

# 무선 메쉬 네트워크에서 적응적 경쟁 윈도우를 이용한 TCP Fairness 개선 방안

## TCP Fairness Improvement Scheme using Adaptive Contention Window in Wireless Mesh Networks

<b>장인식**</b> In Sik Jang	<b>민석홍*</b> Seok Hong Min	<b>김봉규***</b> Bong Gyu Kim	<b>최형석***</b> Hyung Suk Choi
<b>이종성***</b> Jong Sung Lee	<b>김병철*</b> Byung Chul Kim	<b>이재용*</b> Jae Yong Lee	

### ABSTRACT

Wireless Mesh Networks(WMNs) is generally composed of radio nodes in the mesh topology. WMNs consists of mesh client, mesh router and gateway connected to a wired network. Each client and router relay messages to the gateway for communication. WMNs is widely used recently in many areas can provide extended coverage based on multi-hop communication and ubiquitous communication at any time and any location. However the competition and collision between each node to transmit data is inevitable when the same channel is used for transmission. The transmission opportunities and the throughput of nodes located far from gateway decrease more if the communication channel is accessed based on competitive CSMA/CA scheme using DCF(Distributed Coordination Function) provided by IEEE 802.11 MAC. In this paper, we improve the performance of the TCP fairness and throughput of the nodes with more than 2 hops by applying various algorithms for controlling contention window values. Also, we evaluate the performance using ns-2 simulator, According to the results, proposed scheme can enhance the fairness characteristic of each node irrespective of data to the gateway.

Keywords : WMNs(무선 메쉬 네트워크), DCF(분산 조정 함수), Multi-hop Communications(다중 홉 통신), Contention Window(경쟁 윈도우)

---

† 2013년 3월 4일 접수~2013년 5월 17일 게재승인

\* 충남대학교(Chungnam National University)

\*\* 한국항공우주연구원(KARI)

\*\*\* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 이재용(jyl@cnu.ac.kr)

### 1. 서론

무선 메쉬 네트워크는 무선 노드가 메쉬 구조로 구성된 통신 네트워크이다. 무선 메쉬 네트워크는 메쉬 클라이언트, 메쉬 라우터와 유선망과 연결된 게이트웨

이로 이루어져 있다. 메쉬 클라이언트는 노트북이나 PDA 등과 같은 무선 장치가 될 수 있으며 게이트웨이로 트래픽을 전송하게 된다. 무선 메쉬 네트워크에서는 각각의 노드가 게이트로의 트래픽 중계를 통하여 통신을 하게 되는데, 무선 장치를 사용하는 사용자에게 시간과 장소에 국한되지 않는 통신을 제공하는데 장점을 가진다. 또한 저 비용으로 빠르게 네트워크를 구축할 수 있는 장점으로 인해 실제 네트워크 구축에 응용되고 있는 추세이다. 하지만 무선망에서는 동일한 채널을 사용하게 되면 각 노드 사이의 경쟁과 충돌은 불가피하다. 따라서 여러 개의 노드들이 동시에 전송하는 상황이 발생되며 충돌이 일어나 트래픽을 전송할 수 없게 되며, 이는 무선망에서의 단점이 된다. IEEE 802.11의 기본 MAC 알고리즘에서는 이러한 충돌을 피하고 데이터를 액세스하기 위한 방법으로 DCF(Distributed Coordination Function)라는 메커니즘을 제공하는데, CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 기반으로 여러 노드들이 경쟁을 통하여 채널을 사용하게 된다. 노드들은 항상 네트워크의 반송파를 감지하고 있으며, 네트워크에 전송 중인 트래픽이 없을 경우 정해진 만큼의 시간을 기다렸다가 데이터 전송을 시작한다. 노드들 간의 우선순위를 정하고, 이를 재설정하는데 여러 가지 방법이 사용되며, 충돌이 일어났을 경우 충돌 감지 절차가 수행된다<sup>[12]</sup>. 또한, CSMA/CA는 각 노드 간의 충돌을 줄이기 위해서 random back-off time을 사용하고 있다<sup>[13]</sup>. Random back-off time은 각 노드의 최소 Contention Window(CW<sub>min</sub>)의 값과 최대 Contention Window(CW<sub>max</sub>) 값 사이의 값을 가지게 되는데 데이터 전송이 실패하면 맨처음 CW<sub>min</sub> 범위 안에서의 임의의 CW 값을 선택하여 선택한 값과 slot time의 곱으로 random back-off time을 계산하게 된다. 각각의 노드들은 선택된 임의의 back-off time을 하나씩 줄이면서 값이 가장 먼저 '0'이 되는 스테이션이 채널에 액세스할 수 있다. 만약 동시에 여러 노드에서 back-off time이 '0'이 되어 다시 충돌이 발생하게 되면 각 노드들은 CW 값을 2배로 증가 시킨 후에 앞서 설명한 방법으로 새로운 back-off time을 선택하게 되며, 전송이 성공했을 경우에는 노드의 CW 값은 CW<sub>min</sub> 값을 가지게 된다.

위와 같은 방법으로 각 노드들은 채널에 액세스하게 되지만 게이트웨이로부터 거리가 먼 노드는 상대적으로 가까운 노드에 비해 전송 기회 및 throughput의 저하가 발생하는 불균형이 나타난다. 예를 들어 2-hop

이상의 노드에서 전송 시 숨은 단말(hidden terminal)인 게이트웨이의 ACK와 전송하는 데이터가 충돌이 발생하여 exponential back-off가 수행되고 1-hop 노드는 데이터 전송 성공 후 최소 CW로 다시 설정되어 전송 기회가 늘어나는 현상이 반복되기 때문이다. 따라서 2-hop 이상의 노드에서는 기아(starvation) 현상이 발생한다.

다음 Fig. 1은 WMN에서 노드 3개로 이루어진 기본 토폴로지를 보여준다.

