

# IEEE 802.11 무선 Ad Hoc 망에서 경쟁노드가 라우팅 경로 형성에 미치는 영향\*

이호진\*\*, 이정근\*\*, 최양희\*\*, 최지혁\*\*\*, 김응배\*\*\*  
서울대학교 컴퓨터공학부\*\*, 한국전자통신연구원\*\*\*

## The Effect of Competing Nodes on Routing Path Selection in IEEE 802.11 Ad Hoc Wireless Networks\*

Hojin Lee\*\*, Jeongkeun Lee\*\*,  
Yanghee Choi\*\*, Jihyeok Choi\*\*\*, Eungbae Kim\*\*\*  
School of Computer Science and Engineering, Seoul National University\*\*  
Electronics and Telecommunications Research Institute\*\*\*

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11 을 기반으로 하는 무선 Ad Hoc 망에서 데이터의 송신자 노드와 목적지 노드의 중간 노드들의 전송을 방해하고 채널을 경쟁하는 경쟁노드들이 Shortest-path 라우팅 경로 설정에 미치는 영향을 분석한다. 데이터를 전송하는 중간 노드들이 다수의 경쟁노드를 가지고 있을 경우 MAC delay 가 큰 변수로 작용하며 multi-hop 환경이기 때문에 hidden terminal 문제가 발생한다. 또한 AODV 와 같은 on-demand 라우팅 알고리즘은 경로를 찾기 위해서 Route Request 패킷을 브로드캐스트 하는데 이때 브로드캐스트 패킷의 성공적인 전송이 보장되지 않기 때문에 경쟁노드의 방해가 심한 경우 경로를 찾는데 실패할 가능성이 높아진다. 본 논문에서는 이러한 특성들을 근거로 경쟁노드의 수와 분포가 라우팅 경로 선택에 영향을 미친다는 것을 지적한다.

### 1. 서론

무선 multi-hop Ad hoc 망은 고정된 기반 시설의 도움 없이 이동하는 무선 노드들로만 이루어진 망으로서 무선 노드들의 이동성과 새로운 노드의 생성과 소멸이 빈번하게 일어나는 특성 때문에 망의 구조가 고정 되어 있지 않고 계속 변하는 특성을 보인다. 또한 무선 환경의 특성상 전파 대역폭과 노드의 배터리 파워와 같은 자원들이 매우 한정되어 있다. 따라서 데이터를 원하는 수신자에게 전달하기 위한 효율적인 라우팅 경로를 찾는 것이 무선 Ad hoc 망에서 가장 중요한 문제 중에 하나이다. 라우팅 경로를 선택하기 위해서 현재 가장 많이 사용되는 방법은 가장 적은 hop 을 거치는 shortest-path 를 찾는 것이다. 하지만 shortest-path 방식이 실제로 효율적인 경로를 제공하지 못하므로 다른 척도를 사용해서 경로를 선택해야 한다는 연구결과들이 최근에 발표 되고 있다[1,2].

본 논문에서는 IEEE 802.11 을 사용하는 무선 multi-hop Ad Hoc 망에서 데이터의 생성지와 목적지 노드의 사이에서 패킷을 중계해 주는 노드가 존재할 때 이 중계 노드를 방해하면서 무선 채널을 경쟁하는 노드들 - 경쟁 노드- 이 shortest-path 라우팅 경로 설정에 어떠한 영향을 미치는지를 분석한다. 특히 노드들의 밀집도가 높을 경우 생성지와 목적지 노드사이에는 hop 길이는 같지만 경쟁노드로 인해 방해 받는 정도가 다른 경로가 다수 존재하게 된다. 이 때 기존의 shortest-path 경로 설정 방식이 어떤 경로를 선택하는지 가장 대표적인 shortest-path 라우팅

알고리즘인 AODV 라우팅 알고리즘을 사용한 실험을 통해서 밝혀 낸다.

### 2. IEEE 802.11 프로토콜

본 절에서는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 간략히 요약한다. IEEE 802.11 을 사용하는 Ad Hoc 망은 채널을 얻는 방법으로 distributed coordination function(DCF)을 사용한다. DCF 는 CSMA/CA 를 사용한다. 프레임 전송하려는 노드가 채널이 일정시간 동안(DIFS) 유휴 상태인 것을 확인하면 random backoff(이것이 collision avoidance(CA) 특징이다) 후에 전송한다. 그렇지 않은 경우 노드는 채널이 유휴 상태일 때까지 계속 모니터 한다. 프레임을 받은 수신자는 짧은 시간 간격 동안(SIFS) 쉼 후 ACK 을 송신자에게 전송한다. 프레임을 전송한 송신자가 일정 시간 동안 ACK 을 받지 못해서 timeout 이 발생하면 수신자는 충돌이 발생한 것으로 간주한다. 이 경우 random backoff 을 지수적으로 증가시킨다.

