

# 모바일 애드 혹 네트워크에서의 동적 다중전송속도 경로 배정 알고리즘

남용섭, 최낙중, 류지호, 권태경, 최양희  
서울대학교  
{ysnam, fomula, jhryu, tk, yhchoi}@mmlab.snu.ac.kr

## Dynamic Multi-Rate Routing Sub-Layer for Mobile Ad hoc Networks

Yongsub Nam, Nakjung Choi, Jiho Ryu, Taekyoung Kwon and Yanghee Choi  
School of Computer Science and Engineering  
Seoul National University, Seoul, Korea

### 요 약

IEEE 802.11 표준은 채널 상태에 따라 다양한 전송 속도를 지원하며, 무선랜 환경에서 이러한 특성을 활용하는 연구들이 진행되어 왔다. 그러나, 모바일 애드 혹 네트워크 환경에서 다중전송속도를 활용하는 연구는 거의 이루어지지 않았다. 본 논문은 모바일 애드 혹 네트워크에서 동적으로 다중전송속도를 활용하여 채널 효율을 높이는 알고리즘을 제안한다. 제안 기법은 MAC 계층과 네트워크 계층 중간에 위치하며 각 계층에 독립적으로 동작한다. 라우팅 프로토콜에서 결정한 다음 홉에 더불어, 제안 기법은 더 빠른 전송 속도를 갖는 중계 경로를 탐색한다. 또한, 패킷의 크기에 따라 경쟁 부하를 고려하여 선택적으로 전송 경로를 변경한다. 모의 실험을 통한 성능 평가는 제안 기법의 우수한 성능을 입증한다.

### 1. 서 론

모바일 애드 혹 네트워크는 무선 이동 단말들로 이루어진 자율적인 시스템으로, 각 이동 단말들은 단말로서뿐만 아니라 라우터로서 패킷을 전달하는 역할 역시 담당한다. 단말들은 자유롭게 이동하며 서로 다중-홉 방식으로 통신한다. 모바일 애드 혹 네트워크는 기지국이나 액세스 포인트 (AP)와 같은 개체를 필요로 하지 않으며, 따라서, 손쉽게 즉흥적으로 통신할 수 있는 매력적인 네트워크 기술이다.

IEEE 802.11 [1]이 물리 계층에서 다중전송속도를 지원하는 것은 잘 알려진 사실로, 예를 들어 IEEE 802.11b 표준의 경우, 1, 2, 5.5, 11 Mbps의 데이터 전송 속도를 지원한다. 무선 랜 환경에서 다중전송속도를 활용하는 연구가 진행된 적이 있으나 [2], 모바일 애드 혹 네트워크에서 다중전송속도 속성을 활용하는 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. [2]는 IEEE 802.11 표준의 DCF를 수정하여 MAC 계층에서 더 빠른 시간에 전송 가능한 경로로 메시지를 포워딩하는 기법을 제안한다.

본 연구의 이전 연구인 MAS [3]는 모바일 애드 혹 네트워크 상에서 다중전송속도를 활용하나 중계 시의 경쟁으로 인한 부하를 고려하지 않아 패킷의 크기에 따라 더 좋지 않은 성능을 보일 수 있는 문제점이 있었다. 따라서, 본 연구에서는 MAS를 개선하여 동적으로 다중전송속도를 활용하는 라우팅 기법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 이전 연구인 MAS에 대해 소개하고, 3장에서 1-홉 전송 시간에 대해

분석한다. 분석 결과에 기반하여 4장에서 제안 기법을 소개하며, 5장에서 모의 실험을 통해 성능을 평가한다. 마지막으로 6장에서 본 논문을 마무리 짓는다.

### 2. 관련 연구

MAS는 다중전송속도를 고려한 라우팅 알고리즘으로 MAC 계층과 네트워크 계층 사이에 위치한다. 네트워크 계층에서 다음 홉을 결정하면, MAS는 이웃 단말들에 대한 정보를 바탕으로, 더 빠른 시간에 전송이 가능한 중계 단말을 탐색한다. 만약 중계 단말을 통해 더 빠른 시간에 전송이 가능한 경우, MAS는 해당 단말을 경유하도록 다음 홉의 주소를 변경한다. 더 빠른 전송 시간을 찾기 위해 MAS는 아래의 식을 사용한다.

$$\frac{1}{DataRate(src \rightarrow relay)} + \frac{1}{DataRate(relay \rightarrow dst)}$$

$$< \frac{1}{DataRate(src \rightarrow dst)}, s.t. relay \in [e_{\text{neighbor\_set}}(src)]$$

그러나, 주어진 식은 경쟁으로 인한 부하, 즉, 경쟁 시 backoff로 인해 낭비되는 시간과 잠재적인 충돌로 인해 낭비되는 시간을 고려하지 않고 있다. 이러한 부하로 인해 더 빠른 전송 속도를 갖는 중계 경로가 더 오랜 시간을 소요할 수 있다. 따라서, 더 빠른 경로를 찾는 과정에서, 이러한 부하를 고려하는 것은 중요하다.

