

무선 Ad-Hoc 네트워크를 위한 흐름 기반의 Media Access Control (F-MAC)

Tran Minh Trung⁰, 모정훈, 김성륜, 곽재욱
한국정보통신대학교

{trungtm, jhmo}@icu.ac.kr, skim@yonsei.ac.kr, jwkwak@icu.ac.kr

A Flow-Based Media Access Control (F-MAC) for Wireless Ad-Hoc Networks

Tran Minh Trung⁰, Jeonghoon Mo, Seong-Lyun Kim, Jaewook Kwak
School of Engineering, Information and Communications University (ICU)

요약

본 논문에서 우리는 무선 ad-hoc 네트워크에서의 효율성과 공정성 문제[2]를 해결하기 위해 기존의 802.11 MAC에서 단순한 개선으로 효율적인 결과를 얻을 수 있는 새로운 방식을 제안한다. 우리의 제안된 방식은 흐름 개념을 기반으로 하고 있다. 릴레이를 해야 하는 프레임 가지고 있는 노드들에게 다른 노드들 보다 높은 우선순위를 할당하여 빠른 중단간의 전달함으로써 높은 성능향상을 기대할 수 있다. 또한, 패킷을 전달한 후 노드는 낮은 우선순위를 갖게 되고 다른 노드에게 양보를 하여 노드들이 서로간에 공정하게 대역폭을 받을 수 있게 한다. 기존의 방식에 비해 두 배 가량 향상된 전송량과 비교적 공정하게 할당된 대역폭을 보여주는 시뮬레이션의 결과는 우리의 주장을 뒷받침해준다.

1. 서론

802.11은 IEEE가 승인한 Distributed Coordination Function (DCF) 기반의 무선랜 국제 표준 MAC 프로토콜이다[1]. 현재 대부분의 무선 네트워크의 시뮬레이션과 테스트베드 시스템에서 802.11이 표준 MAC으로 사용되고 있지만, ad-hoc 네트워크에서 802.11을 적용했을 때, 다음과 같은 여러 가지 한계점을 가지고 있다.

- **Multi-hop:** ad-hoc 네트워크에서의 패킷 전송은 출발 노드에서 도착 노드까지의 멀티 홉 전송을 기반으로 한다. 패킷이 도착 노드까지 도착하는데 걸리는 시간(delay)은 패킷을 전달하는 중간 노드들이 채널을 소유하는데 걸리는 시간과, 라우팅 경로에서 패킷을 동시에 보낼 수 있는 릴레이 노드들의 수에 달려있다. 802.11 표준 MAC 프로토콜에서는 모든 노드들이 서로 같은 채널 소유권한을 가지고 있기 때문에 중간 노드가 패킷을 전달하기 위해서는 마찬가지로 다른 노드와 경쟁하여 채널을 사용할 권한을 얻어야 한다.
- **Unfairness channel sharing:** ad-hoc 네트워크의 노드들은 동시에 서로 다른 여러 개의 접속에 속해있을 수 있다. 중간 노드에서 고려해야 할 점은 이러한 서로 다른 흐름들에 대해서 균형 있는 채널 소유권을 할당해 줘야 하는 것이다. 하지만 IEEE 802.11의 binary exponential back-off (BES) 방식은 항상 최근에 채널접근에 성공한 노드만을 선호 하기 때문에, 노드간의 불공평한 채널할당이 발생할 수 있다.

현재까지 무선 ad-hoc 네트워크를 위한 많은 MAC 프로토콜들이 제안되어 왔지만, 대부분 hidden terminal이나 collision avoidance 문제들을 해결하는데 중점을 두었다 [3-7].

본 논문에서는 802.11 MAC 프로토콜의 개선할 수 있다고 판단되는 아래의 두 요소를 중점으로 ad-hoc 네트워크의 성능을 향상시키고자 한다.

- **Fast forwarding:** 첫째로, 중간 노드에서의 패킷 지연 시간을 최소화 한다. 멀티 홉 패킷 전송의 홉간 전송 지연 시간을 최소화하기 위해 다른 노드로 전달해야 하는 패킷을 받은 노드에게 높은 채널 접근 우선순위를 제공한다. 이러한 방법으로 패킷이 출발 노드에서 도착 노드까지 전달되는 지연시간을 최소화 할 수 있다.
- **Channel access balancing for multi-connections at relay nodes:** 802.11 MAC의 BES의 한계점인 불공평성 문제를 해결한다. 본 논문의 제안방식인 F-MAC에서는 중간 노드의 이웃 노드들이 그 노드에 대한 채널 소유권을 round-robin 방식으로 갖는다. 한 노드가 패킷을 성공적으로 보내고 나면 자신은 한동안 가장 낮은 우선권을 갖게 되고, 이웃 노드가 패킷을 보낸 것을 감지하고 나면 다시 높은 우선권을 갖게 된다. 이러한 방식으로 모든 노드들이 채널을 공정하게 사용할 수 있고, BES의 한계점을 해결할 수 있다. 또한 2홉 안의 이웃 노드들에 대해서 서로 다른 back-off 시간을 보장할 수 있기 때문에 hidden terminal과 collision 문제를

