

Relay기반 Mesh 네트워크의 spatial reuse 향상 기법

박근모^o 김중권

서울대학교 컴퓨터공학부

{kmpark^o, ckim}@popeye.snu.ac.kr

Enhancement of Spatial Reuse in Relay-enable Mesh Networks

Keunmo Park^o Chongkwon Kim

School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

요 약

IEEE 802.11을 비롯한 여러 무선 네트워크에서는 multi-rate를 활용한 시스템 성능향상에 관한 연구가 진행되고 있다. 그 중에 한가지 연구결과로 제안된 방법이 rDCF이다. 만약 Mesh 네트워크에서 rDCF를 동작시킨다면, 시스템 throughput의 증가, packet delay의 감소와 함께 채널상태에 따라 포워딩 전략을 다르게 함으로써 채널 error의 영향이 줄어들 것으로 기대해 볼 수 있다. 하지만 기존의 rDCF를 아무런 revision 없이 Mesh 네트워크에 적용하기에는 spatial reuse 측면에서 비효율적이다. Mesh 네트워크에서는 외부 네트워크와 access point 지점이 되는 portal쪽으로 traffic이 집중되는 것이 일반적이므로 portal에 가까울수록 traffic간의 contention도 가중되므로 시스템 전체 성능에 영향을 미치게 된다. 이러한 문제를 줄이기 위하여 무선 네트워크 환경에서 spatial reuse 측면을 향상시킴으로써 동시에 진행되는 communication 수를 늘리는 방법이 있다. 그러므로 본 논문에서 rDCF의 spatial reuse를 늘림으로써 좀 더 Mesh Network위에서도 효율적으로 작동할 수 있는 기법을 제시하고자 한다.

1. 서 론

IEEE 802.11을 기반으로 하는 많은 무선 네트워크들은 적은 비용으로 간단하게 인프라 구축이 가능하여 주목을 받아왔다. 이와 함께 IEEE 802.11의 성능향상을 위해 많은 연구들이 선행되었고 지금도 다양한 분야에서 연구가 진행 중이다. 많은 연구 분야 가운데서도 특히 IEEE 802.11에서 제공하는 multi-rate을 이용한 데이터 전송에 관련한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

먼저 [2],[3],[4]처럼 직접 링크의 채널 상태를 고려하여 multi-rate를 활용하는 방법들이 제안되었다. 그리고 낮은 rate을 지원하는 채널을 가진 직접 링크보다는 높은 전송 rate을 지원할 수 있는 다수의 링크를 통해 전송하는 것이 효율이 높은 경우가 많은데, 이점을 착안하여 MAC layer에서 relay를 통해 성능향상을 위해 제안된 rDCF라는 기법이 있다[1]. rDCF는 sender와 receiver 사이의 링크 채널이 낮은 rate만 지원되고 sender와 receiver 사이에서 어떠한 node가 높은 rate으로 packet을 relay해 줄 수 있는 경우, relay node를 통해 packet을 전송하는 방법이다.

relay를 이용하는 rDCF는 [2],[3]의 장점을 포함할 뿐만 아니라 더욱 발전된 방법을 제시하고 있다. 하지만 MAC layer 프로토콜 rDCF를 Mesh 네트워크의 전체적인 성능향상을 위해 활용하기에는 spatial reuse라는 관점에서는 효율적이지 못한 한계점을 드러내고 있다. 반면 Mesh 네트워크에서는 시스템 traffic의 대부분이 portal 방향으로 집중되는 경향이 있다. 결국 Mesh network에서 spatial reuse 측면이 떨어지게 된다면 portal에 가까울수록 packet들의 contention이 더욱 가중되는 병목현상으로 인하여 네트워크 전체 시스템 성능에 영향을 미치게 된다.

본 논문에서는 relay를 이용하는 rDCF를 Mesh 네트워크에서도 좋은 성능을 낼 수 있도록 spatial reuse를 좀 더 강화할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 관련 연구

대표적으로 [2],[3],[4]는 MAC 계층에서 multi-rate를 잘 활용하여 성능을 향상시켰다. [2]같은 경우는 sender가 전송 성공률을 기반으로 하여 receiver의 채널상태를 추측해서 적절한 전송 rate를 선택하는 방법이 제안되었다.

[3]에서는 sender가 data packet을 전송하기 전에 receiver가 자신의 채널상태를 측정하여 sender에게 control packet(CTS)을 통하여 알려줌으로써 sender가 적절한 전송 rate를 선택할 수 있도록 하는 방법이다. [3]기법은 receiver가 직접 측정한 채널상태 정보를 기반으로 하므로 [2]와 비교하여 좀 더 정확한 전송 rate을 계산할 수 있는 장점이 있다.

