

무선 랜 환경에서 모바일 노드 간 공평도를 증가 시키기 위한 동적 채널 할당 기법

조현상, 소정민*

한림대학교, 서강대학교*

eyej7788@gmail.com, jsol@sogang.ac.kr

Dynamic Channel Allocation Scheme for Increasing Fairness between Mobile Nodes in Wireless LANs

Hyeon Sang Cho, Jungmin So*

Hallym Univ, Sogang Univ*

요 약

무선 랜 환경에서 노드의 밀집도가 높아지면 패킷 충돌의 횟수가 증가하게 되는데, 패킷 충돌이 잦아지면 시스템 전송량(throughput)도 줄어들지만 노드 간 공평도(fairness)도 매우 급격하게 떨어져서, 일부 노드들은 거의 패킷 전송을 하지 못하는 현상이 발생한다. 본 논문에서는 하나의 채널을 여러 개의 협대역 채널(narrow channel)로 나누고, 노드의 전송량에 따라 동적으로 채널을 할당함으로써 노드 간 공평도를 높이는 방안을 제안한다. 시뮬레이션을 통한 성능 실험을 통해, 제안한 방안을 이용하면 약간의 전송량의 손실이 있지만 매우 높은 공평도를 얻을 수 있음을 확인하였다.

I. 서 론

현재 우리가 사용하고 있는 무선랜은 동일한 지역에 있는 노드들이 채널 자원을 효과적으로 공유할 수 있도록 DCF (Distributed Coordination Function)라고 하는 CSMA/CA 기반 매체접근제어 프로토콜을 운용한다. [1] DCF를 사용하는 모든 노드는 프레임을 전송하고 난 후 다시 프레임을 전송하기 전에 랜덤 백오프 (random backoff)를 수행해야 한다. 이를 위해 경쟁 윈도우 (contention window)라고 하는 숫자의 범위로부터 랜덤 숫자를 하나 선택한 후, 캐리어 센싱 (carrier sensing)을 통해 채널이 유헴 상태 (idle)인 타임 슬롯(time slot)마다 그 숫자를 하나씩 줄이고, 마침내 그 숫자가 0 이 되면 프레임 전송을 시작한다.

랜덤 넘버에 기반하여 전송할 타이밍을 정하기 때문에, 동시에 두 노드가 전송할 확률이 존재하며, 그 확률은 노드의 수가 증가할 수록 올라간다. 만약 두 노드가 동시에 전송하게 되면, 두 노드가 전송하는 신호는 서로에게 간섭으로 작용하여 수신기에서 프레임 수신에 실패할 수 있다. 만약 어떤 노드가 프레임 전송에 실패하게 되면, 그 노드는 경쟁 윈도우의 사이즈를 두 배로 증가시킴으로써 충돌의 확률을 줄이고, 프레임 전송에 성공하게 되면 경쟁 윈도우 사이즈를 초기 사이즈로 리셋시킨다.

노드의 밀집도가 증가하게 되면, 프레임 충돌이 빈번하게 발생하여 시스템 전송량이 낮아지기도 하지만, 그보다 더 큰 문제는 각 노드에 채널 자원이 고르게 분배되지 않고 매우 불공평하게 분배된 다는 것이다. 그림 1 에 있는 네트워크 시나리오에서, 모바일 노드인 A 와 B 는 각각 자신이 연결되어있는 AP1 과 AP2 로 프레임을 전송한다. 우연히 두 모바일 노드가 동시에 전송하게 되면, 각 노드에서 전송한 신호가 서로에게 간섭으로 작용하여 수신기에서의 SNR (Signal-to-Noise Ratio)가 낮아지게 된다. 그런데 A 와 AP1 은 거리가 가까기 때문에 B 의 간섭에도 불구하고 AP1 에서 프레임을 성공적으로 수신하고, B 와 AP2 는 멀리 때문에 AP2 는 B 의 프레임을 수신하지 못하는 경우가 발생한다.

그러면 A 는 경쟁 윈도우를 초기화시키고, B 는 경쟁윈도우의 크기를 증가시키기 때문에, B 가 채널에 접속하여 성공적으로 프레임을 수신하는 횟수는 A 에 비해 매우 적어지게 된다.

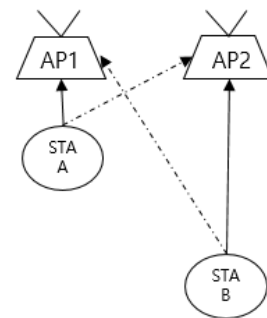


그림 1. 노드 간 불공평한 채널 분배가 발생하는 네트워크 시나리오.