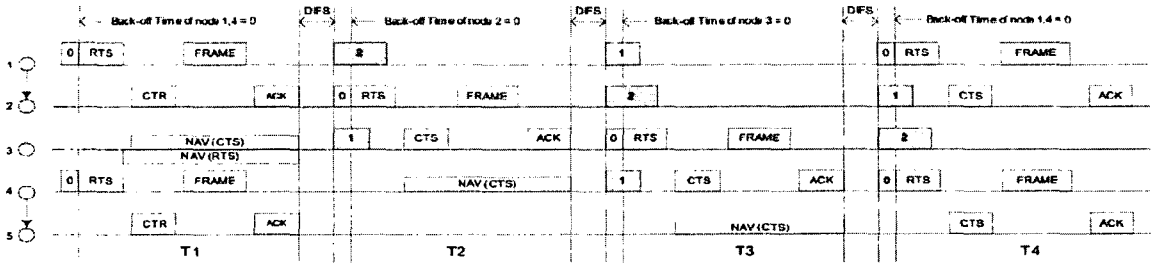


그림 1. 선형구조에서 F-MAC의 우선순위 변화.

해결하는데도 효율적이다.

위의 두 가지 요소를 기반으로 우리의 해결 접근 방안은 기존의 802.11 MAC 프로토콜의 BES 방식을 본 논문에서 제안하는 새로운 흐름 기반(F-MAC)의 back-off 시간 설정 방식으로 대체하고자 한다.

2. 제안된 F-MAC 프로토콜

F-MAC 에서, 각 노드들은 HIGH, LOW, MEDIUM의 세 가지 중에 하나의 채널 소유 우선권을 갖는다. HIGH는 F-MAC이 정의하는 우선권 변화 규칙에 따라 이웃 노드로부터 패킷을 받아 그것을 다른 노드로 전달할 때의 상태를 나타내며, LOW의 노드보다 먼저 보내야 함을 의미한다. 우선권은 채널 접근의 back-off 시간 설정으로 결정한다. 즉 짧은 back-off 시간을 가진 노드가 높은 우선순위를 나타낸다.

Back-off Time: back-off 시간 br 는 우선권 레벨 l 과 재시도 횟수 r 의 함수로 구한다. $W(r) = 2^{2^r}$ 이라고 한다면 각 priority level에 대하여 back-off 시간은 아래와 같이 결정된다.

$$br(l, r) = (l \cdot W(r) + \lfloor (RAN) \cdot W(r) \rfloor) \times \Delta \quad (1)$$

$l = 0, 1, 2$ 에 대하여 각각 HIGH, MEDIUM, LOW를 의미하며, RAN 은 0과 1사이의 랜덤값을 의미한다. Δ 는 각 슬롯의 지속 시간을 나타낸다.

출발 노드 s 에서 도착 노드 d 로 라우팅 되는 경우, s 에서 d 로 전달되는 패킷은 라우팅 되는 경로에 있는 노드들을 통해서 전달되어야 하고, 각 노드들은 s 와 d 를 제외하고 모두 릴레이 역할을 담당해야 한다. 본 논문에서 제안한 F-MAC 프로토콜의 핵심 아이디어는 패킷을 릴레이 하는 노드들에게 높은 우선순위를 주어 빠르게 전달하고자 하는 것이다.

Priority Level Transition Rules : 우선순위 설정에 대한 자세한 규칙은 아래와 같다.

- 각 노드들의 초기 우선순위는 MEDIUM이다.
- 노드가 패킷을 다른 노드로 전달해야 하는 패킷을 받았을 때 그 노드의 우선순위는 HIGH가 된다. 이것은 릴레이 패킷을 받은 노드가 가능한 빨리 채널을 소유하기 위함이다.
- 노드가 패킷을 성공적으로 보냈다면 다른 이웃 노드들에게 채널을 양보하기 위해 우선순위를 LOW로 내린다.

- 노드의 우선순위가 LOW일때, 이웃 노드가 다른 노드에게 보내는 RTS 메시지의 개수(RTSCount)가 특정값(RTSThresh, 예를 들면 2)보다 높아진다면, 우선순위를 MEDIUM으로 설정한다.