[4]는 채널 coherence 시간을 고려할 때 좋은 채널을 지닌 링크는 medium access 채널을 잡았을 때 그만큼 여러 packet을 연속해서 보낼 수 있도록 허용함으로써 time fairness까지도 보장해 줄 수 있는 방법으로 제안되었다.

2.1. rDCF

2.1.1 배경

그림1과 같은 링크를 갖는 무선 네트워크환경에서 N1이 N2에게 보낼 packet이 있다고 가정하자. N1→N2의 채널은 2Mbps의 rate를 지원하고, N1→Nr과 Nr→N2는 각각 최대 11Mbps, 5.5Mbps의 rate를 지원한다고 했을 때, N1에서 N2로 packet을 직접 보내는 것 보다 Nr을 relay하여 packet을 전송하게 되면 N1이 packet의 길이라고 했을 때 $(\frac{1}{11} + \frac{1}{5.5})L + \alpha$ 는 Nr

에서 패킷이 머물러 있는 시간)의 전송 시간이 걸리고 약 $\frac{5.5 \times 11}{5.5 + 11} = 3.7Mbps$ 의 rate으로 전송할 수 있으므로 기존의 RTS/CTS를 사용하여 2Mbps rate으로 packet을 전송하는 것 보다 더 좋은 결과를 보여준다.

2.1.2 기본적인 동작 알고리즘

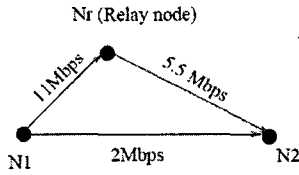


그림 1 relay node

먼저 relay를 하기 위해서 네트워크 내부의 각 노드는 디코딩 가능한 모든 RTS/CTS를 측정할 수 있는 신호세기과 CTS안에 piggyback되는 rate 정보를 비교하여 자신이 relay하여 좀 더 빨리 packet을 보낼 수 있다고 판단되는 sender receiver pair를 willing list에 기록해 두었다가 주기적으로 1 hop 이웃 노드들에게 willing list를 광고한다. 그리고 광고메시지를 들은 어떤 노드가 광고 메시지 정보에 자신이 sender로써 포함되어 있는 경우 그 광고메시지를 보낸 노드를 나중에 relay 노드로써 이용하기 위해 relay table에 기록해 둔다.

그림2와 같은 링크 토폴로지가 존재하고 Ni가 Nj에게 전송할 packet이 있다고 가정하자. Ni의 relay table에서 packet을 relay 해줄 노드가 없는 경우에는 일반적인 DCF가 작동하겠지만 packet을 relay해줄 노드가 있는 경우에는 그림2와 같이 Ni는 Nr에게 RRTS1을 보내게 된다. Nr은 RRTS1의 신호세기를 바탕으로 Ni→Nr링크에 적당한 rate를 계산하여 RRTS2에 piggyback하여 Nj에게 보낸다. 그러면 Nj는 처음 Ni가 전송한 RRTS1의 신호세기를 기반으로 하여 Ni→Nj 링크에서 지원

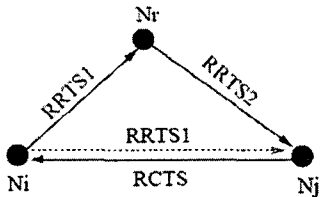


그림 3 triangular handshake

가능한 rate를 계산함과 동시에 RRTS2를 반응으로써 링크 Ni→Nr, Nr→Nj에서 지원되는 rate를 알 수 있게 된다. 그러므로 Nj는 relay를 하는 경우와 하지 않는 경우 중에서 좀 더 빨리 packet을 전송할 수 있는 방법을 선택하여 relay를 하는 경우에는 RCTS를, 하지 않는 경우 일반적인 CTS를 Ni에게 각각 보냄으로써 sender의 relay를 통한 multi-rate 활용 여부를 결정할 수 있도록 하게 된다.

3. rDCF의 문제점

그림1에서 각 노드들은 서로 1hop 이웃노드관계라는 점을 감안하면 그림1과 같은 링크 상태는 극단적인 한 예라고 볼 수 있다. 그러므로 그림1에서 N1과 Nr 링크에서 지원되는 전송 rate이 5.5Mbps라고 가정을 하자. 그러면 packet 길이가 L이라고 했을 때 packet을 relay하여 전송한다면

$$\left(\frac{1}{5.5} + \frac{1}{5.5}\right)L + \alpha \text{ 의 전송시간이 거리으로 2Mbps 직접링크}$$

를 이용했을 때 거리는 $\frac{1}{2}L$ 시간과 비교하면 α 에 따라서 오히려 성능을 저하시킬 수도 있다. 또한 전송 rate 역시

$$\frac{5.5 \times 5.5}{5.5 + 5.5} = 2.75 \text{ Mbps}$$

이므로 성능향상을 기대하기 어렵게 된다. 이처럼 그림1과 같은 rate를 가진 링크들에서는 relay를 통해서 throughput의 향상과 delay의 감소를 얻을 수 있지만 N1과 Nr 링크의 전송 rate이 5.5Mbps로만 떨어져도 오히려 나쁜 결과를 가져올 수도 있다.