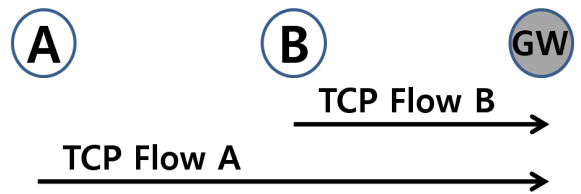


Fig. 1. The Basic topology in wireless mesh network

노드 B는 게이트웨이 노드(GW 노드)와 1-hop 떨어진 노드이고, 노드 A는 게이트웨이 노드와 2-hop 떨어진 노드이다. 노드 A와 GW 노드는 서로 숨은 단말 관계이다. 즉, 노드 A가 노드 B로 데이터를 보내면 노드 GW는 노드 A가 데이터를 보내는 것을 인지하지 못한다. 따라서 동시에 데이터를 보낼 경우 충돌이 일어나게 된다. 또한 무선 메쉬 네트워크의 특성상 전송 범위(transmission range) 밖의 노드 A와 GW 노드는 직접 데이터를 보내지 못하고 노드 B가 relay를 하며 통신을 하게 된다.

한편, 노드 B의 전송이 성공하게 되면 GW 노드에서 ACK를 보내게 된다. 앞서 말한 바와 같이 노드 A는 GW 노드가 데이터를 보내는 것을 인지하지 못하기 때문에 GW 노드가 보내는 ACK와 노드 A에서의 데이터가 충돌이 일어나게 되어 노드 A는 CW 값이 두 배로 늘어나게 된다. 이러한 현상이 지속될 경우 노드 A에서의 CW 값이 점점 커짐에 따라 1-hop 노드에 비해 전송할 기회가 줄어들게 된다. 즉 CW 값이 다른 노드들에 비해 높아진다. 이로 인해 노드 A는 데이터를 보낼 수 있는 기회가 줄어들기 때문에 노드 B에 대한 unfairness가 생기게 된다. Unfairness가 점점 심해짐에 따라 앞서 말한 노드 A에서의 기아 현상이 발생하게 된다.

본 논문의 2장에서 2-hop 이상의 노드에서 TCP fairness를 개선하는 것과 관련된 이전 연구를 기술하

고, 3장에서 본 논문에서 제안한 무선 메쉬 네트워크에서의 TCP fairness 및 throughput 개선 알고리즘을 설명하며, 4장에서는 NS-2 시뮬레이터<sup>[4]</sup>를 이용한 제안 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하고 이를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구에 대해 설명하며 본 논문을 마무리한다.

## 2. 관련 연구

중요한 정보를 전송해야 하는 경우 2-hop 이상의 노드에서 심각한 성능저하가 발생되면 큰 문제를 야기시킬 수 있고, 2-hop 이상의 다중 노드를 통하여 데이터를 전송하는 경우에 노드에서는 일정한 대역폭 (bandwidth)을 보장해 주어야 한다. 무선 메쉬 네트워크에서 2-hop 이상의 노드와 게이트웨이로 부터 1-hop 노드의 unfairness 문제는 아주 중요한 이슈이며 허용된 자원을 사용자에게 공평하게 할당하는 것이 무선 메쉬 네트워크에서의 중요한 사항이다. 따라서 2-hop 이상의 노드에서 발생하는 기아 현상을 해결하고 허용된 자원을 낭비 없이 사용하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 관련연구<sup>[5,6]</sup>에서는 무선 메쉬 네트워크의 분석 및 fairness 향상에 초점을 맞춘 연구가 이루어졌고, 관련 연구<sup>[7,8]</sup>에서는 무선 메쉬 네트워크에서 MAC프로토콜과 연계하여 TCP fairness 향상을 위한 연구가 이루어졌다. 또한, 관련연구<sup>[9]</sup>에서는 TCP unfairness에 따른 기아 현상을 개선하기 위하여 1-hop 노드에서의 최소  $CW(CW_{min})$  값을 2-hop 노드에서의  $CW$  값 보다 크게 설정하고 2-hop 노드의 전송 기회를 증가시킴으로써 1-hop 노드와 2-hop 노드의 TCP(Transmission Control Protocol) fairness의 Fig. 2와 같이 수학적 모델, 시뮬레이션 및 실제 네트워크에서의 실험 결과의 비교를 통하여 2-hop(A→GW)에서의 전송률과 1-hop(B→GW)에서의 전송률이 확연한 차이를 보임으로써 개선 효과가 나타남을 보이고 있다.

이러한 성능차이는 Fig. 3에서 보듯이 노드 A의 TCP data와 GW 노드의 TCP ACK의 충돌 확률이 높아지기 때문에 노드 A에서의 기아 현상이 발생하게 된다. 또한 A 노드와 GW 노드가 back-logged 상태이고 minimum contention window stage라 가정하면 노드 A나 GW 노드는 상대 노드의 back-off 기간 동안 전송이 완료되어야 hidden terminal 문제없이 전송이 가능

하다.

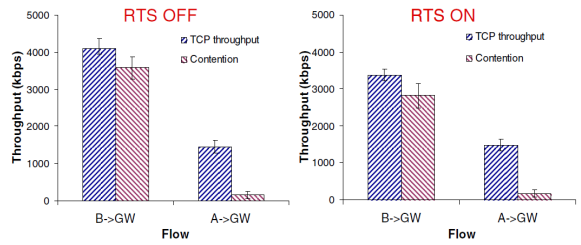


Fig. 2. TCP connection in the basic topology, with and without RTS/CTS<sup>[9]</sup>

