

논문 2012-49-9-2

무선 애드 혹 네트워크의 최대 전송 용량 확장 (Transmission Capacity of Wireless Ad-Hoc Networks)

이 용*, 이 구 연**

(Yong Lee and Goo Yeon Lee)

요 약

전송 용량 문제는 무선 네트워크 분야에서의 전통적인 주제로서 네트워크 사업자에게 중요한 관심분야이다. 특히 돌발적인 트래픽의 폭증 시에 이를 대처하기 위한 적절한 전송용량의 확장 문제는 현대 사회에서와 같이 인구의 운집 및 이동이 빈번한 경우에 네트워크 사업자로서 해결해야 하는 주요 이슈중의 하나이다. 이에 본 논문에서는 무선 네트워크의 용량 확장 방법에 관하여 연구한다. 먼저 무선 애드 혹 네트워크에서의 최대 전송 용량에 대하여 분석한다. 노드가 규칙적으로 배치되어 있는 네트워크 토폴로지를 가정하여, RTS/CTS 매체 제어방식을 적용하는 경우와 적용하지 않는 경우에 대한 분석을 수행한다. 다음으로 더미 터미널을 이용한 네트워크 용량 확장 방법을 제안하며, 제안한 방법에 대한 용량 향상 정도를 알아보기 위해 시뮬레이션을 통한 분석을 수행한다. 분석 결과로부터, 본 논문에서 제안한 방법이 일시적인 용량 확장 방법으로 상당히 효과적임을 알 수 있다.

Abstract

Capacity is a traditional issue in wireless network and is closely related to the service quality of network providers, therefore it is a main interest of them. Especially, when a big match of sport game or a special event are held in a place and a large crowd temporarily gathers, a need of big transmission capacity greater than usual usage in the area is required, where network providers need a scheme to temporarily expand network capacity in any specified area. This paper focuses on temporary expansion of wireless network capacity for such situations. In this paper, we first 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 then we study the maximum transmission capacity without the protocol. Next, we propose a scheme to expand network capacity and analyze the performance of the proposed scheme. From the results of analysis, we see that our proposed scheme is effective for temporary expansion of wireless network capacity.

Keywords : 전송용량, 무선 네트워크, 애드 혹 네트워크, 일시적인 데이터 폭증

I. 서 론

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 연구는 전송용량의 증대 목적을 가지고 이루어져 왔으며, 이는 무선 네트워크 사업자에게는 주된 관심 분야이기도 하다. 하지만, 무선 네트워크가 제공할 수 있는 최대 전송

* 정회원, 코넬대학교 연구원
(Dept. of ECE, Cornell University)
** 정회원-교신저자, 강원대학교 컴퓨터학부
(Dept. of Computer Eng. Kangwon National University)
※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2012-0004625)
접수일자: 2012년1월12일, 수정완료일: 2012년9월19일

용량에 대한 연구 및 돌발적인 트래픽 폭증에 대비하는 일시적인 전송 용량 확장방법에 대한 연구는 미진한 편이다.

무선 네트워크가 제공할 수 있는 최대 전송 용량에 대한 연구결과는 제공된 무선 네트워크에서 수용할 수 있는 트래픽의 상한선을 결정할 때 유용하며, 이같은 최대 전송용량에 대한 결과가 주어지면, 네트워크 사업자는 네트워크가 적절하게 수용할 수 있는 트래픽을 결정할 수 있으며, 이는 네트워크를 설계할 때 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 또한 돌발적인 트래픽 폭증에 대비하는 일시적인 전송 용량 확장 방법에 대한 연구는 현대 사회에서와 같이 인구의 운집 및 이동이 빈번한 경우에 네트워크 사업자로서 해결해야 하는 주요 이슈 중의 하나이다.

