

Multirate를 지원하는 애드 홀드 무선 망에서의 Hidden Terminal 문제 분석

이민형⁰ 유 준 김중권
서울대학교 전기·컴퓨터 공학부
{minhl⁰, joon, ckim}@popeye.snu.ac.kr

Hidden Terminal Problem Analysis in Multirate Ad Hoc Networks

Minhyung Lee⁰ Joon Yoo Chongkwon Kim
School of Electrical Engineering & Computer Science, Seoul National University

요 약

IEEE 802.11 무선 MAC 표준은 물리 계층에서 Multirate를 제공하며, 이를 이용하기 위한 다양한 Rate adaptation 알고리즘들이 제안되었다. 일반적으로 애드 홀드 무선 망은 802.11의 MAC을 기반으로 하므로 Multirate를 고려할 필요가 있다. Multirate를 지원하는 상황에서 높은 Data Rate로 통신을 할 경우, 그에 따른 높은 SNR (Signal to Noise Ratio) Threshold가 요구되므로, 기존의 RTS/CTS로는 해결할 수 없는 심각한 Hidden Terminal 문제가 발생할 수 있다. 이 논문에서는 Multirate를 지원하는 애드 홀드 무선 망에서의 Hidden Terminal 문제를 분석하고 분석의 수치결과를 제시한다. 또한, Hidden Terminal 문제를 해결하기 위한 새로운 방안을 제안한다.

1. 서 론

IEEE 802.11a, 802.11b MAC 표준은 물리계층에서 Multirate 기능을 제공한다 [1]. 채널 상황에 따라 signal-to-noise ratio (SNR) 값이 각각의 Modulation 기법에 따른 Threshold보다 충분히 크다면, 높은 Data Rate로 전송을 할 수 있다. 이와 같이 802.11a에서는 6, 9, 12, 18, ..., 54 Mbps를 802.11b에서는 1, 2, 5.5, 11 Mbps를 지원하고 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.11b를 기반으로 한 애드 홀드 망을 고려한다.

최근에는 애드 홀드 망에서 채널 상황에 맞는 Data Rate를 이용하기 위한 다양한 Auto Rate Adaptation 알고리즘들이 제안되었다 [2, 3]. Auto Rate Fallback (ARF) [2]은 처음으로 제품에 상용화 된 방안이다. ARF는 연속적으로 전송이 성공하면 Data Rate를 올리고, 실패하면 Data Rate를 낮추는 알고리즘이다. Receiver Based Auto Rate (RBAR) [3]에서는 수신 노드는 송신 노드가 보낸 request-to-send (RTS) 패킷을 받고 채널 상황을 분석하여 clear-to-send (CTS) 패킷에 적절한 Data Rate를 적어서 보낸다. 그러면 송신 노드는 수신 노드의 채널 상황을 가장 정확하게 알 수 있으므로,

정확하게 Multirate를 조절한다.

Data Rate를 조절 함으로써 높은 Throughput을 얻을 수 있지만, 기존의 RTS/CTS를 사용한 Hidden Terminal을 제거하기가 더욱 어렵게 되었다. K. Xu et al의 논문 [4]에서 단일 Data Rate를 사용하는 경우에도 기존의 RTS/CTS 방식이 모든 Hidden Terminal 문제를 제거하지 못한다는 것을 제시하였다. 이런 Hidden Terminal 문제는 Multirate를 지원하는 애드 홀드 망에서 더욱 심각하게 된다. 높은 Data Rate로 통신을 할 경우 높은 SNR threshold가 요구되기 때문이다. 본 논문에서는 이런 현상을 Hidden Terminal 문제라고 정의 한다. 따라서 이 새로운 Hidden Terminal 문제를 분석하고 그에 대한 해결방안을 제시해 보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 논문을 위한 기본 배경으로 기존에 알려진 Hidden Terminal 문제에 대해 알아보고, 3장에서는 논문에서 제안하는 Hidden Terminal 문제를 모델링하고 분석한다. 이어서 4장에서는 분석한 결과를 토대로 해결방안을 제시하고 5장에서 결론을 끝으로 논문을 마친다.

2. Hidden Terminal 문제

그림 1 (a)을 보면, 노드 A가 노드 B에게 전송을 하고 있을 때, 노드 D는 노드 A의 전송을 감지 할 수 없으므로 노드 D는 다른 노드에게 전송을 시도할 수 있다. 노드 D의 전송은 노드 B의 진행중인 전송을 방해할 수 있으므로 Hidden Terminal 문제가 일어나게 된다. IEEE 802.11에서는 이런 Hidden Terminal 문제를 막기 위해 RTS/CTS 방법을 사용한다. 노드 A가 노드 B에게 RTS 패킷을 보내면 노드 C는 노드 A의 전송을 알고 전송을 RTS에서 알려진 시간만큼 자신의 NAV값을 정해 전송을 시도 하지 않는다. 그리고 노드 B는 RTS 패킷을 제대로 받았으면, CTS 패킷을 전송한다. 이것에 의해 노드 D도 역시 NAV값을 정해 노드 A와 B가 전송을 하는 동안 방해할 하지 않는다. 그래서 노드 A는 RTS 패킷을 보내고 CTS를 받은 후 노드 B에게 안전하게 전송을 할 수 있게 된다.