채널이 유휴 상태인지를 확인하는 방법으로는 physical carrier-sensing 과 virtual carrier-sensing 두 가지가 있다. Physical carrier-sensing 은 PHY 층에서 제공된다. Virtual carrier-sensing 은 frame 의 duration field 를 읽어서 NAV 를 설정 함으로서 수행된다.

RTS/CTS 를 사용하는 경우 데이터 프레임을 전송하기 전에 송신자가 RTS 프레임을 브로드캐스트 하고 이를 수신자가 받으

면 CTS 프레임을 브로드캐스트 한다. 이를 송신자가 받으면 데이터 전송이 시작된다[3].

현재 IEEE 802.11 은 유니캐스트는 RTS/CTS 를 사용하고 브로드캐스트는 RTS/CTS, ACK 을 사용하지 않는다.

### 3. AODV

본 절에서는 AODV 라우팅 알고리즘을 간략히 요약한다.

소스가 데이터를 보내려고 할 때 라우팅 테이블에 경로가 없으면 RREQ 메시지를 브로드캐스트한다. RREQ 메시지를 받은 노드들은 목적지로 가는 경로가 자신의 라우팅 테이블에 존재하면 RREP 를 소스에게 전송한다. 그렇지 않은 경우 RREQ 메시지의 정보로부터 reverse path 를 라우팅 테이블에 생성한 후 RREQ 메시지를 브로드캐스트 한다. RREQ 메시지가 목적지에 도달하면 목적지는 RREP 를 소스에게 보낸다. RREP 는 reverse path 를 사용하여 소스로 가며 이 과정에서 forward path 가 설정된다. 더 짧은 경로에 대한 RREP 를 받으면 라우팅 테이블을 그 정보에 맞게 업데이트 한다[4].

### 4. 경쟁노드가 라우팅 경로 선택에 미치는 영향 분석

본 논문에서는 IEEE 802.11 무선 Ad Hoc 망에서 경로 생성시 경쟁노드의 영향력을 조사하기 위해서 SNT 에서 만든 Qualnet 을 이용한다[5].

Ad hoc 라우팅 알고리즘으로는 현재 유일하게 IETF 표준으로 선정된 AODV 라우팅 알고리즘을 사용한다.

경쟁 노드는 512 bytes CBR traffic 을 3 msec 간격으로 실험 시작부터 계속 발생시킨다. 측정하고자 하는 경로의 소스는 512 bytes CBR traffic 을 1 초에 한번 발생시킨다. 7 초에 시뮬레이션을 끝내고 라우팅 테이블을 조사하여 생성된 경로를 확인한다.

#### 4.1 경쟁노드의 수에 따른 실험

그림 1 과 같은 토폴로지에서 실험을 수행하였다.

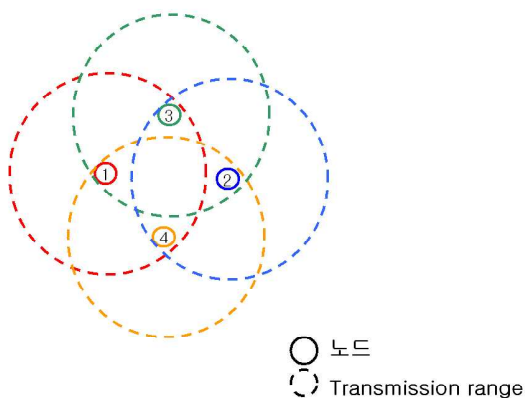


그림 1

소스는 노드 1 이고 목적지는 노드 2 이다. 가능한 최단 경로는 노드 1->노드 3->노드 2(이하 경로 1)와 노드 1->노드 4->노드 2(이하 경로 2) 이다. 이 때 중간에서 데이터를 중계하는 노드 3