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

다음으로 돌발적이고 일시적인 트래픽 폭증에 대한 대처 방법을 고려한다. 트래픽 폭증이 일시적이므로 지속적인 전송 용량 확장 설비를 하는 것은 경제적으로 비효율적이므로, 저렴하고, 일시적인 용량 확장 방법을 구현하는 것이 바람직하다. 그러므로 본 논문에서는 더미 터미널을 이용한 일시적인 네트워크 용량 확장 방법을 제안한다. 더미 터미널은 트래픽을 생성하지 않으며 오로지 인접 노드로부터의 패킷을 전달만 하는 기능을 가지고 있는 노드를 의미한다. 무선 애드 혹 네트워크에 많은 더미 터미널을 추가로 설치하면, 네트워크의 노드들의 밀도가 커지며 따라서 노드들의 전송 레인지는 줄어들게 된다. 이러한 줄어든 전송 레인지는 네트워크에서 수행할 수 있는 패킷 전송의 수를 증가시키게 되며, 이는 네트워크의 전송 용량의 확장으로 이어지게 된다. 설치된 더미 터미널은 배터리의 수명 한도 내에서 동작하며, 배터리의 수명이 다되면 더 이상 동작하지 않으며 폐기된다. 또한 본 논문에서는 제안한 방법에 대한 용량 확장 정도에 대해 시뮬레이션을 통한 분석을 수행한다.

II. 관련 연구

Gupta와 Kumar는 애드 혹 네트워크에서의 노드당 전송 용량에 관하여 연구하였다^[1]. [1]의 연구에서, 모든 노드들이 전송할 패킷이 있다고 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 중단 간 전송 용량은 $O(n/\sqrt{n})$ 에 비례하며, 따라서 노드 당 할당되는 중단 간 전송 수율은 $O(1/\sqrt{n})$ 이 됨을 보였다.

Li 와 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 Gupta 와 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 Wang 과 Liu는 주어진 토폴로지 상에서 네트워크 용량을 향상시키기 위해 멀티 주파수와 멀티 채널을 이용한 프레임워크를 제안한바있다^[3].

또한 무선 네트워크의 용량을 향상시키기 위해 미디엄 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.

III. 무선 애드 혹 네트워크에서의 최대 전송 용량 분석

본 절에서는 무선 애드 혹 네트워크에서의 최대 전송 용량 분석하기 위해서 노드들이 규칙적으로 배치되어 있는 분석 모델을 고려한다. 분석 모델에서 인접 노드들간의 거리를 d 라고 하고, 또한 노드들의 전송거리도

마찬가지로 d 라고 가정한다.

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 애드혹 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 전송 거리가 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

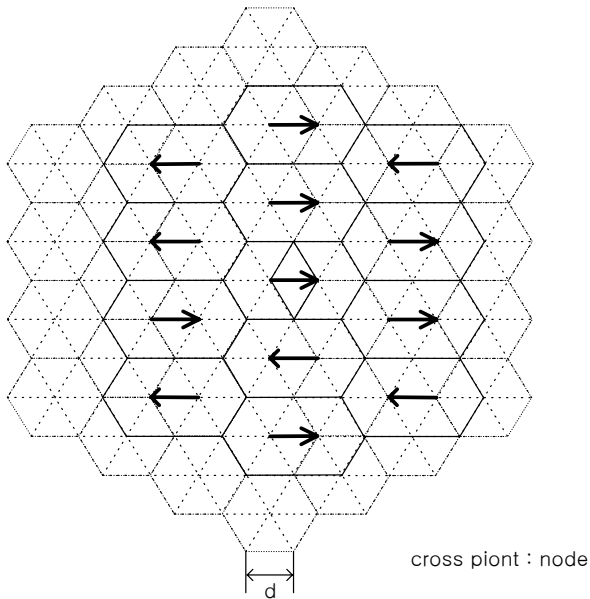


그림 1. 육각 구조의 노드 배치에서의 최대 전송
Fig. 1. Maximum transmissions without interference in hexagonal cell structure of the topology with RTS/CTS dialog.

알고리즘이 동작하고 있다고 가정한다. 그림 1에서 보 다시와 RTS/CTS 매체제어 방식이 적용되고 있어, 송신 노드 및 수신 노드의 전송거리내의 다른 노드들은 전송이 허용되지 않고 있음을 알 수 있다.

그림 1에서 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.

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

(2)식에서 d 를 n 으로 나타내면

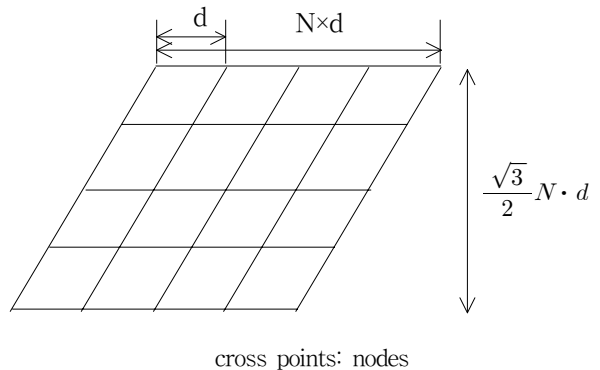


그림 2. 노드 밀도 계산
Fig. 2. Calculation of node density.