기존 연구에서는 이러한 노드 간 불공평 문제를 해결하기 위하여 랜덤 백오프 대신 노드의 전송 권한을 라운드로빈 형태로 스케줄링하는 방안을 제안하였다 [2]. 만약 어떤 노드가 전송에 실패하게 될 경우에는 그것을 감안하여 공평한 채널 분배가 이루어질 수 있도록 스케줄링을 수행한다. 하지만 이러한 스케줄링 방식은 전송 권한을 부여하는 코디네이터가 프레임마다 실시간으로 전송 권한을 부여해야 하기 때문에 구현이 복잡하고 어려워진다.

본 논문에서는 기존의 DCF 방식은 유지하되, 하나의 채널을 여러 개의 협대역 채널로 나누어서, 채널을 동적으로 분배함으로써 전체 시스템의 공평도를 높이는 방안을 제안한다. 제안된 방안을 구현하기 위해서는, 소프트웨어정의라디오(Software-Defined Radio)와 같은 하드웨어를 이용하여 채널을 분리해서 사용하거나, 아니면 AP 가 여러 채널을 동시에 접근할 수 있도록 다수의 네트워크 인터페이스를 가지고 있어야 한다. 예를 들어, AP 들은 20MHz 채널 4 개를 동시에 접속할 수

있고, 모바일 노드들은 그 4 개의 채널 중에 하나를 사용하면 제안된 방안을 구현할 수 있다.

II. 사전 실험

그림 2 는 서론에서 언급한, 노드의 밀집도가 증가할 때 공평도가 급격히 저하하는 현상을 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 여기서 공평도는 Jain's Fairness Index[3]를 사용하였다. 30m×30m 의 지역에 AP 를 9 개 설치하고, 모바일 노드의 수를 9 개에서 90 개까지 변화시켰는데, 노드의 수가 증가함에 따라 전체 시스템 전송량은 약간 증가하는데 반에 공평도는 급격하게 떨어지는 것을 볼 수 있다. 공평도가 줄어드는 이유는 서론에서 언급한 바와 같고, 전송량이 약간 증가하는 이유는 동시에 전송하는 노드의 수가 많아짐에 따라 프레임 충돌 횟수가 늘어나지만, 송신자와 수신자의 거리가 가까운 경우에는 충돌에도 불구하고 성공적으로 복호화가 되는 경우가 있기 때문이다.

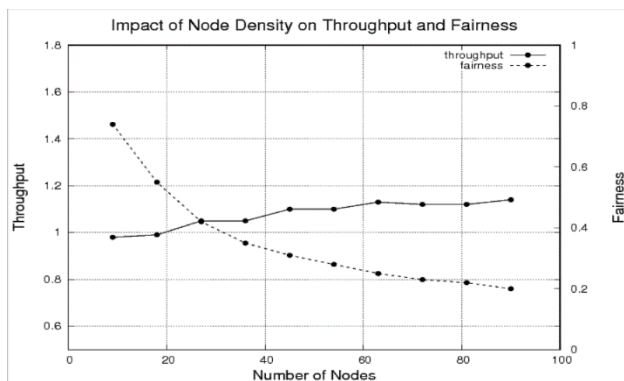


그림 2. 단일 채널 환경에서 모바일 노드의 수가 증가함에 따라 변화하는 전송량과 공평도

본 논문에서는 멀티채널을 이용하여 네트워크의 공평도를 높이는 방안을 제안한다. WiFi-NC[4]와 같은 시스템에서는 SDR 을 이용하여 하나의 채널을 여러 개의 협대역 채널로 나누고 이 채널들에 트래픽을 분산하여 전송하는 방식을 사용한다. SDR 을 활용하지 않고도, AP 가 여러 개의 채널을 동시에 접속할 수 있다면 본 논문에서 제안하는 방안을 구현할 수 있다. 하나의 채널을 여러 개의 채널로 나누는 경우 가드 밴드 (guard band)로 인한 대역폭 손실이 있고, 채널 파라미터나 MAC overhead 등으로 인해 전송량에 손실 또는 이득이 존재한다. 예를 들어 무선랜 표준에 제시되어 있는 40MHz 의 경우 108 개의 데이터 서브캐리어를 사용하지만, 20MHz 의 경우 그 반보다 적은 52 개의 데이터 서브캐리어를 사용한다. 따라서 하나의 40MHz 채널 대신에 두 개의 20MHz 채널을 사용하면 약 3.8%의 대역폭 손실이 있는 것이다. 본 논문에서는 1 개의 채널을 N 개의 협대역 채널로 나누었을 때 각 채널의 대역폭 (최대전송속도)을 아래 식과 같이 정의하였다. 아래 식에서 B 는 분할하기 전 채널의 대역폭, B_{ch} 는 협대역 채널의 대역폭, N_{ch} 는 협대역 채널의 개수, B_{loss} 는 가드밴드 등으로 인한 대역폭 손실을 의미한다.

$$B_{ch} = B \times \frac{1 - (N_{ch} - 1) \times B_{loss}}{N_{ch}}$$

채널을 1 개만 사용하는 것과, 채널을 나누어서 사용할 때 전송량과 공평도를 시뮬레이션을 통해 확인해보았다.

