

비대칭 Ad Hoc 네트워크를 위한 효율적인 MAC 프로토콜*

이성희⁰ 고영배

⁰아주대학교 정보통신 전문대학원, 아주대학교 정보통신 대학 정보및컴퓨터 공학부
shlee⁰@dmc.ajou.ac.kr, youngko@ajou.ac.kr

Efficient MAC Protocol for Asymmetric Ad Hoc Networks

Sung-Hee Lee⁰, Young-Bae Ko

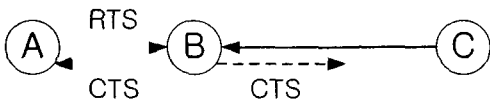
Graduate School of Information and Communication, Ajou University

요 약

CSMA/CA를 기반으로 하고 있는 802.11 MAC 프로토콜에서는 RTS/CTS를 이용한 reservation 기법으로 medium을 공유하고 있다. 하지만 이러한 기법은 모든 노드의 송/수신 범위가 같을 때만 유효하다. 현실적으로 송/수신기와 안테나 특성, shading 효과 등으로 인하여 노드의 송/수신 범위가 달라지기 때문에 비대칭 링크가 발생하고, 이 경우 데이터 충돌이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 환경하에서 MAC 계층 패킷의 충돌을 방지하기 위해 BTS(Block-to-Send) 패킷을 도입하여, 비대칭 링크 노드의 데이터 전송을 막는 기법을 제안한다.

1. 서 론

CSMA/CA를 기반으로 하고 있는 802.11 MAC 프로토콜은 모든 노드가 동일 주파수 대역을 공유하고 있으며, carrier sensing을 통해 주파수가 비어있을 때만 송신을 시도한다. 만약 서로 carrier sensing 범위에 들지 않는 2개 이상의 노드가 동시에 데이터 송신을 시작한다고 했을 때, 수신 노드의 위치가 양쪽의 전송 범위에 모두 포함된다면 수신 데이터가 충돌을 일으키게 된다. 이러한 "hidden node problem"을 방지하기 위해 802.11 MAC에서는 RTS/CTS 패킷 교환을 통한 reservation 메커니즘을 사용하고 있다[1]. 하지만 이러한 방법은 모든 노드의 송/수신 범위가 동일할 때만 유효하다. 만약 어떠한 노드의 송신 범위가 다른 노드에 비해 넓다면, 또는 수신 범위가 다른 노드에 비해 작다면, 수신 데이터가 충돌을 일으킬 수 있다.



[그림 1] C의 전송 범위가 B보다 넓은 경우

[그림 1]에서 A가 B에 RTS를 보내면, B는 CTS를 전송한다. C는 B의 전송 범위 밖에 있기 때문에 CTS를 들지 못한다. 따라서 A가 B에 데이터를 전송하는 시점과 동시에 C가 다른 노드에 데이터를 보낸다면, B의 수신 데이터가 충돌을 일으키게 된다.

현실적으로 송/수신기의 특성과 안테나의 높이, shading 효과 등으로 인하여 노드의 송/수신 범위가 달라지기 때문에, 비대칭 링크가 발생할 가능성이 항상 존재한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, BTS(Block-to-Send) 패킷을 도입하여, 자신과 비대칭 링크 관계에 있는 이웃 노드의 전송을 막는 기법을 제안한다.

2. 관련 연구

비대칭 링크(Unidirectional links) 환경에서의 MAC 계층 패킷 충돌 문제는, 그 중요성에 비해 상대적으로 많은 관심을 받지 못했다. 기존의 관련 연구를 살펴보면 다음과 같다.

[2]에서는 CTS를 받은 노드가 다시 CTS를 재전송(re-broadcast)하는 방식으로 CTS의 전파 범위를 넓혀, 비대칭 링크 노드의 간섭을 막는다. 하지만 이 방법은 무조건 CTS를 재전송함으로써 제어 패킷의 오버헤드가 커지는 단점이 있다.

[3]에서는 송신 세기가 큰 노드만 CTS의 재전송에 참여함으로써 [2]의 단점을 개선하려 하였지만, 송신 세기의 실질적인 판단 기준을 제시하지 못하는 한계를 보이고 있다.

