

무선 애드 혹 네트워크의 최대 전송 용량 분석

Transmission Capacity of Wireless Ad-Hoc Networks

이 구 연* 이 용**
Lee, Goo-Yeon Lee, Yong

Abstract

In this paper, we investigate maximum transmission capacity of wireless ad-hoc networks. In the investigation, we consider a network topology with regularly located nodes. For the topology, we investigate the maximum transmission capacity with RTS/CTS medium access protocol, and next, we study the maximum transmission capacity without the protocol. We see that the results of our study overall follows the result of Gupta and Kumar's research.

키워드 : 전송용량, 무선 네트워크, 애드 혹 네트워크
Keywords : *Transmission capacity, Wireless network, Ad-hoc network*

1. 서론

일반적으로 무선 네트워크는 비용이 저렴하고, 유선 네트워크보다 설치 과정이 간단하며, 토폴로지의 변경을 용이하게 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 최근 이러한 무선 네트워크가 널리 보편화되고, 사용량이 증대됨에 따라, 무선 네트워크의 용량에 대한 관심이 고조되고 있다. 이에 무선 네트워크의 전송 용량에 대한 연구의 필요성이 제기되어 왔으며, 이와 관련된 많은 연구들이 수행되어 왔다.

지금까지 무선 네트워크의 전송 용량에 대한 연

구는 전송용량의 증대에 대한 목적을 가지고 이루어져 왔으며, 이는 무선 네트워크 사업자에게는 주된 관심 분야이기도 하다. 하지만, 무선 네트워크가 제공할 수 있는 최대 전송용량에 대한 연구는 미진한 편이며, 이 같은 최대 전송 용량에 대한 연구결과는 제공된 무선 네트워크에서 수용할 수 있는 트래픽의 상한선을 결정할 때 유용할 것이다. 이처럼 최대 전송용량에 대한 결과가 주어지면, 네트워크 사업자는 네트워크가 적절하게 수용할 수 있는 트래픽을 결정할 수 있을 것이며, 이는 네트워크를 설계할 때 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

이에 본 논문에서는 무선 네트워크가 제공할 수 있는 최대 전송 용량에 대한 연구를 수행한다. 최대 전송 용량 분석에서는 규칙적으로 노드가 배치된 경우의 네트워크를 고려하며, RTS/CTS 매체 제어 방식이 적용될 때의 최대 전송 용량과, RTS/CTS 매체 제어 방식이 적용되지 않을 경우에 대한 최대 전송 용량에 대하여 분석한다.

* 강원대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수, 교신 저자

** 코벨대학교 전기컴퓨터공학과 연구원

본 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업입(No. 2011-0013951)

2. 관련 연구

Gupta와 Kumar는 애드 혹 네트워크에서의 노드 당 전송 용량에 관하여 연구하였다[1]. [1]의 연구에서, 노드들이 동시에 전송한다고 가정할 때, 단일 홉 당 전송되는 총 데이터의 양은 애드 혹 네트워크의 전체 면적에 비례한다고 주장하였다. 즉 노드의 밀도가 일정할 때, n 을 총 노드 수라고 한다면, 단일 홉 전송 용량의 총 합은 $O(n)$ 이 된다. 네트워크의 사이즈가 변하면 소스와 목적지간의 경로에 대한 홉 수가 따라 변하게 되는데, 그 경로에 대한 홉 수는 $O(\sqrt{n})$ 에 비례한다. 그러므로 소스와 목적지사이의 종단간 전송 용량은 $O(n/\sqrt{n})$ 에 비례하며, 따라서 노드당 할당되는 종단간 전송 수율은 $O(1/\sqrt{n})$ 이 됨을 보였다.

Li와 Morris는 정적인 애드 혹 네트워크에서 IEEE 802.11 MAC 기반의 애드 혹 방식의 전달방식이 네트워크 전송 용량에 미치는 영향을 연구하였다[2]. 저자들은 노드당 전송 용량은 네트워크 사이즈가 커짐에 따라 증가하며, 증가 정도는 Gupta와 Kumar의 연구 결과에 부합함을 보였다.