또한 무선 네트워크에서 multi-rate를 활용하기 위해 제안된 여러 가지 방법들은 채널상태가 시간에 따라서 변한다는 것을 기초로 한다. 그러므로 relay 노드가 자신의 relay 정보를 광고하는 과정에서 정확한 채널상태를 반영하기 위해서는 광고메시지의 주기를 줄이는 방법이 있지만 그만큼 control packet

Packet Type	The Duration
RTS	$CTS + \sigma + 2SIFS$
CTS	$DATA(L, R_{dir}) + \sigma + 2SIFS$
RRTS1	$RRTS2 + RCTS + 2\sigma + 3SIFS$
RRTS2	$RCTS + DATA(L, R_1) + 2\sigma + 3SIFS$
RCTS	$DATA(L, R_1) + DATA(L, R_2) + 2\sigma + 3SIFS$
Data _{dir}	$ACK + \sigma + SIFS$
Data ₁	$DATA(L, R_2) + ACK + 2\sigma + 2SIFS$

표 1 rDCF의 NAV세팅 시간

오버헤드가 가중된다. 그러므로 계속해서 짧은 주기로 광고메시지를 브로드캐스트 하는 것은 무리가 있다. 그래서 rDCF에서는 relay table에 있는 노드를 활용하여 packet을 전송하기 전에 그림2와 같이 triangular handshake를 거쳐서 relay를 통해 packet 전송 시간을 줄일 수 있다고 판단되는 경우에만 relay 노드를 활용하여 packet 전송이 이루어진다. 하지만 triangular handshake과정이 완료된 후에 relay 노드를 경유하여 packet을 전송하게 될 경우에는 문제가 없지만 relay를 하지 않고 전송할 때가 packet 전송에 더 적은 시간이 걸린다고 계산될 경우에는 spatial reuse 측면에서 자원낭비가 된다. 그림2에서 보이는 것처럼 Ni가 Nj에게로 packet을 전송하기 위해 triangular handshake후에 Ni에서 Nj로 직접 packet을 전송하게 될 경우에는 triangular handshake 하는 과정에서 Nr 주위의 노드들이 $RCTS + DATA(L, R_1) + 2\sigma + 3SIFS$ 시간(표1) 동안 NAV 세팅되므로 이용 가능한 자원을 버리게 되는 셈이다. 그림3을 바탕으로 그림4처럼 전송범위를 그려보면 Z에 해당하는 영역에 있는 노드 Nk는 전송을 시도할 수 있음에도

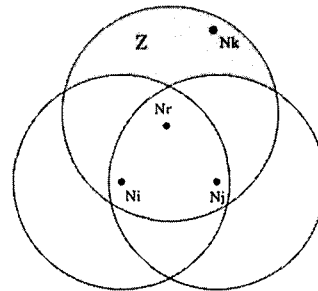


그림 4 spatial reuse 낭비

불구하고 NAV 세팅으로 인해 전송을 할 수 없게 되는 예를 볼 수 있다.

Mesh 네트워크에서 그림1에서와 같은 링크 상태를 가지는 경우 relay를 통해 packet을 전송함으로써 성능을 증대시킬 수

있지만, 그림 1과 같은 링크상태를 가지는 상황은 일반적이지 않은 상황에서 rDCF를 spatial reuse 측면이 중요시되는 Mesh에 직접 적용하기에는 한계가 있다는 것을 알 수 있다.