다수의 협대역 채널을 사용할 때, 각 노드는 N 개의 채널 중 랜덤으로 하나를 선택하여 그 채널에서만 전송하도록 하였다. 50m×50m 의 공간에 25 개의 AP 를 그리드 형태로 배치하고, 100 개의 모바일 노드를 랜덤으로 배치한 다음 모바일 노드가 자신과 연결된 AP 에게 트래픽을 전송하도록 하였다. 위의 채널 대역폭을 모델링하는 수식에서 B 는 1, B_{loss} 의 값은 0.03 으로 하였다. 그림 3 이 시뮬레이션 결과이다.

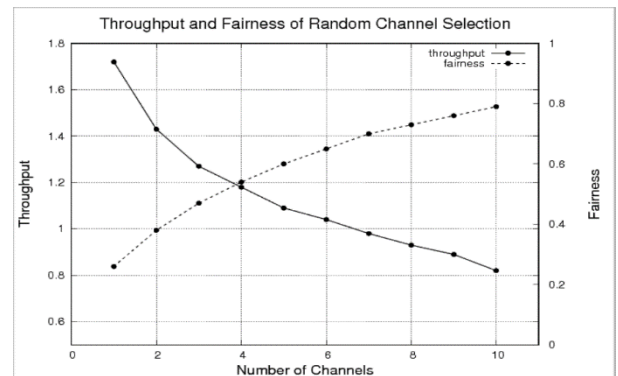


그림 3. 협대역 채널 개수에 따른 전체 전송량과 공평도

이 결과에서 보면 채널을 많이 분할할수록 전체 전송량은 떨어지고 노드 간 공평도는 증가하는 것을 볼 수 있다. 공평도가 증가하는 이유는 각각의 채널에서 경쟁하는 노드의 수가 줄어들었기 때문이다. 전송량의 경우 분할 손실 (B_{loss})를 0.03 으로 하였을 때, 10 개의 협대역 채널을 사용하면 전체 전송량이 1 개의 채널을 사용할 때보다 1/2 로 줄어드는 것을 볼 수 있다. 따라서 공평도를 올리기 위해 너무 많은 협대역 채널을 쓰는 것은 바람직하지 않다.

III. 제안 방안

단순히 채널을 여러 개의 협대역 채널로 나누는 것은, 공평도를 높이지만 그만큼 많은 전송량의 손실을 보기 때문에 성능이 개선되었다고 보기 어렵다. 랜덤으로 채널을 선택하는 경우, 동일한 협대역 채널을 선택한 노드들 중에서도 AP 와 가깝고 주변에 채널을 경쟁하는 노드의 수가 적은 노드는 높은 전송량을 얻고, AP 와 멀고 주변에 경쟁 노드들이 많은 노드는 낮은 전송량을 얻게 되므로, 경쟁하는 노드의 수를 줄여 공평도의 이득을 본 것 이외에는 이득이 없다.

랜덤으로 협대역 채널을 선택하는 대신에, 비슷한 환경에 놓여있는 노드들이 같은 협대역 채널을 사용하게 하면 공평도를 더 높일 수 있다. 예를 들어, AP 에서 가까이 있는 노드들을 하나의 협대역 채널에 배정하고, 멀리 있는 노드들을 또 다른 협대역 채널에 배정하게 되면 그림 1 에서와 같은 상황이 줄어들게 되고 공평도가 높아질 수 있다. 하지만 노드가 얻는 전송량은 AP 와의 거리에만 관계된 것이 아니고, 주변에 얼마나 많은 경쟁 노드가 있느냐에 따라서도 결정된다.

본 논문에서 제안하는 방법은, 주기적으로 노드들의 전송량을 측정하여 전송량이 비슷한 노드들끼리 같은 협대역 채널을 사용할 수 있도록 채널을 동적으로 할당하는 방법이다. 예를 들어 네트워크 안에 100 개의 노드가 있고 4 개의 협대역 채널을 사용한다면, 주기적으로 전송량을 측정하여 전송량이 높은 순으로 정렬하고, 위에서부터 25 개씩 협대역 채널에 노드들을 할당하는 것이다.