이밖에도 무선 네트워크의 용량을 증대시키기 위해 공간지향성 안테나 또는 멀티 주파수를 이용한 다양한 방식에 대한 연구가 있어왔다[3]~[7]. 예를 들어 Wang과 Liu는 주어진 토폴로지 상에서 네트워크 용량을 향상시키기 위해 멀티 주파수와 멀티 채널을 이용한 프레임워크를 제안한바 있다[3].

또한 무선 네트워크의 용량을 향상시키기 위해 미디어 액세스시에 충돌을 최소화 시키거나, 분산 스케줄링 방식을 이용하여 전송 스케줄을 최적화시키는 방법에 대한 연구도 많이 수행되었다[8][9].

그리고 [10]에서 Bohnert 등은 IEEE 802.16 셀 구조에 다중 홉 방식이 적용될 때 커버리지 확대와 용량 축소와의 관계를 보여주고 있다.

3. 무선 애드 혹 네트워크에서의 최대 전송 용량 분석

본 논문에서는 무선 네트워크에서 노드들이 규칙적으로 배치되어 있는 경우를 고려한다. 인접 노드들간의 거리를 d 라고 하고, 또한 노드들의 전송 거리도 마찬가지로 d 라고 가정한다.

3.1 RTS/CTS 매체 제어 방식 적용 경우

RTS/CTS 매체 제어 방식이 적용되는 경우 송신노드 및 수신노드의 무선 전송 범위 내에서는 다른 노드들은 전송이 금지된다. 최대 전송 용량은 노드의 토폴로지에 따라 달라진다. 본 논문에서는

주어진 영역 내에서의 최대 전송 용량을 구하고자 하므로, 하나의 전송이 차지하는 면적을 먼저 구한다. 그러나 무선 애드 혹 네트워크에서는 많은 전송들이 서로 오버랩 되기 때문에, 이 같은 계산이 용이하지 않다. 그러므로 계산을 가능하게 하기 위하여, 그림 1과 같은 육각구조의 규칙적인 노드 배치를 가정한다. 그림 1에서 각 교차점들은 노드들이 배치되어 있는 지점을 의미한다.

또한 n 을 단위 면적당 노드의 밀도라고 가정하고, d 를 인접노드간의 거리로서 그림에서 볼 수 있는 기본 구성 삼각형의 한 변의 길이가 되며, 이는 노드의 전송거리가 된다. 그림에서 화살표는 송신 노드로부터 수신 노드로의 패킷 전송을 의미한다. 모든 노드들은 이웃 노드들에게 보낼 패킷이 있다고 가정하고, 최대 전송용량을 구하기 위한 가정으로 모든 노드들은 상호 충돌을 회피하고, 최대 전송용량을 구하기 위해 상호 협력하는 알고리즘이 동작하고 있다고 가정한다. 그림 1에서 보다시피 RTS/CTS 매체제어 방식이 적용되고 있어, 송신 노드 및 수신 노드의 전송거리내의 다른 노드들은 전송이 허용되지 않고 있음을 알 수 있다.

그림에서 1개의 전송은 기본 구성 삼각형 10개의 면적을 다른 전송과 겹침이 없이 차지하고 있다. 즉 1개의 기본 구성 삼각형의 면적은 $\frac{\sqrt{3}}{4}d^2$ 이므로 1개의 전송이 점유하고 있는 총 면적은 $\frac{5\sqrt{3}}{2}d^2$ 가 된다. 즉 단위 면적당 최대 전송의 개수는 $\frac{2}{5d^2\sqrt{3}}$ 가 되고, 한 번의 전송으로 d 의 거리를 전진하므로 단위 면적당 패킷이 전진한 거리의 합, $T_{RTS/CTS}$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$T_{RTS/CTS} = \frac{2}{5d^2\sqrt{3}} \cdot d = \frac{2}{5d\sqrt{3}} \quad (1)$$

노드의 밀도 n 은 다음과 같이 구해진다. 그림 2에서 d 는 기본 구성 삼각형의 한 변의 길이가 되고, N 은 가로 축에서의 기본 구성 평행사변형의 개수라고 한다면 그림 2에 나타난 큰 평행사변형의 면적은 $\frac{\sqrt{3}}{2}N^2d^2$ 이 된다. 또한 그 안의 위치한 노드들의 개수는 $(N+1)^2$ 가 되므로 노드 밀도 n 은 다음과 같이 구해질 수 있다.