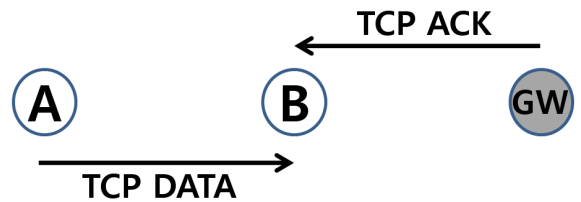


Fig. 3. Channel access of TCP data and TCP ACK

즉, 노드 A가 back-off기간 동안 일 때 GW 노드가 전송을 완료해야 충돌이 발생하지 않고 전송이 가능해지며, 노드 A에서도 동일하다. GW 노드의 back-off 기간 동안 노드 A에서 TCP data를 전송해야지 충돌이 발생하지 않고 전송 성공이 가능하지만, 노드 A는 충돌이 많이 발생해  $CW$ 가 점점 커지고 노드 B와 GW는 성공적인 데이터 전송 후 최소  $CW$ 가 유리하기 때문에 성능 불균형 현상이 심화된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 관련연구<sup>[9]</sup>에서는 Counter Starvation Policy라는 알고리즘을 적용하여 1-hop 노드에서의  $CW_{min}$  값을 32, 64, 128, 256으로 증가 시키면서 TCP fairness 문제를 개선하였다. GW 노드에서의 flow 대부분은 TCP ACK이기 때문에 B에서의 패킷 전송을 줄임으로써 GW 노드에서의 TCP ACK를 감소시킬 수 있다.

Fig. 4는 MirrorMesh에서 1-hop 노드의  $CW_{min}$  값 변경에 따른 전송률 결과를 나타내는데, 1-hop 노드에서  $CW_{min}$  값을 128로 설정하였을 경우 전송률이 비슷해지고 각 노드 사이의 fairness 측면도 개선되는 결과를 보이고 있으며, Fig. 5는 네트워크 전체의 사용률 (utilization)을 나타낸 그래프로 기본적인  $CW_{min}$  값을 적용한 것에 비해 Counter-Starvation Policy를 적용한 값이 감소하는 단점을 보이고 있다.

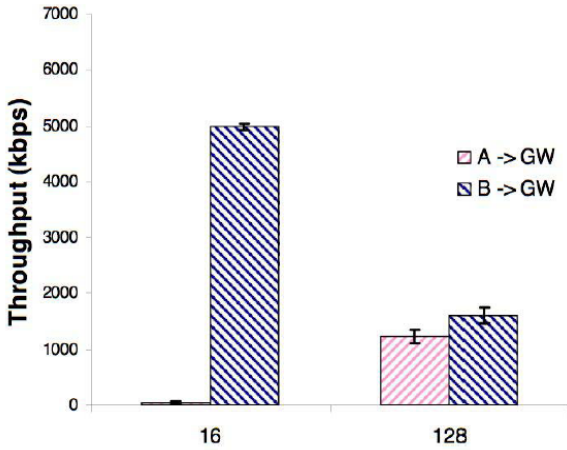


Fig. 4. The value obtained by applying the basic  $CW_{min}$  value and Counter-Starvation Policy to the basic topology in the MirroMesh testbed<sup>[9]</sup>

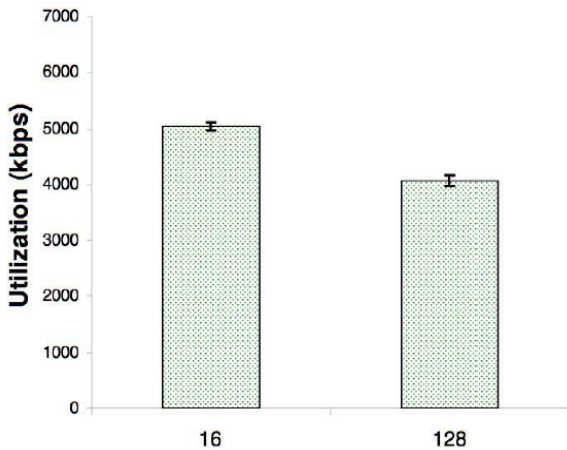


Fig. 5. The comparison of the whole network utilization by applying the basic  $CW_{min}$  value and Counter Starvation Policy to the basic topology<sup>[9]</sup>

### 3. TCP Fairness 개선 알고리즘

#### 가. 1-hop 노드에서 $CW$ 값 변경 알고리즘

IEEE 802.11 기본 DCF에서 각 노드는 패킷을 성공적으로 전송한 후  $CW$  값을 최소  $CW$  값으로 되돌리게 된다. 이런 경우 GW 노드로부터 2-hop 노드의 경우 충돌에 의해 높아진  $CW$ 에 비해 1-hop 노드는 전송 성공 시 최소  $CW$  값으로 되돌아가게 된다. 이 현

상이 계속 지속되게 되면 2-hop 노드에서의 기아 현상이 생기게 되고 2-hop 노드는 전송의 기회도 매우 적어지게 되며 전송률의 불균형이 발생하게 된다.

이를 해결하기 위해 제한한 알고리즘의 경우 B 노드 (GW 노드에서 1-hop 노드)에서 트래픽(traffic) 전송 성공 시  $CW$  값을 초기 값으로 변경하지 않고 전송 성공 했을 때의  $CW$  값의 반으로 줄이게 된다. 1-hop 노드에서의  $CW_{min}$  값을 크게 하여 2-hop 노드에서의 전송기회와 확률을 높이기 위해 이러한 알고리즘을 적용 하였을 경우 노드 B에서의  $CW$  값은 일반적인 DCF 알고리즘의 경우보다 크게 설정된다. Fig. 6은 제안한 알고리즘을 나타낸다. 예를 들어  $CW$  값이 256일 때 성공한 경우  $CW_{min}$  값을 16으로 초기화 하지 않고 성공 했을 때의  $CW$  값의 반인 128로 줄인다. 같은 방법으로 전송 성공 시 B 노드에서의  $CW$  값을 전송 성공 했을 경우 1/8, 1/4, 3/8, 5/8, 3/4, 7/8로 바뀌가면서 시뮬레이션을 수행하였고, 이때, 각 노드의 fairness의 비교 및 분석을 위해 식 (1)과 같은 Jain's fairness index<sup>[10]</sup>를 이용하였다.