Implementations : 위의 알고리즘을 구현하기 위해서는 노드가 패킷을 처리하는데 있어 패킷이 목적지에 도달했는지 아니면 다른 노드로 전달되어야 하는지에 대한 정보가 필요하다. 기본적으로 위에서 설명한 우선순위의 변화는 이러한 패킷에 대한 정보를 기반으로 하고 있기 때문이다. 하지만 이러한 정보가 IP 헤더에 저장되어 있어서 MAC 계층에서 이를 결정하는 것은 매우 어렵다. 따라서 현재 노드가 최종 목적지인지를 판별하기 위해서는 IP 계층의 정보가 필요하다. 실험상에서는 MAC의 descriptor에 *isReceived*라는 하나의 bit을 두어 이를 판별할 수 있게 구현하였다.

그림1은 5개의 노드로 구성된 ad-hoc 네트워크 상에서 F-MAC의 동작을 보여준다. 시간에 따른 각 노드들의 상태와 동작에 대한 설명은 아래와 같다.

- At time T1 : 초기에 모든 노드들은 기본 채널 접근 우선순위인 1(MEDIUM)을 갖는다. 노드 1에서 5까지의 라우팅 경로를 설정한 이후에 노드 1은 노드 2에게 데이터를 보내기 위해 채널을 갖는다.
 - At time T2 : 노드 1이 패킷을 성공적으로 전송한 후, 노드 1의 우선순위는 2(LOW)가, 노드 2의 우선순위는 0(HIGH)가 된다. 따라서 노드 2는 패킷을 노드 3으로 전달하기 위한 채널을 곧바로 얻을 수 있다. 노드 1은 노드 2가 3에게 보낸 RTS를 받고 우선순위를 1로 올린다.
 - At time T3 : 패킷을 보낸 노드가 2, 릴레이하는 노드가 3인 경우에 대해서 다시 T2와 동일한 과정을 거친다. 노드 2는 패킷 전송 후 2의 우선순위를 갖고, 노드 3은 노드 4로 전달하기 위해 0의 우선순위를 갖는다. 마찬가지로 노드 1은 노드 2의 RTS를 받고 자신의 우선순위를 1로 높인다.
 - At time T4 : 이 시점에서 노드 1과 노드 4는 같은 우선순위인 0을 갖는다. 그러면 노드 1과 노드 4는 동시에 패킷 전송을 할 수 있게 된다. 이것은 노드 4가 패킷을 최종 목적지인 노드 5에게 전달하는 동시에 노드 1이 노드 2에게 새로운 패킷을 보낼 수 있다는 것을 의미한다.
- 위의 과정이 노드 1이 모든 패킷을 보낼 때까지 지속된다. 전송이 끝나고 나면 모든 노드들은 다시 우선순위가 1이 되고 동일한 채널 접근 권한을 갖게 된다.

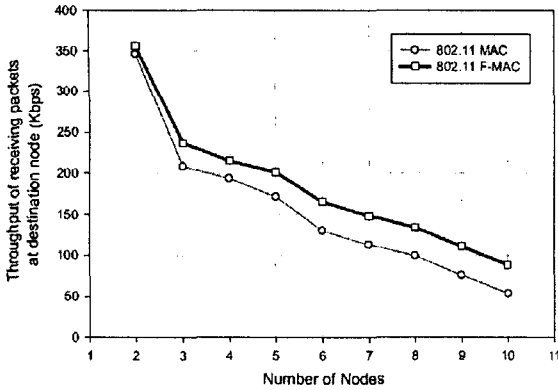


그림 2. 홉 수에 따른 평균 전송량 변화 (Kbps)

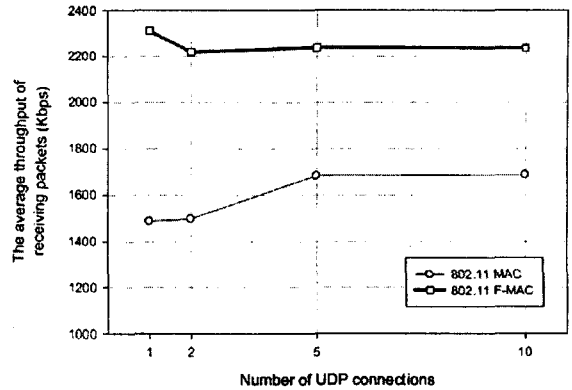


그림 3. UDP 접속 수에 따른 전송량 변화

3. 시뮬레이션 결과

F-MAC의 성능을 평가하기 위해서 우리는 F-MAC을 NS-2에 구현하였다.