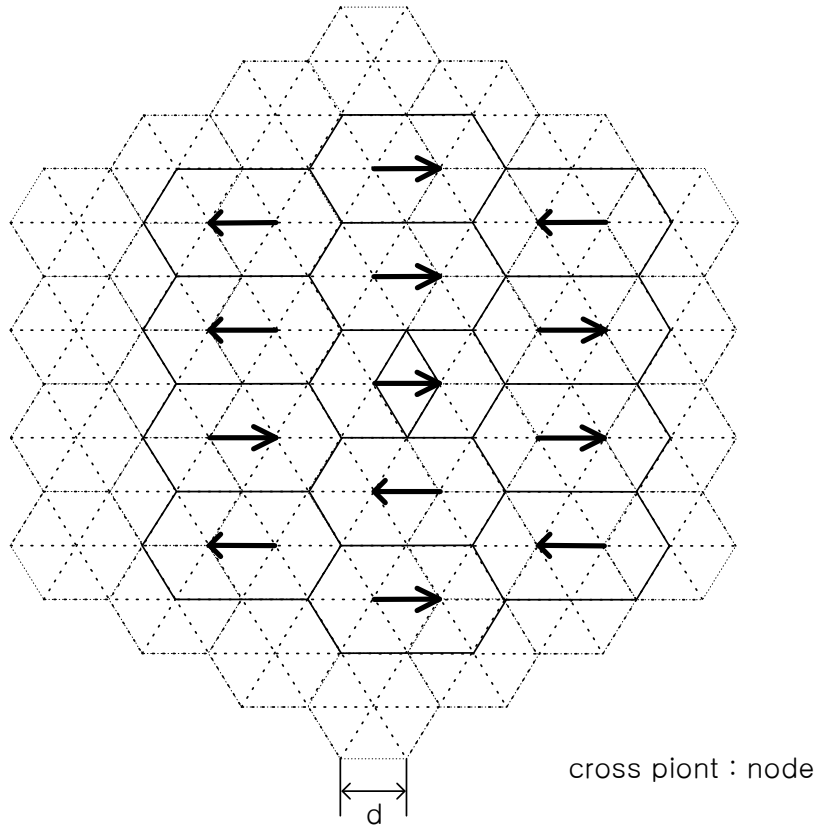


그림 1. 육각 구조의 노드 배치 구조에서의 상호 간섭이 없는 상태에서의 최대 전송
 경우

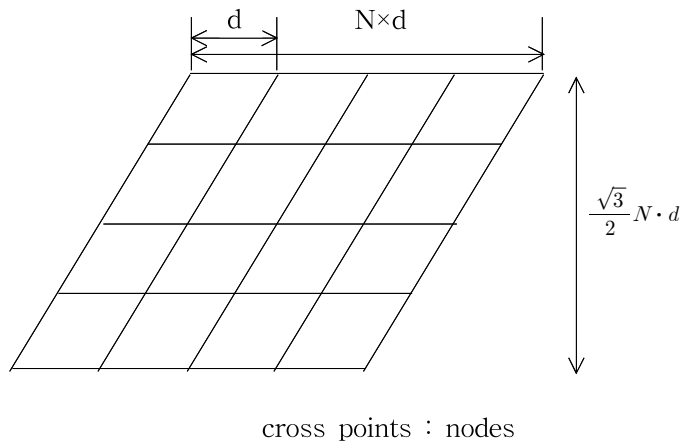


그림 2. 노드 밀도 계산

$$n = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{(N+1)^2}{\frac{\sqrt{3}}{2} N^2 d^2} = \frac{2}{\sqrt{3} d^2} \quad (2)$$

(2)식에서 d 를 n 으로 나타내면

$$d = \sqrt{\frac{2}{n\sqrt{3}}} \quad (3)$$

이 되며, (3) 식을 (1)식에 대입하면 $T_{RTS/CTS}$ 을 구할 수 있다.

$$T_{RTS/CTS} = \frac{1}{5} \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}}} \cdot \sqrt{n} \quad (4)$$

3.2 RTS/CTS 매체 제어 방식 미적용 경우

RTS/CTS 매체제어방식이 적용되지 않는 경우에는 송신 노드와 수신 노드의 무선 전송 범위내의 다른 노드들도, 송신노드와 수신노드 사이의 전송을 방해하지 않는 범위 내에서는 전송을 할 수 있다. 그림 3은 이와 같은 상황에서의 최대 전송을

하는 경우를 나타낸다. 그림에서 화살표는 송신노드와 수신노드사이의 전송을 표시하고, 하얀색을 가진 노드들은 송수신에 참여하지 않는 노드들을 나타낸다.