과 노드 4 주변에 경쟁 노드의 수를 달리하며 실험을 수행하였다. 모든 노드들은 그림 1 에서 표시된 transmission range 의 약 2 배 크기의 carrier sensing range 를 가지는데 transmission range 바깥, carrier sensing range 안에 위치한 노드가 전송한 패킷은 해독 할 수는 없지만 다른 노드가 전송한 노드와 충돌을 일으킨다. 노드 3 에 배치된 경쟁 노드들은 노드 1, 노드 3 에서 carrier sensing 이 가능하고, 노드 4 에 배치된 경쟁 노드들은 노드 1, 노드 4 에서 carrier sensing 이 가능하다. 이렇게 해야 노드 1 에서 경쟁노드의 전송을 감지해서 노드 1 에서 보낸 패킷들이 노드 3 과 노드 4 에서 과도하게 충돌되는 것을 방지할 수 있다. 또한 노드 2 는 경쟁 노드의 carrier sensing 범위 밖이기 때문에 노드 2 가 받는 패킷이 충돌 되는 것을 막을 수 있다. 표 1 은 실험 결과이다.

경쟁노드의 수		생성된 경로의 수		
노드 3	노드 4	경로 1	경로 2	경로가 존재하지 않는 경우
0	0	25	25	0
0	3	29	21	0
0	5	34	16	0
1	5	31	15	4
3	5	20	16	14
5	1	12	38	0
5	3	16	18	16

표 1. 경쟁노드의 수에 따른 실험 결과

표 1 에서 경쟁노드의 수가 적은 쪽으로 경로가 형성되는 경향이 있다는 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 다음과 같다. 첫째로 노드 1 이 노드 3 과 노드 4 의 경쟁노드를 carrier sensing 해서 채널이 일정 시간만큼 유휴 상태일 때 random backoff 후 RREQ 를 브로드캐스트하는데, 이 과정에서 충돌이 발생할 수 가 있다. 충돌은 경쟁노드가 많을수록 발생할 확률이 높아지므로 경쟁노드가 많은 중간 노드(노드 3 이나 노드 4)가 RREQ 를 덜 받게 된다. RREQ 는 브로드캐스트이므로 ACK 을 사용하지 않아서 충돌이 발생해도 재전송을 하지 않게 된다. 따라서 경쟁노드가 더 적은 경로로 RREQ 가 목적지까지 전달될 확률이 높아져 그 경로가 선택될 가능성이 더 높아진다.

둘째로 노드 1 에서 브로드캐스트한 RREQ 를 노드 3 과 노드 4 에서 수신한 후 이를 노드 3 과 노드 4 가 다시 브로드캐스트하는 과정에서 경쟁노드가 많은 노드는 채널을 얻기 위해서 경합을 하는 시간이 더 길어진다. 즉 경쟁노드가 많은 노드는 MAC delay 가 커져서 RREQ 를 더 늦게 포워딩하게 된다. 노드 2 는 먼저 받은 RREQ 에 반응하여 RREP 를 생성하므로 그 결과 RREQ 를 더 빨리 포워딩한 노드를 포함하는 경로가 형성된다.

셋째로 노드 2 가 RREQ 를 수신해서 RREP 를 노드 1 로 송신하는 경우 노드 2 는 경쟁노드의 carrier sensing 범위 밖에 위치하므로 중간 노드에서 충돌이 발생할 수 가 있다. 노드 3 이 경쟁노드가 더 많지만 낮은 확률로 노드 4 보다 RREQ 를 먼저 포워딩한 경우 노드 2 는 노드 3 으로 RREP 를 유니캐스트한다. 이 때

노드 2 는 경쟁노드의 carrier sensing 범위 밖이므로 경쟁노드의 존재를 모르기 때문에 collision 이 발생할 수가 있다(hidden terminal problem)[6]. 유니캐스트이므로 ACK 을 사용해서 충돌이 발생한 경우 재전송하지만 그 기간 동안 노드 4 로부터 RREQ 가 노드 2 에 도착한 경우 노드 2 는 그에 반응하여 RREP 를 노드 2 에 송신하게 된다. 따라서 경쟁 노드가 많은 노드가 RREQ 를 적은 MAC delay 로 포워딩하더라도 RREP 의 collision 때문에 그 노드를 포함하는 경로가 선택될 가능성이 낮아진다.

#### 4.2 경쟁노드의 분포에 따른 실험

그림 2 와 같은 토폴로지에서 실험을 수행했다.