### 3. 전송 시간 분석

\*본 논문은 2006년도 두뇌한국 21 프로젝트 지원을 받아 수행되었음

전송 시 발생하는 부하를 고려하기 위해, 본 연구에서는 MAC 계층에서 경쟁으로 인해 발생하는 시간을 포함하여 1-홉 전송 시간에 대해 분석한다. 1-홉으로 이웃 단말에게 패킷을 전송하는 경우 소요되는 시간은 아래와 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$T = T_s + N_{cum}T_c + O_{bo}$$

위 식에서  $T$ ,  $T_s$ ,  $T_c$ 는 각각 1-홉 전송 시간, 전송 성공 시의 전송 시간, 전송 실패 시 낭비되는 시간을 의미하며,  $N_{cum}$ ,  $O_{bo}$ 는 평균 충돌 횟수와 평균 backoff 부하를 의미한다. 즉, 경쟁으로 인해 발생할 수 있는 충돌로 인한 시간 낭비와 유휴 슬롯으로 인한 시간 낭비를 모두 포함한다.  $T_s$ ,  $T_c$ 는 각각 아래의 식으로 표현할 수 있다.

$$T_s = \frac{H_{phy} + ACK}{BasicRate} + SIFS + DIFS + \frac{H_{mac} + E[P]}{DataRate} + 2\delta$$

$$T_c = \frac{H_{phy}}{BasicRate} + DIFS + \frac{H_{mac} + E[P^*]}{DataRate} + \delta$$

위 두 식에서  $H_{phy}$ ,  $H_{mac}$ ,  $ACK$ 는 각각 물리 계층 헤더와 MAC 계층 헤더의 크기, 그리고 ACK 프레임의 크기를 의미하며,  $E[P]$ ,  $E[P^*]$ ,  $\delta$ 는 각각 전송된 프레임 크기의 기대값, 충돌에 참여한 프레임 중 가장 큰 프레임의 크기의 기대값, 그리고 전파 지연시간을 의미한다. 본 분석에서는 모든 프레임의 크기가 같다고 가정하여,  $E[P^*]$ 와  $E[P]$ 가 같다고 놓을 수 있다.

$\tau$ ,  $P_c$ 를 각각 전송 확률과 전송 시의 충돌 확률이라고 놓으면, [4]로부터  $\tau$ ,  $P_c$ 의 값을 구할 수 있다. (본 분석에서는 모든 단말이 항상 보낼 프레임을 가지고 있는 포화 네트워크를 가정한다.) 다만, [4]와 달리  $P_c$ 를 전체 네트워크의 입장에서의 충돌 확률이 아닌 하나의 단말의 입장에서의 조건부 충돌 확률로 놓았으며, 따라서,  $\tau$ 와  $P_c$ 는 각각 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_c = 1 - (1 - \tau)^{n-1}, \tau = \frac{1}{n\sqrt{T_c}/2\sigma}$$

위 식에서  $n$ ,  $\sigma$ 는 각각 경쟁에 참여하는 단말의 개수, 슬롯의 크기를 의미한다. 위 결과로부터, 모든 가능한 충돌들의 확률에 충돌의 횟수를 곱한 후 모두 더하여, 아래 식과 같이  $N_{cum}$ 의 값을 구할 수 있다. 즉,  $N_{cum}$ 은 평균 충돌 횟수를 의미한다.

$$N_{cum} = \sum_{i=1}^{i=m} (i)(P_c)^i (1 - P_c), m = \log_2\left(\frac{CW_{max}}{CW_{min}}\right)$$

위 식에서  $m$ ,  $CW_{min}$ ,  $CW_{max}$ 은 각각 최대 backoff 단계의 수, 초기 경쟁 윈도우 크기, 최대 경쟁 윈도우 크기를 의미한다.  $O_{bo}$ 는 아래 식으로부터 구할 수 있으며, 아래 식은 충돌이 발생하는 경우마다 경쟁 윈도우 크기가 2배로 증가하는 것을 반영하였다. 이때, backoff 타이머는 평균적으로 해당 경쟁 윈도우 크기의 반으로 나타낼 수 있으므로 아래 식에서 해당 항이 2로 나누어졌다.

$$O_{bo} = \sum_{i=0}^{i=m} (P_c)^i (1 - P_c) \times \frac{2^i CW_{min} \sigma}{2}$$

마지막으로, 1-홉 전송 시간인  $T$ 는 경쟁에 참여하는 단말의 수, 패킷의 크기, 데이터 전송속도가 주어지는 경우, 위의 식들로부터 추정될 수 있다.