4. spatial reuse 향상 기법

앞에서도 설명한 것처럼 rDCF의 spatial reuse를 떨어트리는 문제점의 원인은 triangular handshake 과정에서 relay를 활용하여 packet을 전송하게 될지, packet을 sender에서 receiver로 직접 전송하게 될지 모르는 상황에서 항상 relay를 가정하여 relay 노드의 전송범위 안에 있는 노드들을 NAV 세팅하기

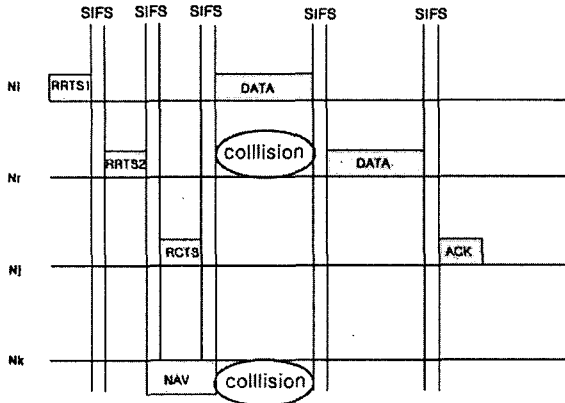


그림 5 기존 rDCF의 NAV세팅 수정 후 collision 문제

때문이다. 그러므로 이를 해결하기 위해서는 triangular handshake 과정에서 relay 노드가 주위 노드들을 무조건 relay를 가정하고 NAV 세팅을 하는 것이 아니라 receiver의 RCTS 혹은 CTS시간 까지만 NAV를 세팅하는 것이다. 하지만 기존의 rDCF에서 위와 같은 알고리즘을 적용할 경우 그림5에서 보이는 것처럼 relay과정에서 collision이 발생할 수 있다. 그러므로 기존의 rDCF에서 RCT에서하는 과정을 그림6처럼 수정하였다. relay를 통해 packet을 전송하는 것이 시간이 적게 걸리다고 계산되는 경우는 RCTS도 RRST처럼 relay 노드를 통하여 sender에게 전송을 하면 RCTS과정에서 relay 노드가 이미 sender의 전송 rate을 알고 있으므로 주위의 노드들에게 적절한 NAV 세팅이 가능하다. 이와 같은 방법을 통해 relay 노드 주위에 노드에 대한 NAV세팅 하는 시점을 relay를 할지 하지 않을지 결정되는 시간 후로 미룰 수 있게 되므로 relay의 장점을 살리면서 spatial reuse 측면의 자원낭비도 막을 수 있다.

5. 결론

Mesh 네트워크에서 rDCF와 같은 relay 기법을 적용한다면 시스템 throughput 향상과 packet 전송 시간을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 채널의 상태를 반영하여 채널에러의 영향을 줄일 수 있다. 하지만 Mesh portal에 가까울수록 traffic이 급속히 많아지는 네트워크 모델임을 감안한다면 Mesh 네트워크에서 spatial reuse는 네트워크를 디자인하는데 있어서 상당히 중요한 고려요소이다. 하지만 rDCF는 spatial reuse 측면은 크게 고려하고 있지 않다는 문제점을 본 논문에서 지적하였고 또 이러한

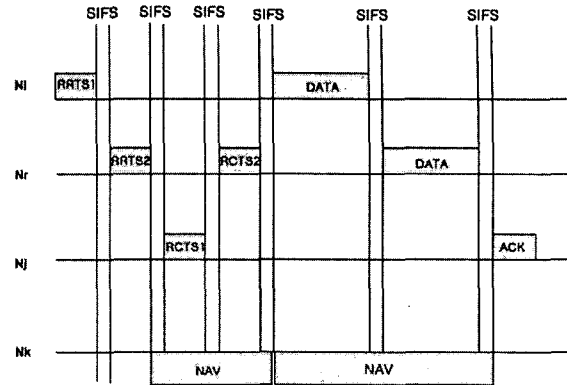


그림 6 rDCF의 RCTS 수정

문제점이 존재하기 때문에 아무런 수정을 하지 않고 Mesh 네트워크에 바로 적용을 할 경우에는 큰 성능향상을 보장할 수 없다. 그러므로 기존 rDCF의 RTS/CTS handshake과정을 수정함으로써 spatial reuse 측면과 함께 relay로 인한 성능향상을 함께 기대해 볼 수 있는 방법을 제시 할 수 있게 된다. 향후 위와 같은 방법을 시뮬레이션을 통해 기존의 rDCF와 비교하여 객관적으로 얼마나 더 성능을 향상 시킬 수 있는지를 제시하고자 한다.

참고문헌

[1]Hao Zhu and Guohng Cao, "rDCF: A Relay-enabled Medium Access Control Protocol for Wireless Ad Hoc Networks," infocomm 2005
 [2]A. Kamerman and L. Monteban, "WLAN-II: A high-performance wireless LAN for the unlicensed band," Bell Labs Technical Journals, summer 1997.
 [3]G. Holland, N. Vaidya and P. Bahl, "A rae-adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks," ACK Mobicom 2001,july 2001.
 [4]B. Sadighi, V. Kanodia, A. Sabharwal and E. Kightly, "Opportunistic media access for mulitrate Ad Hoc networks," ACM Mobicom 2002, July 2001.