$$J(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (1)$$

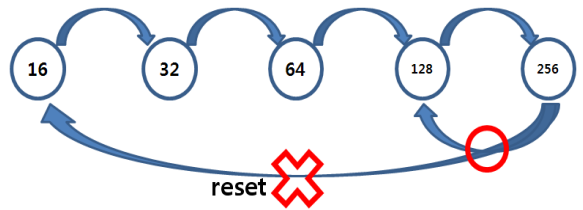


Fig. 6.  $CW_{min}$  value change of the algorithm in node B

나. 1-hop 노드에서 일정한 횟수를 성공 하였을 경우의  $CW$  값 변경 알고리즘

노드 B(GW 노드로부터 1-hop 노드)에서 일정한 횟수의 전송 성공 시  $CW_{min}$  값을 노드 A(GW 노드로부터 2-hop 노드)보다 높은 값( $CW_{min} = 128$ ,  $CW_{min} = 256$ )으로 변경하는 알고리즘으로, 본 논문의 ‘가’절에서 제안한 알고리즘과 같은 맥락으로 노드 B에서의  $CW_{min}$  값을 증가시킴으로써 노드 A에서의 전송 확률과 전송기회를 높이는 알고리즘이다. 예를 들어 노드 B에서 3번의 전송을 성공하였을 경우 노드 B에서의

$CW_{min}$  값을 128이나 256으로 증가 시키는 것이다. 만약 일정 횟수를 성공 하지 않는 경우에 대해서는 앞서와 동일하게 1-hop 노드에서의  $CW$  값이  $CW_{min}$  값으로 초기화 되지 않고 1/2, 1/8, 1/4, 3/8, 5/8, 3/4, 7/8로 설정 된다. 1-hop 노드에서의  $CW_{min}$  값을 증가 시킨 후에 전송 성공 했을 경우  $CW_{min}$  값이 초기화 되지 않고 천천히 감소하게 함으로써 2-hop 노드에서의 전송 기회 및 확률을 증가 시킨다. 연속으로 전송 성공 횟수는 5회, 7회로 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다.

다. 2-hop 노드에서의 최대  $CW$  값 변경 알고리즘  
 노드 A, 즉 GW 노드로부터 2-hop 떨어진 노드의 최대  $CW$  값( $CW_{max}$ )을 변경하는 알고리즘이다. 본 논문의 ‘가’절과 ‘나’절에서의 제안 알고리즘의 경우 1-hop 노드에서의  $CW$  값을 변경하여 2-hop 노드에서의 전송기회를 높인 반면에 이 알고리즘은 노드 A(GW 노드)로부터 2-hop 노드에서의  $CW$  값을 조정하여 1-hop 노드와 2-hop 노드의 fairness 문제를 개선하기 위한 알고리즘이다. 일반적인 DCF의 경우 노드 A에서는 back-off가 계속 일어나기 때문에  $CW$  값이  $CW_{max}$  값까지 증가하게 된다.  $CW$  값이 점점 증가함에 따라 2-hop 노드에서의 전송 기회가 낮아지고 starvation 현상이 일어나게 된다. 그렇기 때문에  $CW_{max}$  값을 낮춤으로써 노드 A(GW 노드)로부터 2-hop 노드에서의 데이터전송 성공확률을 증가시킬 수 있다. 데이터 전송이 성공하면  $CW_{min}$  값으로 설정되기 때문에 1-hop 노드에서 보다 낮은  $CW$  값으로 인하여 전송 기회 및 전송 확률을 증가 시킬 수가 있으며, 같은 방법으로 1-hop 노드에서의  $CW_{max}$  값을 크게 함으로써 1-hop 노드에서의 전송 확률을 낮출 수도 있고 전송 실패 횟수 초과로 reset이 되는 확률도 적게 하고 2-hop 노드에서의 fairness 개선할 수 있다.

#### 4. 시뮬레이션 및 성능 평가, 분석

4장에서는 3장에서 제안한 알고리즘을 NS-2<sup>[4]</sup>를 이용하여 실험을 하고 그 결과를 평가, 분석 하였다. 다음 표는 NS-2 시뮬레이션 환경을 나타낸 표이다.

또한 Fig. 7은 시뮬레이션을 위한 각 노드의 토폴로지를 나타낸 그림이다. Fig. 7의 토폴로지를 기반으로 하여 시뮬레이션을 수행하고 결과 값을 비교분석 하였다.

Table 1. NS-2 simulation Parameter

802.11 default parameter	
Duration	180 sec
Max PHY bandwidth	11Mbps
Packet size	1000 byte
Congestion Window	3

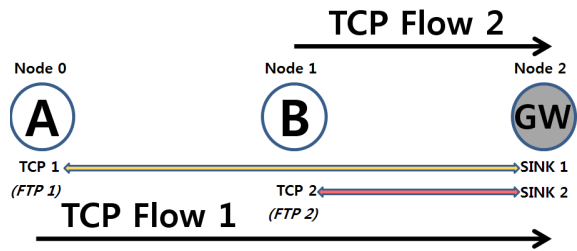


Fig. 7. Topology for the simulation

가. 1-hop 노드에서  $CW$  값 변경 알고리즘

노드 B(GW 노드)로부터 1-hop 노드에서의 전송 성공 시  $CW$  값을  $CW_{min}$  값으로 초기화 시키지 않고 전송 성공했을 때의  $CW$  값의 반으로 변경하는 알고리즘을 적용하여 IEEE 802.11의 DCF와 비교 시뮬레이션을 수행하였으며, Fig. 8은 사용률에 대한 시뮬레이션 결과의 비교를 보여주고, Fig. 9에 fairness에 대한 시뮬레이션 결과의 비교를 보여준다.