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

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

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

위의 식으로부터, 우리는 IV 절에서 다룰 더미 터미널의 추가 효과에 대하여 미리 짐작해 볼 수 있다. 육각 구조를 유지시키면서 더미 터미널을 추가하여 노드 밀도를 n 에서 $4n$ 으로 증가시키게 되면 인접 노드간의 거리는 d 에서 $d/2$ 로 줄어들게 되고, 또한 노드의 전송 레인지도 $d/2$ 이 된다. 그러면 단위 면적당 최대 전송의 수는 $\frac{8}{5d^2\sqrt{3}}$ 이 되고, 단위 면적당 전송으로 인해 전진하는 거리의 합은 $\frac{4}{5d\sqrt{3}}$ 가 되며, 이는 전송 용량이 2배가 됨을 의미한다. 이와 같은 결과는 Gupta와 Kumar의 연구^[1]에 부응하는 것으로, 네트워크 내의 트래픽이 추가된 더미 터미널로 인해 새로 만들어진 경로를 통해 전달됨으로서 가능해진 결과이다.

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

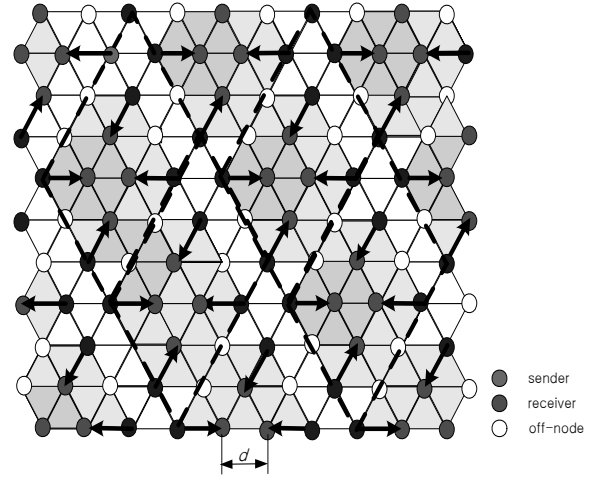


그림 3. 육각 구조의 노드 배치 구조에서의 RTS/CTS 매체 제어방식이 적용되지 않는 상태에서의 최대 전송 경우

Fig. 3. Maximum transmissions in hexagonal structure in the topology without RTS/CTS dialog.

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

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

(3)을 (5)에 대입하면, 다음의 식을 얻는다.

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

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

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

즉 RTS/CTS 매체제어 방식을 사용하는 경우는 그렇지 않은 경우보다 최대 전송용량측면에서는 60%만 구현이 가능하다. 하지만 RTS/CTS 매체제어 방식을 사용하지 않는 경우를 위한 충돌 방지 및 전송 순서 할당 알고리즘은 RTS/CTS 매체제어 방식을 사용하는 경우보다 훨씬 복잡함에 유의해야 한다.

3. 모의 실험

그림 4는 위의 두 가지 경우에 대한 모의 실험을 수행한 그래프로 노드의 밀도(n)에 대한 제공근을 변화시

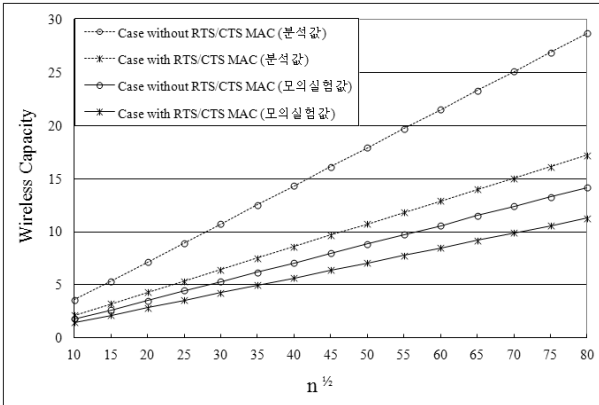


그림 4. \sqrt{n} 가 변함에 따른 전송 용량의 변화
Fig. 4. Wireless Capacity as \sqrt{n} varies.

킴에 따라 얻어진 네트워크의 전송 용량을 나타내었다. 또한 그래프에는 (4)식과 (6)식의 분석 값을 같이 포함 비교하였다. 그림 4의 모의 실험 환경은 다음과 같다.

