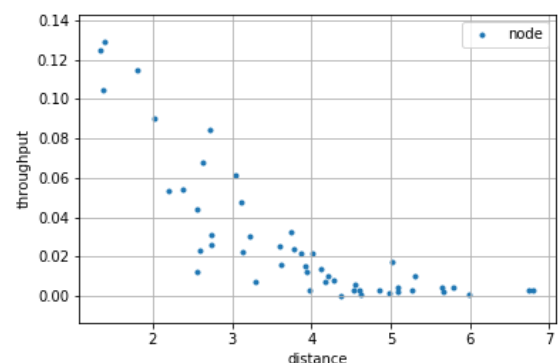


그림 1. AP-노드간 거리에 따른 전송량

그림에서 보면 AP와의 거리가 가까운 경우에는 전송량이 높아지지만 거리가 멀어질수록 전송량이 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있다. AP-노드간 거리가 가까우면, 여러 노드가 동시에 전송하더라도 SNR이 높기 때문에 성공적으로 전송을 할 수 있지만 거리가 멀면 SNR이 낮아져 AP가 수신하지 못할 가능성이 크기 때문에 전송량이 낮아지게 된다.

만약 동일한 채널에서 AP-노드 간 거리가 크게 다른 노드들이 함께 경쟁하면, 반송파 감지 임계값을 높이면 거리가 먼 노드들이 숨겨진 단말에 의해 피해를 보고, 낮추면 가까이 있는 노드들이 노출 단말 문제로 인해 높은 전송량을 얻을 수 없게 된다. 하지만 만약 하나의 채널에 AP-노드 간 거리가 유사한 노드들이 경쟁하게 될 경우 적절한 반송파 감지 임계값 설정을 통해 전송량을 높이면서도 공평하게 채널 자원을 분배할 수가 있다.

III. 제안 방안

본 논문에서 제안하는 방법은 AP-노드 간 거리에 따라서 다른 채널을 할당하고, 각 채널에 할당된 노드들 중 AP와의 거리가 가장 먼 노드의 반송파 감지 임계값을 적용하여 운용하는 것이다. 그림 2와 같이 어떤 공간 안에 AP들이 설치되어 있고, 모바일 노드들이 각 AP에 접속하여 통신을 한다고 가정한다. AP는 4개의 채널을 동시에 접속할 수 있으며 모바일 노드는 이 중 하나의 채널만 접속할 수 있다. 이 경우에 모바일 노드가 채널을 선택하는 가장 손쉬운 방법은 랜덤으로 선택하는 것이고, 트래픽 분산을 위해서 접속 순서에 따라 서로 다른 채널을 선택할 수도 있다.

제안하는 방법에서는, 동일한 지역에 있는 AP들이 유선망을 통하여 서로 정보를 교환하고, 그 지역에 있는 모바일 노드들을 AP와의 거리 순으로 정렬하여 거리 순으로 채널을 할당한다. 예를 들어, 그림 2에서는 특정 지역에 4개의 AP가 있고 16개의 모바일 노드가 있다. 이 4개의 AP들은 서로 간에 접속되어 있는 모바일 노드에 대한 정보를 교환한다. AP-노드 간 거리는 모바일 노드에서 전송하는 신호 세기를 AP에서 측정하거나, 모바일 노드가 스캐닝을 통해 AP의 비콘 세기를 측정한 후 AP에 보고하는 정보를 활용해 유추할 수 있다. 16개의 모바일 노드를 거리 순으로 정렬한 후, 채널 1번에는 가장 가까운 4개를 할당하고, 채널 2번에는 그 다음 4개, 이와 같은 방식으로 모바일 노드들에 채널을 할당한다.

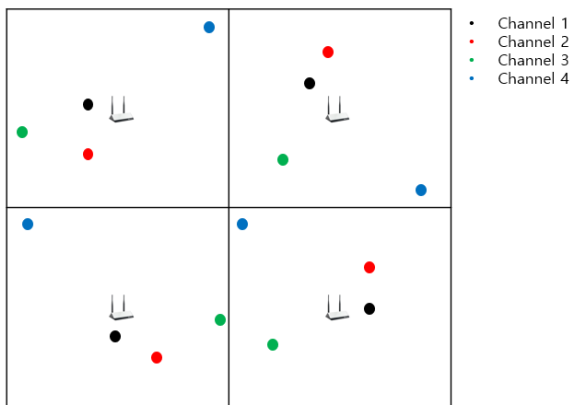


그림 2. AP-노드 간 거리에 따른 채널 할당

각 채널의 반송파 감지 임계값은 현재 채널에서 경쟁하고 있는 노드에 따라 결정된다. 그림 3에서 노드 S는 동일한 채널에 있는 노드들 중 AP와의 거리가 가장 먼 모바일 노드이다. 노드 I는 노드 S와 동일한 채널에 있으며, S와 I가 동시에 신호를 전송할 경우 I의 신호는 S의 신호를 AP1이 수신하는데 방해하는 간섭 신호가 된다.