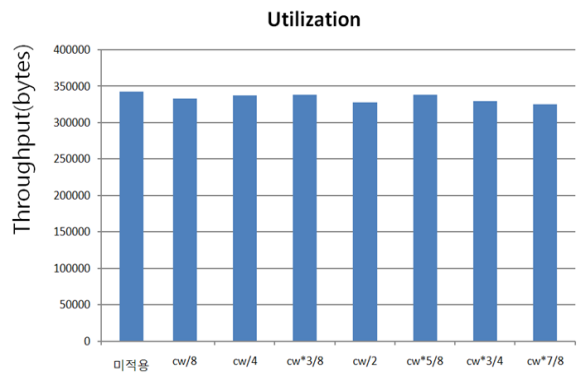


Fig. 8. Comparing the utilization of the algorithm for  $CW$  value change and basic DCF in 1-hop node

Fig. 8과 Fig. 9의 미적용에 해당되는 것이 DCF를 적용한 그래프이고 나머지 그래프는 전송 성공시 1-hop

노드에서의  $CW$  값을 각각 1/8, 1/4, 3/8, 5/8, 3/4, 7/8로 바꾸면서 시뮬레이션 한 결과 값을 나타낸다. 사용률 측면에서 약간의 감소를 보이지만 fairness 측면에서는 DCF를 적용했을 경우 보다 많이 개선된 것을 확인할 수 있다.

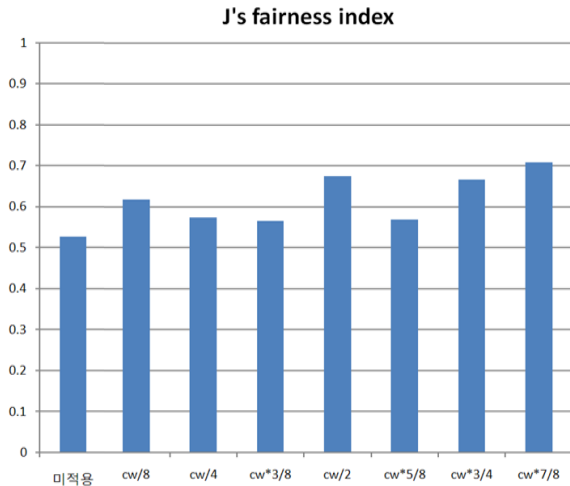


Fig. 9. Comparing the fairness of the algorithm for  $CW$  value change and basic DCF in 1-hop node

나. 1-hop 노드에서 일정한 횟수를 성공 하였을 때의  $CW$  값 변경 알고리즘

GW 노드와 1-hop 노드인 노드 B에서의 일정한 횟수를 전송 성공 하였을 경우  $CW$  값을 변경 하면서 결과 값을 측정하였다. 각 시뮬레이션은 5번 성공하였을 경우와 7번 성공하였을 경우에 대하여 각각 노드 B의  $CW_{min}$  값을 128, 256으로 변경하면서 결과를 측정하였다. 앞서 3장에서 언급 했던 것과 같이 이외의 경우는 3장 ‘가’절의 알고리즘을 적용하여 시뮬레이션을 수행 하였으며, Fig. 10과 Fig. 11, Fig. 12와 Fig. 13은 1-hop 노드에서 5번 전송 성공 시 1-hop 노드의  $CW_{min}$  값을 128과 256으로 설정한 후의 사용률과 fairness의 결과 값을 보여준다.

노드 B(GW 노드로부터 1-hop 노드)에서 5번 성공하였을 경우의  $CW_{min}$  값을 128로 설정하였을 경우의 시뮬레이션 결과인 Fig. 10, Fig. 11을 살펴보면 사용률 측면에서 약간의 감소를 보였지만 fairness 측면에서는 월등히 좋아진 결과를 확인할 수 있으며,  $CW_{min}$  값을 256로 설정하였을 경우의 시뮬레이션 결과는 사용률 측면에서 조금 더 감소하는 경향을 보이

며 fairness 측면에서는 조금 더 개선된 결과를 확인할 수 있다.

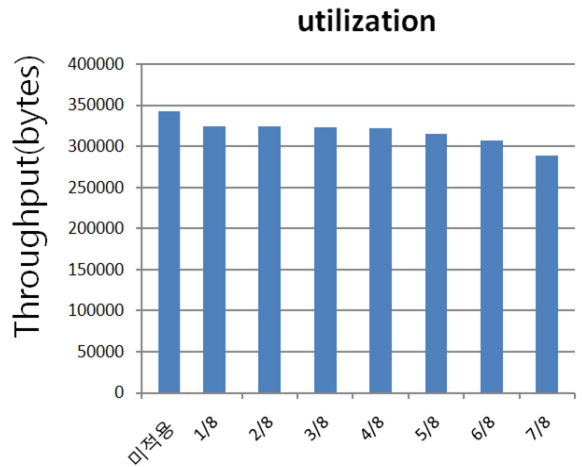


Fig. 10. The utilization of the whole network in case of 5 successful transmission in 1-hop node with the  $CW_{min}$  value of 128

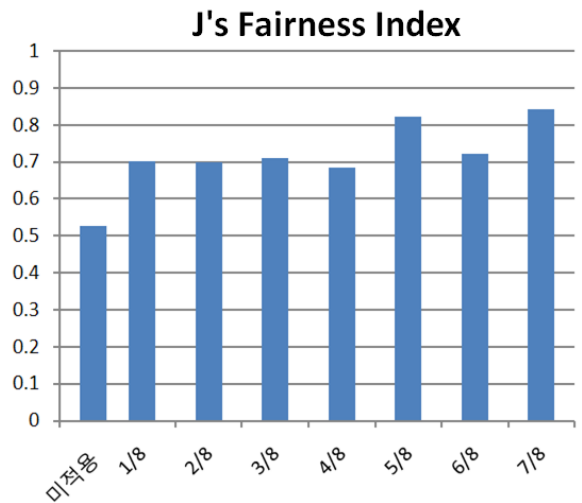


Fig. 11. The fairness of the whole network in case of 5 successful transmission in 1-hop node with the  $CW_{min}$  value of 128

1-hop 노드에서 7번 전송 성공 시 1-hop 노드의  $CW_{min}$  값을 128로 설정 후 사용률과 fairness를 비교하는 시뮬레이션 수행 결과를 Fig. 14와 Fig. 15에 나타내었다.