4. 제안 기법

제안 기법은 기본적으로 이전 연구인 MAS에 기반하며, 따라서, 2-홉 이웃 내의 단말들과의 neighbor table을 유지한다. 링크 정보 유지를 위해, 주기적으로 neighbor discovery 메시지가 브로드캐스트되며, 이를 받은 이웃 단말들은 링크 전송 속도를 담은 neighbor reply 메시지로 응답한다. 이와 별도로 모든 단말은 주기적으로 neighbor notify 메시지를 브로드캐스트하여 자신의 1-홉 이웃들과의 링크 정보 목록을 전달한다. 이러한 과정으로 모든 단말은 2-홉 내 이웃에 대한 링크 상태 정보를 관리할 수 있다. 또한, 정보 테이블 내의 각 엔트리는 일정한 유효 시간을 가지고 있어서 해당 시간이 경과한 링크는 더 이상 유효하지 않다고 판단하여 테이블에서 제거된다. 이는 토폴로지가 자주 바뀌는 모바일 환경의 특성에 기인한다.

제안 기법은 IP 패킷의 앞에 D-MAS 헤더를 별도로 추가하며, 헤더 내부에는 중계 여부 필드와 원래 다음 홉 단말의 주소 필드의 두 개의 필드가 기록된다. 중계 여부 필드가 설정된 경우, 이를 받은 단말은 중계 여부 필드를 취소하고 자신이 받은 패킷을 D-MAS 헤더에 기록된 다음 홉 단말에게 전달한다. 제안 기법에서의 중계 여부 판단은 아래의 식을 통해 수행되며,  $T_{src \rightarrow dest}$ ,  $T_{src \rightarrow relay}$ ,  $T_{relay \rightarrow dest}$  값은 이전 장의 분석 식으로부터 계산할 수 있다.

$$T_{src \rightarrow dest} > T_{src \rightarrow relay} + T_{relay \rightarrow dest}$$

종합적으로, 제안 기법은 다중전송속도와 경쟁 부하를 모두 고려한다. 그림 1은 위 식으로부터 도출된 결과로,

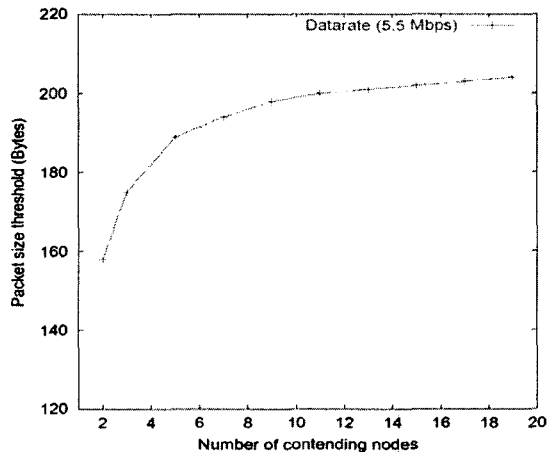


그림 1 중계 시 시간 상 이익이 가능한 최소 프레임 크기

경쟁 단말 수에 따라 증계하여 시간상의 이득을 볼 수 있는 최소 크기의 프레임 크기를 나타낸다.

그림 1에서 기본 전송 속도로 1 Mbps를 가정했으며, 증계 시 5.5 Mbps, 11 Mbps의 전송속도가 가능한 경우 모두에 대해 계산을 수행하였다. 이때, 경쟁에 참여하는 단말의 개수는 neighbor table로부터 구할 수 있다. 또한, 나머지 파라미터가 모두 상수로 주어지므로 계산으로 인한 시간 상의 오버헤드는 거의 추가되지 않는다.

#### 4. 성능 평가

제안 기법의 성능 평가는 NS-2를 통한 모의 실험을 통해 이루어졌다. 모의 실험에 있어, 그림 2와 같이 7 개의 단말을 일렬로 배치했으며, 각 단말 간의 거리는 70 m로 설정했다. 또한, 바로 이웃 단말 간의 전송 속도는 11 Mbps로 두고, 2-홉 이웃 간의 전송 속도는 1 Mbps로 두었다.  $CW_{min}$ ,  $CW_{max}$ 의 값은 IEEE802.11b에서와 마찬가지로 각각 32, 1024로 두었으며, DIFS, SIFS,  $\sigma$ 의 값도 IEEE 802.11b 표준을 반영하여 각각  $50 \mu s$ ,  $20 \mu s$ ,  $10 \mu s$ 로 두었다.