Throughput : 홉 수에 따른 F-MAC의 성능을 알아보기 위해 우리는 선형 구조의 ad-hoc 네트워크에서 홉 수를 2개에서 10까지 증가시키면서 실험하였다. 그림2는 기존의 802.11 MAC과 F-MAC의 성능 차이를 보여준다. X축은 도착지점까지의 홉 수, Y축은 평균 전송량을 나타낸다. 실험 결과에서는 F-MAC이 기존의 802.11 MAC에 비해 약 27%의 성능 향상을 보였다. 그림 3은 여러 개의 접속에 대해서 측정된 결과이다.

Fairness : 다음은 같은 ad-hoc 네트워크 상에 서로 다른 접속이 존재할 때 얼마나 채널을 공평하게 소유하는지를 실험하였다. 실험에서는 서로 다른 세 개의 흐름들이 동시에 전송이 이루어졌을 때 대역폭을 소유하는 비율을 측정하였고, 각각의 결과는 표1과 같다. 기존의 MAC에서는 각각의 흐름들의 격차가 매우 큰데 비해 F-MAC에서는 거의 모든 흐름들이 비교적 공평한 대역폭을 차지했다고 볼 수 있다.

4. 결론

IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 ad-hoc 네트워크에서 효율적이지 못하고 특히 다중 접속의 경우에는 BES의 불공평성 문제 때문에 급격한 성능저하를 초래한다. 이를 개선하기 위해 중간 노드에서의 지연시간을 최소화하는데 중점을 둔 우선순위 기반의 F-MAC으로 성능이 상당히 향상됨을 실험을 통해 얻을 수 있었고, 불공평한 채널할당 문제도 해결할 수 있었다.

이러한 결과로 미루어 볼 때, 향후 이동성을 가진 노드, 밀집된 노드들로 구성된 좀 더 복잡한 네트워크 구조로 연구가 진행된다면 ad-hoc네트워크에서 F-MAC의 적용으로 획기적인 성능향상을 기대할 수 있을 것으로 예상된다.

COMPARISON OF 802.11B MAC AND F-MAC WITH THREE DIFFERENT TOPOLOGIES

| | Flow 1 | Flow 2 | Flow 3 | Total Thput | Fairness Idx |
|--------------|--------|--------|--------|-------------|--------------|
| std. MAC (0) | 27.7 | 173.1 | 88.2 | 289.0 | 71.2% |
| F-MAC(0) | 84.8 | 118.5 | 74.9 | 278.2 | 96.1% |
| std. MAC (1) | 91.2 | 118.2 | 53.9 | 263.3 | 91.7% |
| F-MAC (1) | 88.1 | 113.2 | 81.5 | 282.8 | 97.9% |
| std. MAC (2) | 52.8 | 23.7 | 71.9 | 148.4 | 86.14% |
| F-MAC (2) | 54.2 | 44.3 | 59.0 | 147.5 | 98.64% |

표 1. 서로 다른 흐름들의 대역폭 공유 표준편차

참고 문헌

- [1] Crow B.P., Widjaja I., Kim L.G., Sakai P.T., IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks, Communications Magazine, IEEE , Volume: 35 , Issue: 9 , Sept. 1997 Pages:116 - 126.
- [2] Xu S., Saadawi T., Does the IEEE 802.11 MAC Protocol work well in multihop wireless ad hoc networks?, Communications Magazine, IEEE , Volume: 39 , Issue: 6 , June 2001 Pages:130 - 137.
- [3] Yang Xu., Vaidia Ni. H., Priority scheduling in wireless ad hoc networks, ACM Special Interest Group on Mobility of Systems, Users, Data and Computing, ACM, 2002.
- [4] Haas Z.J., Jing Deng, Dual busy tone multiple access (DBTMA)-a multiple access control scheme for ad hoc networks, Communications, IEEE Transactions on , Volume: 50 , Issue: 6 , June 2002 Pages:975 - 985.
- [5] Hsi-Lu Chao, Wanjiun Liao, Credit-based fair scheduling in ad hoc wireless networks, Vehicular Technology Conference, 2002. Proceedings. VTC 2002-Fall. 2002 IEEE 56th , Volume: 3 , 24-28 Sept. 2002 Pages:1442 - 1446.
- [6] Tiantong You., Chi-Hsiang Yeh., Hassanein H.,A new class of collision prevention MAC protocols for wireless ad hoc networks , Communications, 2003. ICC '03. IEEE International Conference on , Volume: 2 , 11-15 May 2003 Pages:1135 - 1140.
- [7] Acharya A., Misra A., Bansal S., MACA-P: a MAC for concurrent transmissions in multi-hop wireless networks. Pervasive Computing and Communications, 2003. (PerCom 2003). Proceedings of the First IEEE International Conference on , 23-26 March 2003 Pages:505 - 508.
- [8] LBL, Xerox PARC, UCB: The Network Simulator - NS2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, 1989.