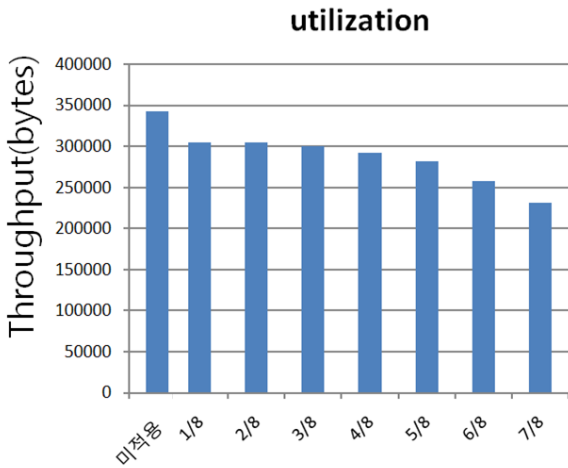


Fig. 12. The utilization of the whole network in case of 5 successful transmission in 1-hop node with the  $CW_{min}$  value of 256

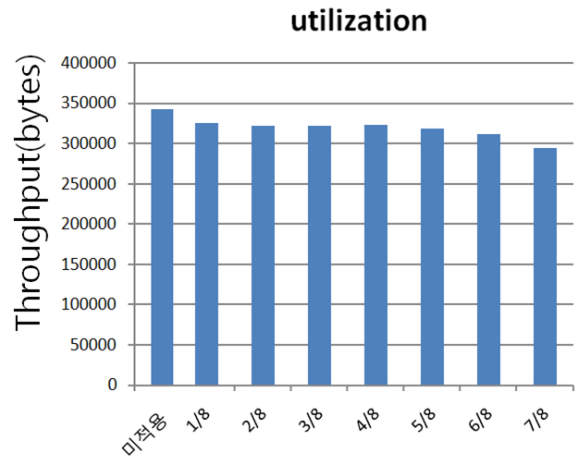


Fig. 14. The utilization of the whole network in case of 7 successful transmission in 1-hop node with the  $CW_{min}$  value of 128

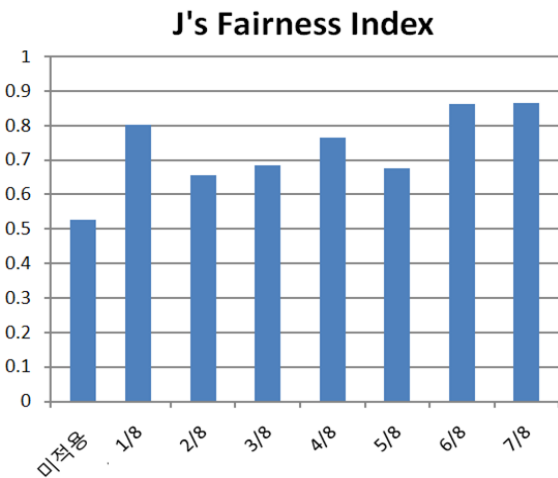


Fig. 13. The fairness of the whole network in case of 5 successful transmission in 1-hop node with the  $CW_{min}$  value of 256

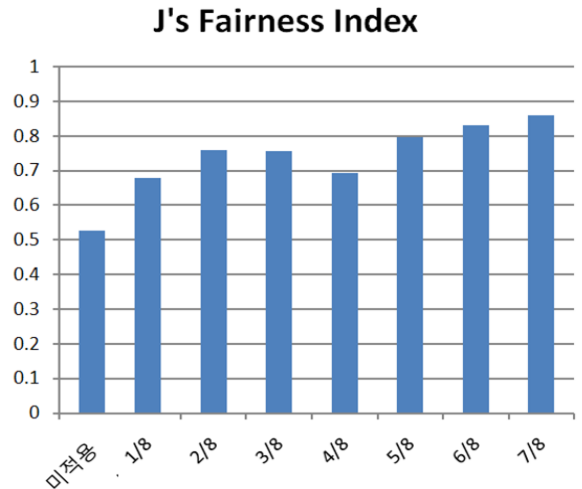


Fig. 15. The fairness of the whole network in case of 7 successful transmission in 1-hop node with the  $CW_{min}$  value of 128

노드 B(GW 노드로부터 1-hop 노드)에서 7번 성공하였을 경우의  $CW_{min}$  값을 128로 설정하였을 경우의 시뮬레이션 수행 결과인 Fig. 14, Fig. 15를 살펴보면 기본적인 DCF 알고리즘을 적용했을 때와 비교하여 전반적으로 사용률 측면에서 약간의 감소를 보였으나, fairness에서 상당히 개선된 측면을 가지며 앞서 수행한 5번 전송 성공 시 방안과 유사한 결과를 볼 수 있었다.

다. 2-hop 노드에서의 최대  $CW$  값 변경 알고리즘 이번 안은 기존 제안 했던 노드 B(GW 노드로부터 1-hop 노드)에서만  $CW_{min}$  값과  $CW_{max}$  값을 변경하는데 반해 노드 A(GW 노드와 2-hop 노드)에서도  $CW_{min}$  값과  $CW_{max}$  값의 변경을 통한 utilization과 fairness를 개선하는 알고리즘이다. 2-hop 노드에서의  $CW_{max}$  값을 작게 하여  $CW$  값이 일반적인 경우보다 작게 선정되도록 하고, 1-hop 노드의 경우  $CW_{max}$  값

을 크게 하여 일반적인 경우보다 느리게 초기화 되도록 설정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 즉, 1-hop 노드보다 2-hop 노드가 보다 먼저 초기화 되게 하여  $CW$  값을 작게 만들어 전송 기회 및 확률을 높이고자 제안하였으며,  $CW_{min}$  값과  $CW_{max}$  값을 고정해 놓고 아래 표와 같은 4가지의 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였고 결과를 비교분석 하였다.