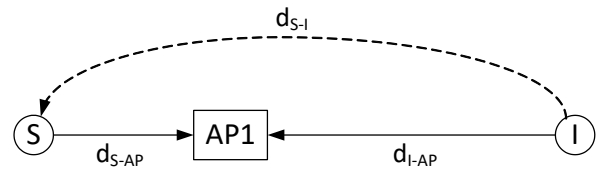


그림 3. 채널의 반송파 감지 임계값 계산을 위한 간섭 시나리오

S와 I가 동시에 신호를 전송할 경우, AP1에서의 SNR (Signal-to-Noise Ratio)는 다음과 같이 된다. 식에서 P_S 는 S가 전송한 신호에 대한 AP1에서의 수신신호세기, P_I 는 I가 전송한 신호에 대한 AP1에서의 수신신호세기를 의미하며, N_f 는 floor noise를 의미한다.

$$SNR = \frac{P_S}{P_I + N_f}$$

AP1에서 프레임을 성공적으로 수신하기 위해서는 SNR이 어느 정도 이상이 되어야 하며, 그 기준은 MCS (Modulation and Coding Scheme) 레벨에 따라 달라진다. 특정 MCS레벨로 인코딩된 프레임을 수신하는데 필요한 SNR을 달성하기 위해서는 간섭신호원인 I가 AP1으로부터 멀리 떨어져 있어야 하는데, 이를 통해 목표 SNR값을 달성 못하게 하는 간섭원과 수신기와와의 거리 d_{I-AP} 를 계산할 수 있다. 동일한 거리 d_{I-AP} 를 갖는 간섭원들 중에서는 그림 3과 같이 송신자의 반대편에 간섭원이 위치할 때 송신자와 간섭원의 거리가 가장 길어지고, 이 때 I의 신호를 S에서 측정할 신호세기를 반송파 감지 임계값을 결정한다. 다시 말해, 수신기에 간섭을 미쳐서 프레임 수신이 실패하도록 만들 수 있는 간섭원 중 S와 가장 멀리 떨어져 있는 간섭원으로부터의 신호 세기를 반송파 감지 임계값으로 정하는 것이다. 구체적으로, 채널의 반송파 감지 임계값은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$(P_{TX} - D2PL(D_{S-AP})) - (P_{TX} - D2PL(D_{I-AP})) = SNR_{TH}$$

이 식에서 P_{TX} 는 전송파워, SNR_{TH} 는 프레임을 성공적으로 복고화하기 위한 SNR의 임계치, 그리고 $D2PL$ 은 거리로부터 신호감쇄 (pathloss)를 계산하는 함수이다. $D2PL$ 은 Log-Distance 신호 감쇄 모델 등을 활용하여 계산할 수 있다. 위의 식으로부터 먼저 D_{I-AP} 를 구한다. 그리고 나면 아래 식과 같이 반송파 감지 임계값을 계산할 수 있다.

$$CS_{TH} = P_{TX} - D2PL(d_{S-AP} + d_{I-AP}) + P_{Margin}$$

위 식에서 P_{Margin} 은 상수 값으로 양수 또는 음수가 될 수 있다. 이러한 방식에 따라 채널의 반송파 감지 임계값을 계산할 경우, 표 1과 같이 채널에 따라 서로 다른 임계값이 설정된다.

채널 번호	최대 AP-노드 거리	반송파 감지 임계값
1	2.79m	-65.08dBm
2	3.88m	-69.40dBm
3	4.82m	-72.23dBm
4	6.80m	-76.72dBm

표 1. 제안 방안을 이용하여 채널의 반송파 감지 임계값을 계산한 예

IV. 성능 평가

제안 방안의 성능을 평가하기 위하여, 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 비교 분석을 위해, 동일한 멀티채널환경에서 랜덤으로 채널을 선택하고 고정된 반송파 임계값을 사용하는 방식과 제안된 방식을 비교하여 성능을 분석하였다. 실험 환경은 40m×40m의 공간에 16개의 AP를 배치하고,

모바일 노드의 수를 16개부터 160개까지 변화시키면서 전체 전송량과 하위 25% 전송량을 측정하였다. 하위 25% 전송량이란, 전송량을 기준으로 노드를 정렬하였을 때 전송량이 가장 적은 25%의 노드들의 전송량의 합을 의미한다. 이 값이 중요한 이유는, 전체 전송량을 높이기 위하여 다수의 노드들이 전송을 못하는 기아 상태 (starvation)가 발생할 수 있기 때문이다. 시스템에서 전체 전송량을 높이는 가장 쉬운 방법으로는 가장 채널 상태가 좋은 하나의 노드만 계속해서 전송할 수 있도록 하는 것인데, 이런 방식으로 높은 전송량을 얻는 것은 성능 개선이라고 볼 수 없다. 랜덤 채널 할당 방법의 경우 반송파 감지 임계값은 -82dBm으로 고정하였다.