본 논문에서는 비대칭 링크를 판단하는 확실한 기준을 제시하고, 이를 바탕으로 송신 노드의 비대칭 링크가 있는 경우에만 선택적으로 해당 노드의 전송을 막는 기법을 제안한다.

3. 비대칭 링크 판단 기법

해석 가능한 임의의 데이터를 보낸 노드를 이웃 노드(neighbor node)라 가정하자. 이 이웃 노드와 자신이 비대칭 링크를 이루고 있는지를 판단하기 위해서는, 자신이 보낸 데이터를 상대방이 받을 수 있을지 알아야 한다.

노드 i가 j에게 데이터를 전송할 때 이것이 노드 j에서 해석 가능한 데이터가 되기 위해서는 다음의 세가지 조건을 충족해야 한다[4].

* 본 연구는 대학 IT 연구센터 육성 지원 사업, 한국 과학 재단의 지역 대학 우수 과학자 지원 사업(R05-2003-000-10607-0)의 연구 결과로 수행되었음.

1. 노드 i의 송신 세기(Pt_i)는 송신기의 최대/최소 송신 세기 사이에 있어야 한다.

$$Pt_Min \leq Pt_i \leq Pt_Max \quad (\text{수식1})$$

2. 노드 j에서의 수신 세기는 데이터를 해석 가능한 최소 한계값보다 크거나 같아야 한다.

$$Pr_j = G_j Pt_i \geq RX_Thresh \quad (\text{수식2})$$

(G_j 는 송/수신 Gain 값이다)

3. 노드 j에서의 신호대 잡음 비(signal to noise ratio)가 최소 한계값보다 크거나 같아야 한다. 이때 발생하는 잡음(Pn_j)은 열 잡음(thermal noise)과 다른 노드로부터 송출된 전파를 모두 포함한다.

$$SIR_j = \frac{G_j Pt_i}{Pn_j} \geq SIR_Thresh \quad (\text{수식3})$$

802.11 MAC 프로토콜은 Power Control을 하지 않기 때문에 조건 1은 항상 충족한다. 또한 CSMA/CA 특성상 carrier sensing을 통해 동일한 시점에 동시에 2개 이상 노드의 전송을 허용치 않으며, 본 논문에서 열 잡음은 고려하지 않기 때문에 조건 3도 항상 충족된다.

2-ray ground reflection model[5, 6, 7]에서 Gain은 거리의 네제곱에 반비례하기 때문에 조건 2의 수식2를 다시 쓰면 다음과 같다[8].

$$Pr_j = \frac{ht_i hr_j Gt_i Gr_j}{d^4 L_0} Pt_i \quad (\text{수식4})$$

즉, 수신된 전파의 세기는 송수신 Gain(Gt_i, Gr_j)과 송수신 안테나의 높이(ht_i, hr_j), 그리고 송신 전파 세기(Pt_i)에 비례하며, 거리(d)의 네제곱과 other loss factor(L_0)에 반비례한다. 수식4에서 송수신 안테나 높이 변수를 송수신 Gain에 포함시키고 거리 d 와 L_0 에 대해서 정리하면 다음과 같다.

$$d \cdot L_0^{1/4} = \sqrt[4]{\frac{Gt_i Gr_j Pt_i}{Pr_j}} \quad (\text{수식5})$$

수식5에서 알 수 있듯이, 상대방(노드 j)이 보낸 전파를 수신(노드 i)했을 때, 상대방의 전송 세기(Pt_j)와 그 전파의 수신 세기(Pr_j), 그리고 송수신 Gain(Gt_i, Gr_j) 값을 알면 상대방과의 거리를 추산할 수 있다.

이를 바탕으로 자신(노드 i)이 송신한 전파를 상대방(노드 j)이 수신할 수 있을지 여부를 추정할 수 있다.

$$Pr_i = \frac{Gt_j Gr_i}{d^4 L_0} Pt_j \geq RX_Thresh_i \quad (\text{수식6})$$

$d^4 L_0$ 값은 상대방으로부터 수신한 데이터를 바탕으로 수식5를 통해 얻을 수 있다. 이렇게 얻어진 수신 전파 세기(Pr_i)가 상대방 노드의 최소 수신 세기(RX_Thresh_i)보다 커야만 수신 가능하다. 따라서 이 조건이 충족되지 못한다면 비대칭 링크로 판단할 수 있다.