- 모의 실험 영역으로 가로, 세로의 길이를 단위 길이가 1인 사각형을 고려한다.
- 노드들은 모의 실험 영역안에서 랜덤하게 배치된다.
- 노드의 전송 레인지(d)는 노드의 밀도(n)에 따라 (3)식에 따라 설정한다.
- 모든 노드들은 보낼 데이터가 있다고 가정하고, 노드의 전송 레인지안의 노드들 중 랜덤하게 패킷의 수신 노드를 결정한다.

(4) 식과 (6)식의 결과 값은 노드들 간의 전송 순서에 대한 상호 협력 알고리즘이 잘 동작한다는 가정하에 최대 전송 용량을 구한 값이므로, 네트워크에서 제공 가능한 전송 용량의 상한 값으로의 역할을 한다. 반면 그림 4의 모의 실험값은 실제의 매체 제어방식이 적용된 상태에서의 전송용량이므로 현실적으로 얻을 수 있는 값이 된다.

IV. 더미 터미널을 이용한 무선 애드 혹 네트워크에서의 전송 용량 향상

무선 애드 혹 네트워크에서의 용량은 일반적으로 물리적인 채널의 용량보다도 훨씬 적게 구현된다. 이는 매체 공유 방식 및 상호간의 신호 간섭등의 영향 때문이다. 본 논문에서는 노드들 간의 간섭을 줄이고 전송

용량을 증대시키기 위한 방법으로 더미 터미널의 추가 설치 방법을 제안한다. 더미 터미널은 패킷을 자체적으로 생성하지 않으며 단지 인접 노드들 간에 패킷을 릴레이하는 기능만 주어진다. 더미 터미널이 많이 추가되면 노드간의 거리가 줄어들고 이에 따라 전송 레인지도 같이 줄게 된다. 결과로 보다 많은 패킷 전송이 가능해지며, 이는 전송 용량의 확대로 이어지게 된다. 추가로 설치된 더미 터미널은 배터리로 구동되며, 저렴하게 구현된다. 이렇게 설치된 더미 터미널은 배터리 수명이 다되면 폐기한다. 즉 일시적인 시간동안 네트워크의 전송 용량을 증대하는 목적으로 사용된다. 그림 5는 이렇게 추가로 설치된 더미 터미널의 수와 종단간 전송 수율과의 관계를 시뮬레이션을 통하여 분석한 결과이다. 그림 5의 그래프에 사용된 모의 실험 환경은 다음과 같다.

- 모의 실험 영역으로 가로, 세로의 길이를 단위 길이가 1인 사각형을 고려한다.
- 원노드들은 패킷을 생성하고 최종 수신하는 노드들로서 네트워크 영역안에서 랜덤하게 배치된다.
- 추가된 더미 터미널도 역시 네트워크 영역안에서 랜덤하게 배치된다.
- 노드들의 분포가 균일하지 않게 분포되므로 노드들(더미 터미널 포함)의 전송 레인지는 노드별로 다르게 설정한다. 노드들 간에 충분한 연결성을 보장하기 위해서 각 노드의 전송 레인지는 해당 노드를 중심으로 총 노드의 1%를 포함하는 노드가 포함되도록 노드별로 설정한다.
- 패킷의 경로를 구성하는 송신 노드와 목적지 노드는 원 노드들중에서 랜덤하게 선택한다.
- 모든 원 노드들은 보낼 데이터가 있다고 가정하고, 더미 터미널을 포함한 모든 노드들은 패킷을 주위의 전송 레인지안의 노드들 중 목적지 노드 방향으로 최단 거리에 위한 노드로 전송한다.
- 종단간 전송 수율은 단위 시간당 네트워크 내에서 송신 노드로부터 목적지노드로 전달되는 패킷의 총량으로서 나타낸다.