이 방안을 구현하기 위해서는, 주기적으로 모바일 노드들이 자신의 전송량을 AP로 전송하고, AP들은 유선망을 이용해 이 정보를 교환함으로써 어떤 모바일 노드가 어떤 채널을 사용해야 하는지를 판단해야 한다. 이를 위하여 메시지 교환 등 오버헤드가 필요하지만, 채널을 바꾸는 주기를 길게 잡으면 이 오버헤드는 무시해도 될 정도로 작아지게 된다. 예를 들어, 시뮬레이션은 프레임 전송이 1000 번 이루어질 때마다 채널을 변경하도록 하였다. 그림 4 는 제안하는 방안을 적용했을 때의 전송량과 공평도이다.

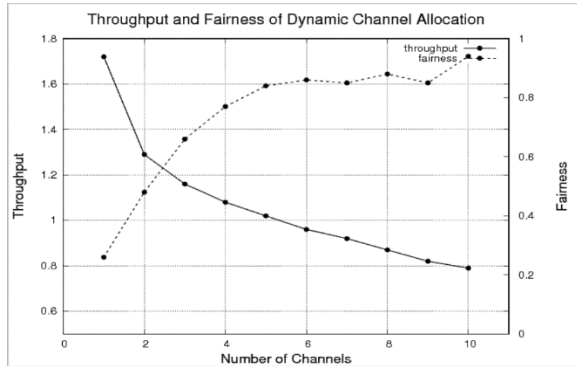


그림 4. 동적 채널 할당 방법을 사용하였을 때, 채널의 수에 따른 전체 전송량과 공평도

그림 4 를 그림 3 과 비교해보면, 랜덤 채널 선택 방식에 비해 전송량에 의한 동적 채널 할당 방식이 더 높은 공평도를 얻는다는 것을 확인할 수 있다. 예를 들어, 채널을 4 개의 협대역 채널로 나누었을 때, 랜덤 채널 방식의 경우 공평도가 0.54 였지만 동적 채널 할당의 경우 공평도가 0.77 이 되었다. 전송량은 1.2 에서 1.1 로 약간 줄었지만, 랜덤채널선택 방식에서 공평도 0.77 을 얻기 위해서는 9 개의 협대역 채널을 사용해야 하고, 이때 전송량은 0.9 이므로 동적 채널 방식이 더 개선된 성능을 보인다는 것을 알 수 있다.

동적 채널 할당 방식이 랜덤 채널 선택 방식에 비해 공평도를 높여주는 효과가 있지만, 여전히 이 방식에서도 채널의 개수를 늘리면 전송량은 떨어지고 공평도는 올라가는 패턴이 있다. 실제 시스템에서 이 방안을 사용할 때는, 공평도의 목표치를 세우고, 이 목표치를 맞추만큼 협대역 채널을 분할하여 사용하는 것이 바람직하다. 더 채널을 나누게 될 경우에는 전송량의 손실로 인해 전체 시스템 성능이 저하되기 때문이다. 예를 들어, 공평도를 0.8 이상으로 하는 것이 목표면, 그림 4 에서 나타난 바와 같이 협대역 채널을 5 개 사용하면 목표치를 달성하면서 최대 전송량을 얻을 수가 있다.

III. 결론

본 논문에서는 무선랜의 노드 밀집도가 증가할 때 발생하는 불공평 현상을 완화시키기 위해, 채널을 여러 개의 협대역 채널로 나누고, 주기적으로 노드의 전송량에 따라 동적으로 채널을 할당하는 방식을 제안하였다. 유사한 전송량을 갖는 노드들은 AP와의 거리, 주변 경쟁 노드의 수 등 유사한 환경에 놓여있는 노드들이기 때문에 이 노드들끼리 경쟁을 하면 좀더 공평한 채널 원의 분배가 일어나게 된다. 시뮬레이션 결과 랜덤으로 채널을 선택하는 방식에 비해 동일한 채널 수에서 훨씬

높은 공평도를 획득할 수 있었다. 제안한 방안은 특정 시스템에서 달성하고자 하는 공평도가 있을 때, 그것을 만족시키면서 전송량을 최대 하기 위한 방안으로 사용할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국연구재단 이공학개인지원사업 (2016R1D1A1B0390289)의 지원을 받아 수행하였음.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.11 TG, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 4: Enhancements for Very High Throughput Operation in Bands below 6GHz, 2013.
- [2] 최승권, 신병곤, 이병록, 무선망에서 공평성 향상을 위한 CSD-WRR 알고리즘, 한국콘텐츠학회 춘계종합학술대회 논문집 제 4 권 제 1 호, 2006.5, 132-135.
- [3] R. Jain, W. Hawe, D. Chiu, A Quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer systems, DEC-TR-301, Sep. 1984.
- [4] K. Chintalapudi et al., WiFi-NC: WiFi over narrow channels, proc. of the 9th USENIX conference on Networked Systems Design and Implementation (NSDI), April. 2012.