결론적으로 송수신 전파 세기와 Gain값, 그리고 수신 최소 한계값을 알면 비대칭 링크 여부를 판단할 수 있다.

본 논문에서는 모든 노드가 MAC 계층의 모든 패킷을 보낼 때 자신의 송신 전파 세기와 송수신 Gain 값, 그리고 수신 최소 한계값을 함께 보내도록 한다. 이는 기존의 MAC 프로토콜에 비해 늘어난 정보만큼의 overhead를 필요로 하나 MAC 계층 패킷의 충돌 가능성을 줄임으로써 이를 극복할 수 있다. 모든 노드는 이렇게 받은 추가 정보로부터 비대칭 링크 여부를 판단하여 테이블로 관리한다.

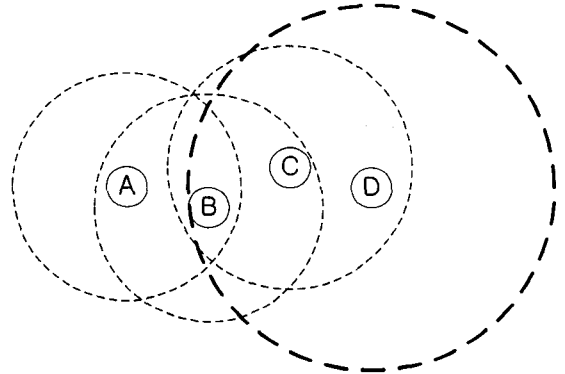
4. 개선된 MAC 프로토콜의 제안

비대칭 링크하에서의 패킷 충돌을 방지하기 위하여 다음과 같이 MAC 프로토콜의 개선을 제안한다.

알고리즘 기술에 앞서, 모든 노드는 자신의 이웃 노드와 과거의 통신 기록으로부터 비대칭 링크 여부를 알고 있고 가정한다.

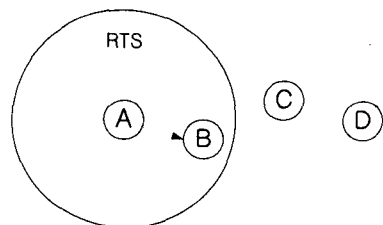
1. CTS를 보내는 노드는 자신에게 비대칭 링크 노드가 존재한다면, 그 ID를 CTS 패킷에 함께 실어 보낸다.
2. CTS를 받은 노드는 자신의 이웃 노드 중 CTS에 실린 비대칭 링크 노드의 ID가 존재한다면, 그 노드에 BTS(Block-to-Send) 패킷을 보낸다.
3. BTS 패킷이란 비대칭 링크 노드의 전송을 막기 위해 도입한 패킷이며, 이 패킷을 받은 노드는 CTS를 받은 것과 같이 전송이 불록된다. 단, CTS와는 달리 BTS를 받은 모든 노드가 불록되는 것이 아니며, BTS에 담긴 destination ID와 같은 노드만 불록되므로 더 효율적이다.

아래의 그림을 예로 들어 구체적인 동작을 살펴본다.



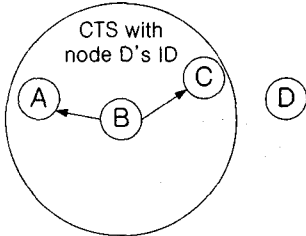
[그림 2] 초기 상태

[그림 2]의 초기상태를 보면, 노드 D의 전송 범위가 노드 B에 비해 크다. 따라서 노드 B는 이전 통신 기록으로부터 노드 D와 비대칭 링크임을 알고 있다고 가정한다.



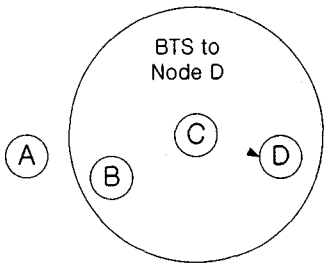
[그림 3] 노드A가 RTS 패킷을 전송

[그림 3]에서 802.11 MAC 프로토콜에 따라, 노드 A가 B에게 데이터를 전송하기 전에 RTS를 패킷을 보낸다.