Table 2. Change  $CW_{min}$  and  $CW_{max}$  in node A and B

case	2-hop 노드의 $CW$ 값	1-hop 노드의 $CW$ 값
1	$CW_{min} = 16$ $CW_{max} = 64$	$CW_{min} = 128$ $CW_{max} = 1024$
2	$CW_{min} = 16$ $CW_{max} = 64$	$CW_{min} = 256$ $CW_{max} = 1024$
3	$CW_{min} = 16$ $CW_{max} = 128$	$CW_{min} = 128$ $CW_{max} = 1024$
4	$CW_{min} = 16$ $CW_{max} = 128$	$CW_{min} = 256$ $CW_{max} = 1024$

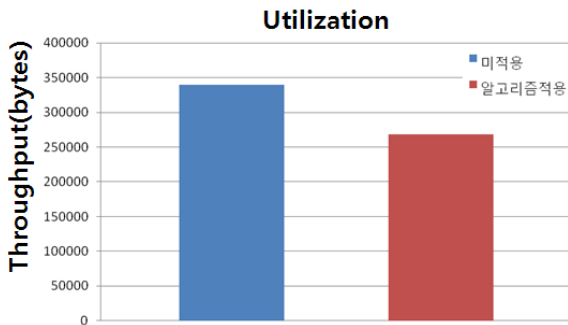


Fig. 16. Comparison of the utilization in case 1

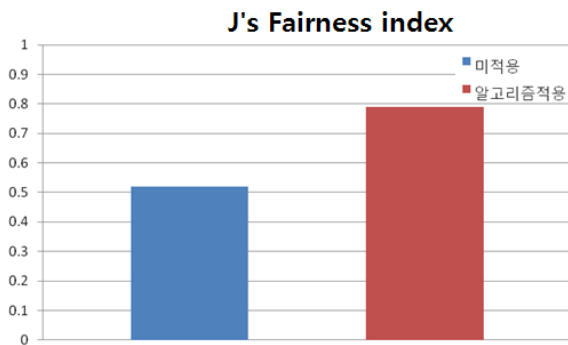


Fig. 17. Comparison of the fairness in case 1

Fig. 16과 Fig. 17에 case 1의 설정 값으로 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타내었고, 이를 살펴보면 IEEE 802.11의 기본 MAC(Medium Access Control) 알고리즘인 DCF를 적용 하였을 때 보다 사용률은 감소하였지만, fairness 측면에서 많이 개선 된 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 18과 Fig. 19는 case2의 설정 값으로 시뮬레이션을 수행한 결과이며, 이전에 수행한 시뮬레이션과 비교하여 노드 B에서의  $CW_{min}$  값만 크게 설정하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 이를 살펴보면 앞선 1번의 설정 값의 실험결과 보다 utilization 측면에서의 많은 감소가 나타남을 확인할 수 있지만, fairness 측면에서 개선된 점을 확인 할 수 있다.

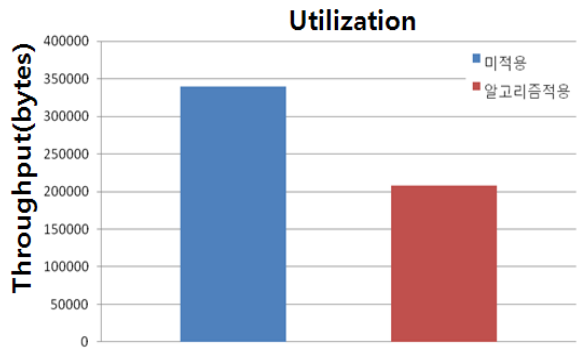


Fig. 18. Comparison of the utilization in case 2

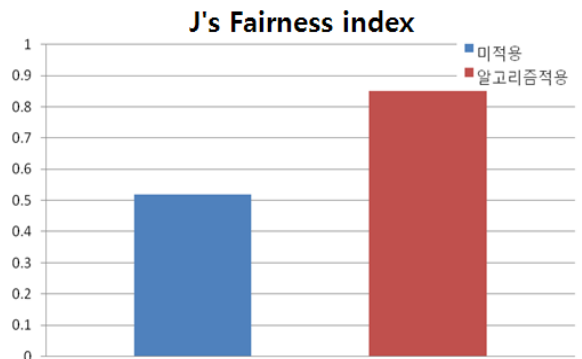


Fig. 19. Comparison of the fairness in case 2

Fig. 20, Fig. 21, Fig. 22, Fig. 23에 case3의 설정 값과 case4의 설정 값을 적용한 시뮬레이션의 수행 결과를 나타내었으며, 이전 시뮬레이션 수행 결과인 Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18, Fig. 19들과 함께 살펴보면 GW 노드로부터 2-hop 떨어진 노드에서의  $CW_{min}$  값과



$CW_{max}$  값의 변화는 사용률과 fairness에 거의 영향을 주지 않는 것을 확인 할 수 있다. 즉, 노드 B(GW 노드로부터 1-hop 노드)의  $CW_{min}$  값 변경이 fairness 측면과 사용률 측면에서의 개선에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