IEEE 802.11 표준에서는 전송할 데이터의 크기가 RTS/CTS threshold보다 클 경우에만 선택적으로 RTS/CTS방법을 사용하도록 하고 있다. WLAN의 경우에는 Hidden Terminal 문제가 자주 일어나지 않기 때문에 RTS/CTS를 쓰는 것이 Overhead가 되기 때문이다. 하지만 Multi-hop 애드 혹 망에서는 Hidden Terminal 문제가 심하기 때문에 전송할 데이터의 크기에 관계없이 RTS/CTS 방법을 항상 사용한다

그러나 RTS/CTS 방법을 사용하여 노드 A와 B의 Neighboring 노드들이 전송을 지연시키더라도, Hidden Terminal 문제가 완전히 제거되지는 않는다. 그림 1 (b)에서 노드 X는 노드 A와 노드 B의 RTS/CTS를 모두 듣지 못하여 전송을 할 수 있는 노드이다. 하지만 노드 X의 전송이 노드 B의 수신을 방해할 가능성은 충분히 있게 된다. 노드 B에서는 수신 신호의 SNR이 노드 X의 전송으로 최소 한계보다 작아지게 된다면 수신을 할 수 없게 되기 때문이다. RTS/CTS 범위 밖의 노드이기 때문에 전송을 방해할 확률이 적지만, 노드 A와 노드 B의 거리가 멀수록 영향을 받기가 쉬워진다. 그리고 Multirate를 고려한다면, 높은 Data Rate로 전송을 할 경우 더욱 영향을 많이 받게 될 것이다. 이 Hidden Terminal 문제에 대해 다음 장에서 자세히 알아보겠다.

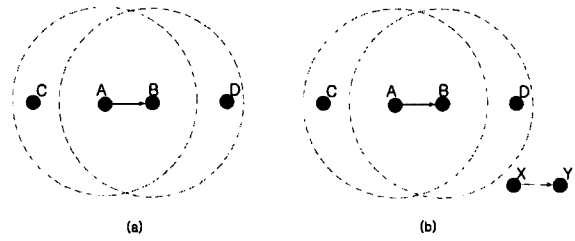


그림 1

3. 분석

이번 장에서는 Hidden Terminal 문제를 수학적으로 분석해 본다. 노드 A와 노드 B는 거리 $D(m)$ 떨어져 있다. 그리고 전송은 항상 최대 파워로 하고, RTS/CTS 전송에는 Base Rate (1Mbps, BPSK)를 사용하기로 한다. 그림 1 (b)에서의 점선은 Base Rate로 전송하였을 때의 전송 범위를 나타낸다. 송신 노드 B에서의 받는 신호의 파워는 다음과 같이 모델링 할 수 있다 [5].

$$P_r = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{D^4} \quad (1)$$

여기서 P_t 는 노드 A에서의 전송 파워이고, G_t , G_r , h_t 그리고 h_r 은 각각 송신 노드와 수신 노드의 안테나 Gain과 안테나의 높이를 나타낸다. 간소화를 위해 애드 혹 망의 채널 상황이 균일하다고 가정하면, 모든 노드들의 수신 파워는 다음과 같이 거리에만 의존하게 된다.

$$P_r = \frac{C}{D^4}, \quad C = P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2 \quad (2)$$

Data Rate를 조절하는 RBAR 알고리즘에서는 송신 노드가 보낸 RTS 패킷을 수신 노드가 받아 RTS 패킷의 물리계층 분석을 통해 채널 상태를 측정할 수 있다. 채널 상태는 SNR로 나타내 진다. 수신 노드에서는 현재 채널 상태가 허용하는 가장 높은 Data Rate를 선택하여 CTS 패킷에 정보를 실어서 보내게 된다. 이 때 채널 상태 SNR이 n Mbps의 Data Rate로 보낼 수 있는 SNR Threshold인 SNR_n 보다 크다면 수신 노드 B는 n Mbps의 Data Rate로 결정할 수 있다.

$$\frac{C/D^4}{\eta} \geq SNR_n \quad (3)$$

여기서 η 는 SNR 정의에서 알 수 있듯이 Noise 파워를 나타낸다.