[그림 4] 노드 B가 자신의 비대칭 링크인 노드 D의 ID를 CTS에 함께 실어 보낸다

RTS를 받은 노드 B는 CTS를 보낼 때 자신의 비대칭 링크인 노드 D의 ID를 함께 실어 보낸다.



[그림 5] 노드 C가 D에게 BTS 패킷을 보낸다

CTS를 받은 노드 C는 자신의 이웃 노드 목록에 노드 D가 있음을 확인하고, 노드 D로 BTS(Block-to-Send) 패킷을 보낸다. BTS를 받은 노드 D는 노드 A의 전송 시간 동안 불특된다.

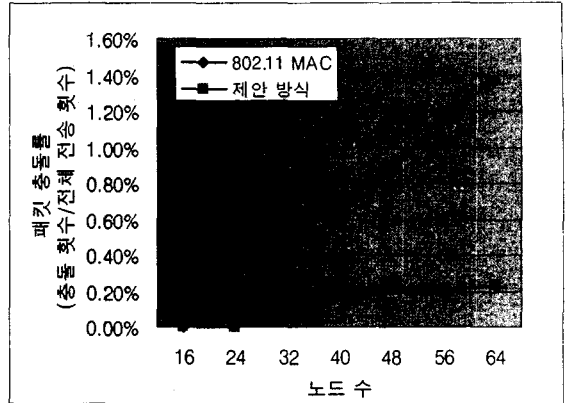
이와 같은 방법으로 비대칭 링크 노드의 전송을 선택적으로 막을 수 있다.

5. 성능평가

제안 기법을 사용하여 MAC 패킷 충돌이 얼마나 감소되는가를 검증하기 위해, 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 기존의 802.11 MAC 프로토콜과 제안 기법을 C언어로 구현하여 서로 비교하였다. 시뮬레이션 조건은 다음과 같다.

- 대상 지역 크기 : 750m * 750m
- 노드 위치 : 무작위 선택
- 노드의 전송 범위 : 50m ~ 250m 무작위 선택
- 노드 수 : 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64
- 노드의 전송 확률(링크 사용률) : 20%

노드의 전송 확률이란 한 Time Step에서 노드가 전송을 시도하는 확률을 의미한다. 패킷 충돌률은 전체 패킷 전송 횟수 대비 충돌 횟수의 비율로 측정하였다.



[그림 6] 노드 수 증가에 따른 패킷 충돌률

[그림 6]에서 보면 기존 802.11 RTS/CTS 매커니즘에서는 노드 수가 증가할수록 패킷 충돌률이 비례하여 증가함을 알 수 있다. 하지만 BTS 패킷을 추가한 제안 방식에서는 노드 수가 증가해도 패킷 충돌률이 크게 증가하지 않는다. 이것은 비대칭 링크 노드의 전송시도를 막음으로써 얻어진 결과이다.

6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 비대칭 링크 상황에서 발생할 수 있는 패킷 충돌을 줄이기 위해, BTS 패킷을 도입하는 방법을 제시하였다. 이렇게 패킷 충돌을 줄임으로써 재전송 패킷의 양을 줄여 전체적인 네트워크의 효율을 높일 수 있다. 향후 과제로써 [2]와 [3]에서 제시하는 방법과의 성능 비교를 통해 효율성을 입증하겠다.

참고 문헌

- [1] "draft International Standard ISO/IEC 8802-11, IEEE P802.11/D10, Jan 1999", LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society.
- [2] N. Poojary, S. V. Krishnamurthy, S. Dao, "Medium Access Control in a Network of Ad Hoc Mobile Nodes with Heterogeneous Power Capabilities", ICC 2001.
- [3] T. Fujii, M. Takahashi, M. Bandai, T. Udagawa and I. Sasase, "An Efficient MAC Protocol in Wireless AdHoc Networks with Heterogeneous Power Nodes", WPMC 2002.
- [4] J. P. Monks, V. Bhargavan and W. W. Hwu, "Transmission Power Control for Multiple Access Wireless Packet Networks", IEEE ICN 2000.
- [5] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles and Practice", Prentice Hall, 1996.
- [6] G. Stuber, "Principles of Mobile Communications", Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [7] W. Jakes, "Microwave Mobile Communications", IEEE Press, 1974.
- [8] V. K. Garg, "Wireless Network Evolution 2G to 3G", Prentice Hall PTR 2002.