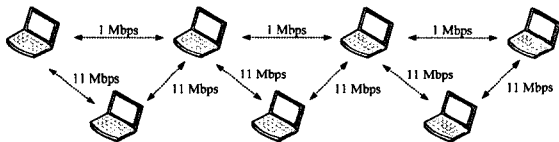


그림 2 모의 실험 환경

성능 평가를 위해 패킷의 크기를 바꿔가며 TCP 트래픽에 대한 goodput을 측정했으며, 기본 전송속도 및 MAS와 결과를 비교했다. 실험 결과는 그림 3과 같다. 제안 기법은 기존의 MAS에 비해 항상 우수한 성능을 보였으며, 특히 패킷 크기가 임계점 이하인 경우에 두드러진 성능 향상을 보였다. 이는 제안 기법이 패킷 크기에 따라 선택적으로 증계 여부를 결정하기 때문이다. 반면, MAS는 패

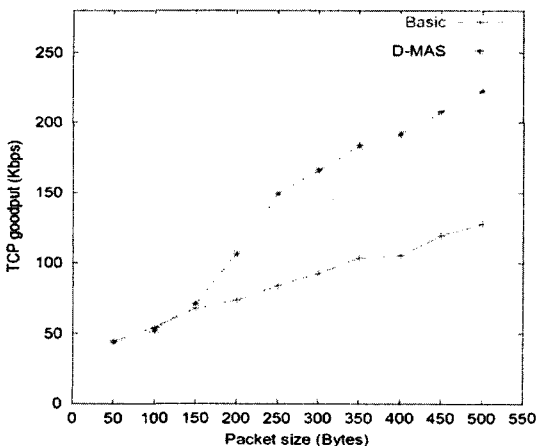


그림 3 패킷 크기에 따른 효율 비교

킷의 크기가 작은 경우에도 증계로 인해 시간적 이익이 예상되는 경우 증계를 선택하나, 이 경우 증계로 인한 오버헤드가 더 크기 때문에 실제 전송 시간에 있어서는 더 오랜 전송 시간이 소요되게 된다.

특히, TCP 트래픽의 경우에는 역방향의 TCP ACK 패킷이 데이터 패킷의 수만큼 전송되며, TCP ACK 패킷의 크기는 50 바이트 이하로 상당히 작기 때문에 이로 인한 MAS의 비효율을 개선하여 임계점 이상의 크기의 데이터 패킷에 대해서도 MAS에 비해 좋은 성능을 보였다. 임계점 이하 크기의 패킷에 대해서 기본 전송속도에 비해 약간 높은 전송 시간을 보였는데, 이것은 1-hop 전송 시간 추정에 소요된 시간으로 인한 오버헤드 때문으로 판단된다.

#### 5. 결론

본 논문은 모바일 애드 혹 네트워크에서 다중전송속도를 활용하는 기법을 제안한다. 제안 기법은 링크의 전송속도와 경쟁 노드 수, 그리고 패킷 크기에 따라 동적으로 다음 홉 단말을 결정한다. 다음 홉 단말 결정에 있어, 확률에 기반한 충돌 및 유류 슬롯 시간에 대한 분석 결과에 기반을 두어 1-홉 전송에 소요되는 시간을 미리 추정하며, 추정된 시간이 기본 전송 시간에 비해 짧을 경우 해당 경로를 선택하는 방법을 택하였다. 이러한 적응적 경로 선택으로 인해, 제안 기법은 일반 라우팅 기법과 기존 연구인 MAS에 비해 항상 좋은 성능을 보였다. 특히, TCP의 경우에 제안 기법의 성능 향상은 두드러졌으며, 모의 실험 결과는 이를 입증한다.

#### 6. 참고 문헌

- [1] IEEE Computer Society. 802.11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, June 1997.
- [2] Hao Zhu and Guohong Cao, "rDCF: A Relay-enabled Medium Access Control Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," in Proc. of IEEE Infocom 2005.
- [3] Y. Seok, J. Park and Y. Choi, "Multi-rate Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. of IEEE VTC 2003.
- [4] G. Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function," IEEE Journal of Selected Areas Communications, vol. 18, pp. 535-547, March 2000.