그림 3에서 굵은 점선으로 둘러싸인 평행사변형을 고려해보자. 이와 같은 평행사변형은 겹침이나, 빠진 부분 없이 계속 반복됨을 알 수 있고, 평행사변형내의 노드들은 24개의 기본 구성 삼각형으로 구성되어 있으며 4개의 최대 가능한 전송을 수행하고 있음을 알 수 있다. 즉 1개의 전송 당 6개의 기본 구성 삼각형의 면적을 점유하고 있는 것과 동일한 상태이다. 6개의 기본 구성 삼각형의 면적

은 $\frac{\sqrt{3}}{4} d^2 \cdot 6 = \frac{3\sqrt{3}}{2} d^2$ 가 되므로 단위 면적당 최대 전송 수는 $\frac{2}{3d^2\sqrt{3}}$ 가 된다. 한 번의 전송으로

d 의 거리를 전진하므로 단위 면적당 패킷이 전진한 거리의 합, $T_{noRTS/CTS}$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$T_{noRTS/CTS} = \frac{2}{3d^2\sqrt{3}} \cdot d = \frac{2}{3d\sqrt{3}} \quad (5)$$

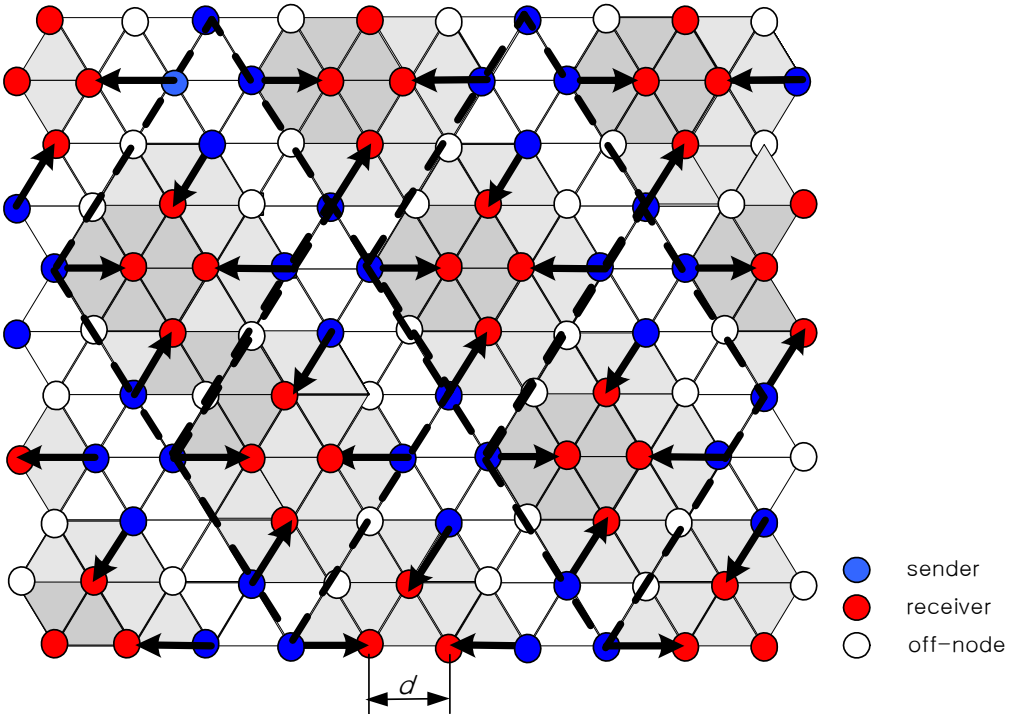


그림 3. 육각 구조의 노드 배치 구조에서의 RTS/CTS 매체 제어방식이 적용되지 않는 상태에서의 최대 전송 경우

(3)을 (5)에 대입하면, 다음의 식을 얻는다.