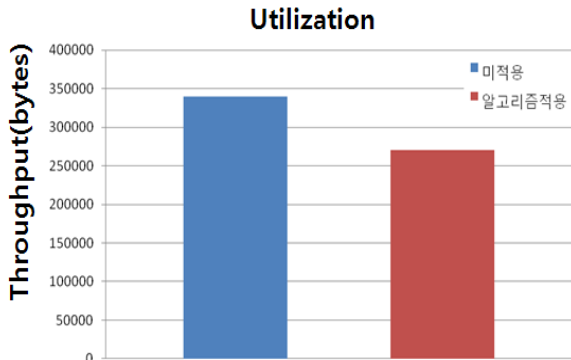


Fig. 20. Comparison of the utilization in case 3

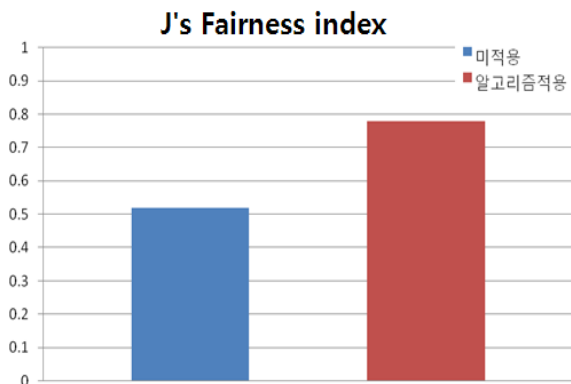


Fig. 21. Comparison of the fairness in case 3

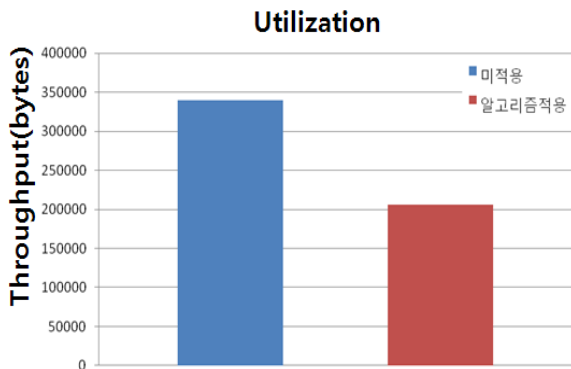


Fig. 22. Comparison of the utilization in case 4

### J's Fairness index

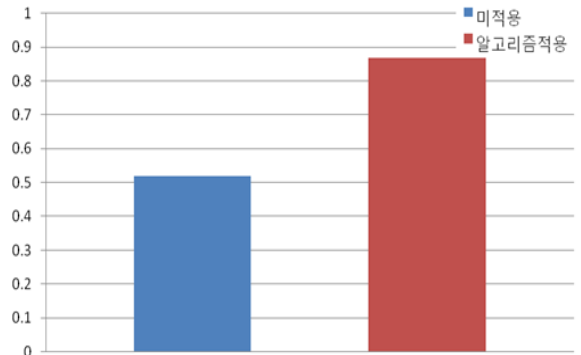


Fig. 23. Comparison of the fairness in case 4

## 5. 결론

본 논문에서는 무선 메쉬 네트워크에서의 1-hop 노드와 2-hop 노드에서의 fairness 개선 방안과 throughput 향상 방안에 대한 여러 알고리즘을 제시하고 각 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 수행하고 결과를 비교분석하였으며, 제안 알고리즘을 동시에 적용하는 시뮬레이션을 수행하여 그 결과 값을 비교 분석하였고, 다양한 contention window 값 변경 알고리즘을 통하여 1-hop 노드에서의 전송 기회 및 확률을 줄여 2-hop 노드에서의 전송 기회와 확률을 높임으로써 2-hop 노드에서의 기아 현상을 개선하고 fairness 문제 해결과 전송률에 대한 성능 향상을 시뮬레이션을 통하여 비교분석 하였다.

향후, 본 논문에서 제안한 알고리즘의 설정 값을 정해진 상수 값이 아닌 임의의 값으로 변경하는 연구를 진행할 것이며, 노드의 contention window 값을 변경하는데 그치지 않고 queuing management 등의 방법을 적용하여 fairness와 전송률을 동시에 개선하는 연구를 진행 할 것이다. 마지막으로 많은 실험을 통하여 contention window 값의 변경에 따른 전송률과 사용률의 관계를 정리하여 일반화하는 과정에 대한 연구를 진행할 것이다.

## 후 기

본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음.  
(계약번호 : UE115083ED)

## References

- [1] H. S. Chhaya and S. Gupta, "Performance Modeling of Asynchronous Data Transfer Methods of IEEE 802.11 MAC Protocol", *Wireless Networks*, Vol. 3 pp. 217~234, 1997.
- [2] T. S. Ho and K. C. Chen, "Performance Evaluation and Enhancement of the CSMA/CA MAC Protocol for 802.11 Wireless LAN's", in *Proc. IEEE PIMRC*, Taipei, Taiwan, pp. 392~396, Oct. 1996.
- [3] IEEE, "International Standard [for] Information-Technology-Telecommunications and Information Exchange between Systems-Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications", IEEE 802.11-1999, 1999.
- [4] NS-2 homepage, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- [5] S. M. ElRakabawy, A. Kelmm, and C. Lindemann, "TCP with Adaptive Pacing for Multihop Wireless Networks", in *Proc. of ACM MOBICOM*, Sept. 2005.
- [6] A. Raniwala, P. De, S. Sharma, R. Krishnan, and T. Chiueh, "End-to-end Flow Fairness Over IEEE 802.11-based Wireless Mesh Networks", in *Proc. of IEEE INFOCOM*, May 2007.
- [7] S. M. ElRakabawy, C. Lindemann, M. K. Vernon, "Improving TCP Performance for Multihop Wireless Networks", in *Proc. of IEEE DSN*, June 2005.
- [8] F. Nawab, K. Jamshaid, B Shihada and Pin-Han Ho, "MAC-layer Protocol for TCP Fairness in Wireless Mesh Networks", in *Proc. of IEEE ICC*, Aug. 2012.
- [9] Jingpu Shi, Omer Gurewitz, Vincenzo Mancuso, Joseph Camp and Edward W. Knightly, "Measurement and Modeling of the Origins of Starvation in Congestion Controlled Mesh Networks", *INFOCOM 2008, The 27th Conference on Computer Communications IEEE*, pp. 1633~1641, 13~18 April 2008.
- [10] R. Jain, D. Chiu, and W. Hawe, "A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for Resource Allocation in Shared Systems", *Tech. Rep., Digital Equipment Corporation, DEC-TR-301*, 1984.