그림 5에서 더미터미널의 수가 0% 일 때는 네트워크에는 원 노드들만 있는 경우이다. 원 노드의 수가 50, 100, 500으로 커질 때 종단간 전송 수율이 커지는 것을

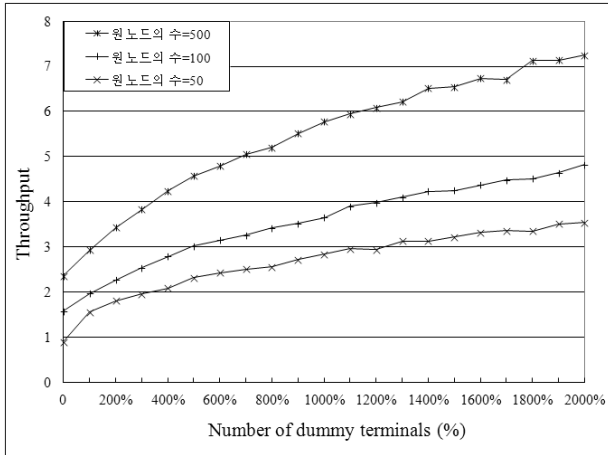


그림 5. 더미 터미널을 추가함에 따라 원 노드들간의 전송 수율의 향상정도

Fig. 5. Throughput improvement according to the number of adding dummy nodes when the number of original nodes is 50, 100 and 500.

알 수 있다. 이는 Gupta와 Kumar의 논문^[1]에서의 중단 간 전송 수율이 $O(\sqrt{n})$ 에 비례한다는 연구결과에 부합한다. 원 노드들만 있을 때의 중단간 전송 수율은 더미 터미널은 추가함으로써 향상됨을 알 수 있다. 예를 들어 더미 터미널의 수가 원 노드의 500%일때, 중단간 전송 수율은 원 노드의 수가 50일때 2.6배, 100일때 1.9배, 500일때 1.94배가 되었고, 더미터미널의 수가 원 노드의 1000%일때, 중단간 전송 수율은 원 노드의 수가 50일때 3.1배, 100일때 2.3배, 500일때 2.45배가 되었음을 알 수 있다. 즉 이와 같이 적정량의 더미 터미널을 추가함으로써 네트워크의 중단간 수율을 향상할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

전송 용량 문제는 무선 네트워크에서 전통적으로 중요한 연구주제이다. 본 논문에서는 먼저 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. 다음으로 이와 같은 결과를 기반으로 무선 애드 혹 네트워크의 용량을 증대시키기 위해 더미 터미널을 추가하는 방법을 제안하였다. 제안된 방

법의 성능향상을 확인하기 위하여 모의 실험을 실시하였으며, 모의 실험 결과, 상당한 중단간 전송 수율 향상을 확인 할 수 있었다.

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, 2001, Rome, Italy, pp. 61-69
- [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, March 2008 Princeton, USA, pp.676 - 680
- [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, 2006, La Jolla, CA.
- [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, August 2010. pp. 120-139
- [8] Michael Dinitz, "Distributed Algorithms for Approximating Wireless Network Capacity," Proceedings of IEEE INFOCOM 2010, March 2010, San Diego, CA, pp. 1 - 9
- [9] Michael N. Krishnan, and Avideh Zakhor, "Throughput Improvement in 802.11 WLANs Using Collision Probability Estimates in Link Adaptation," 2010 IEEE Wireless Communications and Networking Conference

- (WCNC), Sydney, Australia, April 2010, pp. 1 - 6
- [10] Georgios S. Paschos, Petteri Mannersalo and Thomas Michael Bohnert, "Cell Capacity for IEEE 802.16 Coverage Extension," Proceedings of IEEE CCNC, 2008. Jan 10-12, LasVegas, USA. pp. 933-937
- [11] Abdallah Bou Saleh, Simone Redana, Jyri Hämäläinen, 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 Aug. 2001. pp. 477-486

저 자 소 개



이 용(정회원)
1997년 연세대학교 컴퓨터과학과 (석사)
2001년 연세대학교 컴퓨터과학과 (박사)
1993년~1994년 디지콤정보통신 연구소

2001년~2003년 한국정보보호진흥원 선임연구원
2004년~2005년 코벨대학교 방문연구원
2005년~2007년 삼성전자 통신연구소 책임연구원
2008년~2010년 충주대학교 전자통신공학전공 교수
2009년~현재 코벨대학교 방문연구원
<주관심분야 : Mobile and Wireless Security, Ubiquitous Sensor Network, Wireless Mesh Network, Mobile Ad hoc network>



이 구 연(정회원)-교신저자
1986년 서울대학교 전자공학과 (학사)
1988년 KAIST 전기및전자공학과 (석사)
1993년 KAIST 전기및전자공학과 (박사)

1993년~1996년 디지콤정보통신연구소
1996년 삼성전자
1997년~현재 강원대학교 컴퓨터학부 교수
<주관심분야 : 이동통신, 네트워크보안, 인터넷, 초고속통신망, ad-hoc 네트워크>