$$T_{noRTS/CTS} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{2}{\sqrt{3}}} \cdot \sqrt{n} \quad (6)$$

추가적으로 RTS/CTS 매체제어방식을 사용하는 경우와 그렇지 않은 경우에 대하여 최대 전송 용량간의 비율을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{T_{RTS/CTS}}{T_{noRTS/CTS}} = \frac{3}{5} = 60\% \quad (7)$$

4. 결론

전송 용량 문제는 무선 네트워크에서 전통적으로 중요한 연구주제이다. 그러므로 본 논문에서는 무선 애드 혹 네트워크에서의 구현 가능한 최대 전송 용량을 분석하였다. 분석에서 노드들이 규칙적으로 배열되어 있는 토폴로지로서 육각 구조를 가정하였고, 먼저 RTS/CTS 매체 제어 방식이 적용된 경우를 살펴보고, 다음으로 RTS/CTS 방식이 적용되지 않는 경우에 대한 최대 전송용량을 구하였다. 본 논문에서의 결과는 기존의 Gupta와 Kumar의 연구 결과에 부합함을 보였으며, 구체적인 수치를 제공하고 있다는 면에서 가치를 갖는다.

참 고 문 헌

[1] P. Gupta and P. R. Kumar, "The Capacity of Wireless Networks," *IEEE Transactions on Information Theory*, 46(2):388 - 404, March 2000.

[2] Jinyang Li, Charles Blake, Douglas S. J. De Couto, Hu Imm Lee and Robert Morris, "Capacity of Ad Hoc Wireless Networks," *ACM MobiCom'01*, July 16-21, Rome, Italy, pp. 61-69, 2001.

[3] Wei Wang and Xin Liu, "A Framework for Maximum Capacity in Multi-channel Multi-radio Wireless Networks," *Proceedings of IEEE CCNC*, 2006.

[4] A. Fridman, S. Weber, K.R. Dandekar, and M. Kam, "Cross-layer multicommodity capacity expansion on ad hoc wireless networks of cognitive radios," *42nd Annual Conference on CISS 2008*, Princeton, USA, pp.676 - 680, March 2008.

[5] Xi Liuy, Anmol Shethz, Michael Kaminskyx, Konstantina Papagiannakix, Srinivasan Seshany, Peter Steenkistey, "DIRC:

Increasing Indoor Wireless Capacity Using Directional Antennas," *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2009*, Vol. 39, Issue 4, Barcelona, Spain. October 2009.

[6] Chris T. K. Ng and Andrea J. Goldsmith, "Capacity and Cooperation in Wireless Networks," *Information Theory and Applications (ITA) Workshop*, February 6 - 10, La Jolla, CA, 2006.

[7] Barbaros Prevezel and Aysel Safak, "Throughput Improvement of Mobile Multi-hop Wireless Networks," *International Journal of Wireless & Mobile Networks IJWMN*, Vol.2, No.3, pp. 120-139, August 2010.

[8] Michael Dinitz, "Distributed Algorithms for Approximating Wireless Network Capacity," *Proceedings of IEEE INFOCOM 2010*, San Diego, CA, pp. 1 - 9, March 2010..

[9] Michael N. Krishnan, and Avidesh Zakhor, "Throughput Improvement in 802.11 WLANs Using Collision Probability Estimates in Link Adaptation," *2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Sydney, Australia, pp. 1 - 6, April 2010.

[10] Georgios S. Paschos, Petteri Mannersalo and Thomas Michael Bohnert, "Cell Capacity for IEEE 802.16 Coverage Extension," *Proceedings of IEEE CCNC*, 2 Jan 10-12, LasVegas, USA. pp. 933-937, 2008.

[11] Abdallah Bou Saleh, Simone Redana, Jyri H'am'al'ainen, and Bernhard Raaf, "On the Coverage Extension and Capacity Enhancement of Inband Relay Deployments in LTE-Advanced Networks," *Journal of Electrical and Computer Engineering*, Vol. 2010.

[12] Matthias Grossglauser and David N. C. Tse, "Mobility Increases the Capacity of Ad Hoc Wireless Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 10, No. 4, pp. 477-486, Aug. 2001.