이제 Hidden Terminal이 어떻게 영향을 미치는지

분석해 본다. 무한히 넓은 2차원의 애드 혹 망에서 모든 노드들은 확률적으로 균일하게 분포한다고 가정하자. 그림 2에서 색칠된 부분은 수신 노드 B의 Interference Range를 나타낸다. 수신 노드 B와 Hidden Terminal 노드 X사이의 거리를 x 라고 하면, 노드 X에 의한 Noise의 평균 $\bar{\eta}_x$ 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\bar{\eta}_x = \int_R \Pr\{L=x\} \eta(L=x) dx = \int_R \frac{2x}{d^2 - R^2} \cdot \frac{C}{x^4} dx = \frac{C}{(dR)^2} \quad (4)$$

여기서, $\Pr\{L=x\}$ 는 노드 X가 거리 x 에 위치할 확률이고 $\eta(L=x)$ 은 노드 X에 의한 Noise이다. 전송 범위당 하나의 노드가 전송을 시도 한다면, Hidden Terminal의 수 N 을 구할 수 있다.

$$N = \frac{(\pi d^2 - \pi R^2)}{\pi R^2} = \frac{d^2 - R^2}{R^2} \quad (5)$$

그래서 Hidden Terminal들의 Noise는 (4)와 (5)의 식의 곱으로 표현할 수 있다.

$$\bar{\eta}_{HT} = \bar{\eta}_x \cdot N = \left(\frac{1}{R^4} - \frac{1}{d^2 R^2} \right) C$$

망 전체의 모든 Hidden Terminal을 고려한다면, $d \rightarrow \infty$

$$\bar{\eta}_{HT} = \frac{C}{R^4} \quad (6)$$

이와 같이 망 전체의 Hidden Terminal에 의한 Noise가 구해진다. 식 (6)을 식 (3)에 대입하여 Hidden Terminal의 효과를 보면, 다음과 같다.

$$\frac{C/D^4}{\bar{\eta}_{Hidden.Term} + \eta} = \frac{D^{-4}}{R^{-4} + \eta/C} \geq SNR_n \quad (7)$$

식 (3)대신에 식 (7)를 사용하여 Data Rate를 선택함으로써 Hidden Terminal 문제를 해결할 수 있는 것이다.

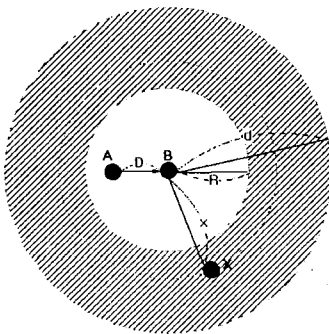


그림 2

4. 해결 방안

모든 노드의 전송 파워를 15.0dBm, 안테나 높이를 1m, 안테나 Gain을 1, Background Noise를 to -91.0dBm이라 하고, SNR Threshold 값들은 Agere Systems Chipset, 802.11b W-LAN card를 사용할 때, (8) 식은 다음과 같은 결과를 보여준다.

$$D \leq [(1.25 \times 10^{-10}) \times SNR_n]^{1/4} \quad (8)$$

그림 3에서 아래 그림은 식 (8)에 의해 얻어진 Data Rate에 따른 전송 거리이고, 위 그림은 식 (3)에 의해 얻어진 전송 거리이다. Hidden Terminal을 해결하기 위해 전송 범위가 줄어들게 된 것이다.

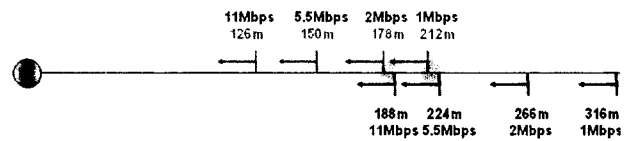


그림 3

5. 결론

이 논문에서는 Multirate 애드 혹 망에서 생기는 Hidden Terminal 문제를 분석하고 이것을 해결하는 방법을 제시하였다.

6. 참고 문헌

- [1] IEEE standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, ISO/IEC 8802-11: 1999(E), Aug. 1999
- [2] A. Kamerman and L. Monteban, " WaveLAN II: A high-performance wireless LAN for the unlicensed band" , Bell Labs Technical Journal, Summer 1997, pp. 118-133.
- [3] G. Holland, N. Vaidya and P. Bahl, " A Rate-Adaptive MAC Protocol for Multi-Hop Wireless Networks" , In Proc. ACM Mobicom' 01.
- [4] Kaixin Xu, Mario Gerla, and Sang Bae, " How Effective is the IEEE 802.11 RTS/CTS Handshake in Ad Hoc Networks?" , In Proc. IEEE Globecom' 02