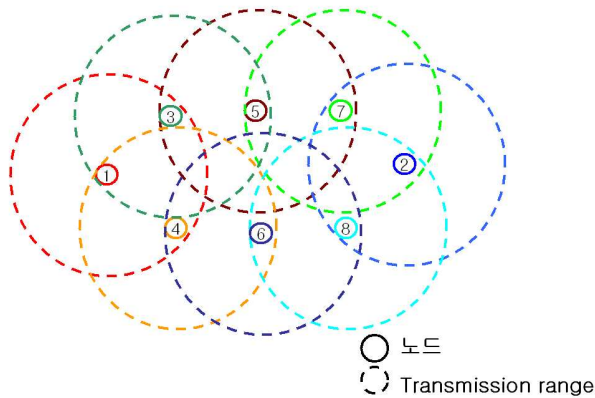


그림 2

소스는 노드 1 이고 목적지는 노드 2 이다. 가능한 최단 경로는 노드 1->노드 3->노드 5->노드 7 노드 2(이하 경로 3)와 노드 1->노드 4->노드 6->노드 8->노드 2(이하 경로 4) 이다. 이 때 중간 노드인 노드 3, 노드 5, 노드 7,과 노드 4, 노드 6, 노드 8 의 경쟁노드의 분포를 달리해가며 실험한다. 이번 실험에서는 편의상 transmission range 와 carrier sense range 를 같게 설정했다. 표 2 는 실험 결과이다.

경쟁노드의 분포 형태		생성된 경로의 수		
경로 1	경로 2	경로 3	경로 4	경로 설정 안된 경우
분산	분산	40	40	20
분산	집중	56	0	44
집중	분산	0	51	49
집중	집중	0	0	100

표 2. 경쟁노드의 분포 형태에 따른 실험 결과

위 실험에서 경쟁노드의 분포 형태가 분산인 경우는 최단 경로상의 중간 노드들에 경쟁노드를 하나 씩 배치한 것이고, 집중인 경우는 최단 경로상의 중간 노드들 중 가운데 노드(노드 5, 노드 6)에 경쟁노드를 모두 배치한 것이다.

표 2 로부터 경쟁노드가 분산되어 있지 않고 어느 한 노드에 집중되어 있는 경우 그 중간 노드를 거쳐가는 경로가 선택되지 않는다는 것을 확인할 수 있다. 그 원인은 다음과 같다. RREP 패킷

을 노드 A 가 전송할 때 노드 B 의 경쟁노드가 노드 A 의 carrier sensing 범위 밖에 있으면 채널이 사용 중인 것을 감지 못하여 노드 B 에서 RREP 패킷이 충돌될 수 있다. 그 경우 재전송을 하게 되는데 경쟁노드가 분산되어서 중간노드에 경쟁노드가 하나 씩 있는 경우 각 중간 노드들의 송신자들은 적은 수의 재전송으로 RREP 를 포워딩할 수 있으나 중간노드 하나에 모든 경쟁노드가 집중되어 있을 경우 그 중간노드에서 충돌 확률이 상당히 높아져서 송신자는 재전송을 많이 하게 되고 결국 retransmission timeout 으로 RREP 패킷이 drop 될 가능성이 높아진다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 AODV 라우팅 알고리즘에서 경쟁노드가 라우팅 경로 설정에 미치는 영향을 살펴보았다.

AODV 라우팅 알고리즘은 메트릭이 서로 같은 경로가 존재할 때 경쟁노드가 적은 노드를 포함하는 경로를 선택하는 경향이 있고, 경쟁노드의 수가 같을 경우 경쟁노드가 분산되어 있는 경로를 선택하는 경향이 있다는 것을 확인했다.

향후, 경쟁 노드의 수와 경쟁 노드의 분포에 따른 라우팅 경로 선택의 확률을 수학적으로 분석하여 모델을 제시하는 것이 요구되며, AODV 이외의 다른 Ad hoc 라우팅 알고리즘을 사용한 실험이 추가되어야 할 것이다.

#### 참고 문헌

[1] Douglas S. J. De Couto, Daniel Aguayo, Chambers, and Robert Morris, "Performance of Multihop Wireless Networks: Shortest Path is Not Enough," HotNets-I, October 2002

[2] Baruch Awerbuch, David Holmer, and Herbert Rubens, "High Throughput Route Selection in Multi-Rate Ad Hoc Wireless Networks," Technical report, March 2003

[3] RFC 3561, "Ad hoc On-Demand Distant Vector(AODV) Routing."

[4] Matthew S. Gast, 802.11 Wireless Networks, pp. 23-50, O' REILLY, 2002

[5] "SNT(Scalable Network Technology)," <http://www.scalable-networks.com>

[6] S. Keshav, An Engineering Approach to Computer Networking, p. 142, Addison-Wesley, 1997