그림 3에는 노드 수 변화에 따른 전체 시스템의 전송량을 나타내었다. 각 채널의 대역폭(최대전송량)은 0.25로, 4개의 채널의 대역폭을 모두 합치면 1이 되도록 하였다. 만약 어떤 환경에서 평균 시스템 전송량이 1이라는 뜻은, 한번에 평균적으로 1개의 노드가 전송을 수행한다는 의미이다. 그림에서 보면, 제안 방법의 전송량이 랜덤채널할당 방식에 비해 1.5배에서 2배 정도 많은 것을 알 수 있다. 이렇게 전송량이 늘어난 이유는, AP-노드 간 거리가 짧은 노드들이 있는 채널에서 반송파 임계 값을 높임으로써 동시 전송의 횟수를 높였기 때문이다.

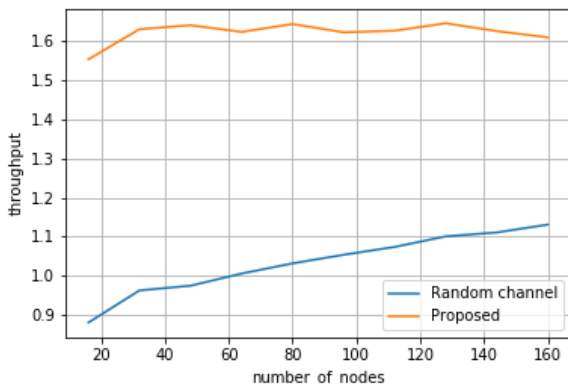


그림 3. 노드 수의 변화에 따른 전송량 비교

그림 4에서는 전송량 하위 25%의 전송량의 합을 보여준다. 여기에서도 제안 방법이 랜덤채널할당 방법에 비해 노드 수에 따라 1.3배에서 3배 정도 많은 전송량을 보여준다. 이를 통해 알 수 있는 것은 제안한 방법이 다수 노드에서 기아 상태를 발생시키지 않고 전체적으로 전송량을 높인다는 것을 확인할 수 있다.

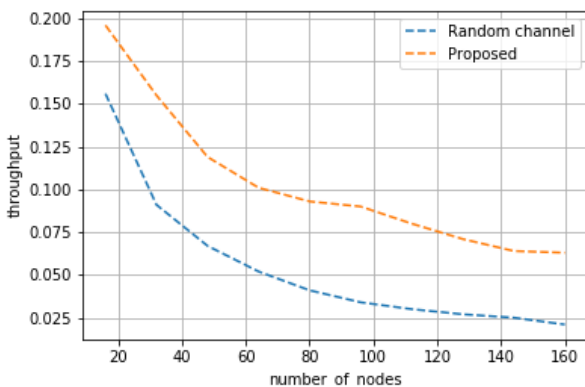


그림 4. 전송량 하위 25% 노드들의 전송량의 합

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 멀티채널을 이용하여 무선랜의 시스템 전송량을 높이는 방법을 제안하였다. CSMA/CA 기반의 무선랜에서는 반송파 감지 임계 값이 시스템 성능에 중요한 영향을 미치는데, 프레임 충돌을 줄이기 위해서는 낮은 임계 값을 사용해야 하고, 이렇게 하면 AP에 가까이 위치한 노드들은 노출 단말 문제로 인해 높은 전송량을 얻을 수 있음에도 얻지 못하는 문제가 있다. 따라서 노드에게 채널을 할당할 때 AP까지의 거리를 기준으로 채널을 할당하고, 각 채널에 할당된 모바일 노드 중 AP와의 거리가 가장 먼 노드를 기준으로 반송파 감지 임계 값을 적용하여 시스템 성능을 향상시키는 방안을 제안하였다. 이렇게 하면 AP에서 가까운 노드들은 적극적인 전송을 할 수 있고 먼 노드들은 안정적으로 전송을 함으로써 전체 시스템 성능은 향상된다. 향후 연구에서는 노드들의 반송파 감지 임계 값과 전송 파워를 함께 고려하여 채널 자원을 공평하게 분배하면서도 전체 시스템 전송량을 높일 수 있는 방안을 연구할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국연구재단 이공학개인지조연구지원사업 (2016R1D1A1B03930289)의 지원을 받아 수행하였음.

참 고 문 헌

- [1] Kavitha, M. G., and S. Sendhilnathan. "Hidden and exposed nodes in wireless sensor networks." *Advances in Natural and Applied Sciences* 11.8 (2017): 402-408.
- [2] P. M. van de Ven, A. J. E. M. Janssen, and J. S. H. Van Leeuwen. "Optimal tradeoff between exposed and hidden nodes in large wireless networks," *Proc. ACM SIGMETRICS*, pp.14-18, 2010.