

# 높은 대역폭을 제공하는 차세대 무선랜을 위한 혼합 분산 경쟁 기법

\*한성일, \*최낙중, \*\*석용호, \*권태경, \*최양희  
\*서울대학교, \*\*INRIA Sophia Antipolis

{sihan, fomula, tk, yhchoi}@mmlab.snu.ac.kr, \*\*Yongho.Seok@sophia.inria.fr

## Hybrid Distributed Coordination Function for Next-Generation High-Bandwidth WLANs

\*Seongil Han, \*Nakjung Choi, \*\*Yongho Seok, \*Taekyoung Kwon, \*Yanghee Choi  
\*Seoul National University, \*\*INRIA Sophia Antipolis

### 요 약

IEEE 802.11 DCF 채널 경쟁 기법에서는 무선 단말의 수가 늘어나면 프레임 충돌의 증가로 인하여 전체 네트워크의 성능이 크게 저하된다. 본 논문에서는 많은 무선 단말에 의해 발생하는 프레임 충돌의 횟수를 줄일 수 있는 새로운 경쟁 기법인 Hybrid DCF (H-DCF) 기법을 제안한다. H-DCF 기법에서는 많은 수의 경쟁 단말을 지원하기 위하여 한 단계로 동작하는 백오프 메커니즘을 두 단계 경쟁 과정으로 수정한다. 본 논문에서 제안하는 새로운 경쟁 기법의 성능 평가를 위하여 NS2 모의 실험을 수행하였고, 실험 결과는 H-DCF 기법이 기존의 IEEE 802.11 DCF 기법에 비하여 10-35% 정도의 성능 향상이 있음을 보여준다. 따라서 무선 단말의 수가 늘어남에 따라 야기되는 전체 네트워크의 성능 저하를 방지할 수 있는 H-DCF 기법은 핫스팟 지역에서 사용될 수 있는 차세대 무선랜을 위한 좋은 대안이 될 수 있을 것이다.

### I. 서론

최근의 무선랜 핫스팟 환경은 사용자들의 대역폭 요구가 늘어나고, 더 많은 사용자들을 수용하기 위하여 높은 대역폭 제공을 필요로 한다. 따라서 충분한 대역폭을 제공할 수 있는 IEEE 802.11a/b/g 무선랜 기술 [1-3]이 널리 퍼지고 있다. 예를 들어, IEEE 802.11a 기술은 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps 데이터 전송 속도를 지원하고 있으며, IEEE 802.11b 기술은 1, 2, 5.5, 11Mbps 전송 속도를 지원한다. 또한 현재 IEEE 802.11n [4] 워킹 그룹은 차세대 무선랜을 위하여 링크 계층 상위 프로토콜에게 최소한 100Mbps 이상의 전송 속도를 지원할 수 있는 새로운 물리 계층과 MAC 계층의 표준을 개발하고 있다. 그러나 이런 표준들의 대부분 MAC 계층 프로토콜은 분산 채널 경쟁 기법(DCF: Distributed Coordination Function)이나 최근 QoS 지원을 위한 표준화 작업을 완료한 IEEE 802.11e [5]의 경우 확장 분산 채널 경쟁 기법(EDCA: Enhanced Distributed Channel Access)을 기반으로 동작한다. 비록 통제 채널 경쟁 기법(PCF: Point Coordination Function)이나 IEEE 802.11e의 경우 혼합 통제 채널 경쟁 기법(HCCA: HCF Controlled Channel Access)이 중앙 통제 기반 제어 기법을 제공하지만, 분산 채널 경쟁 기법이 비용 측면에서 더욱 효과적이며 현재 널리 사용되고 있다. 그러나 분산 채널 경쟁 기법인 DCF나 EDCA의 경우, 무선 단말의 수가 늘어남에 따라 무선 채널 사용 효율(channel access utility)이 떨어지게 된다. CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식에 기반하는 DCF나 EDCA 기법에서는 각각의 무선 단말이 자신의 경쟁 윈도우

(contention window) 내에서 백오프 값을 선택하고, 충돌을 피하기 위해서 무선 채널 접근을 연기한다. 최대의 성능을 달성하기 위한 최적의 경쟁 윈도우는 무선 단말의 수에 따라 결정된다. 현재 IEEE 802.11 계열 표준에서 기본적으로 사용되고 있는 DCF는 지수 백오프 (exponential backoff) 메커니즘을 사용하여 경쟁 윈도우의 값을 조정한다. 그러나 이런 지수 백오프 메커니즘은 무선 단말의 수가 증가함에 따라 많은 충돌을 경험하게 된다.

이런 문제를 해결하기 위하여 제안된 관련 연구들 [6-10]은 기존 IEEE 802.11 무선랜과의 호환성 이슈가 공통적인 문제로 지적된다. 즉, 기존 IEEE 802.11 무선랜에서 사용되는 DCF 메커니즘이 기존 연구들에서 제안된 향상된 무선 채널 접근 메커니즘과 경쟁할 때, 향상된 DCF 기법보다 높은 채널 접근 우선 순위를 부여 받는다. IEEE 802.11 기반 무선랜에서 최대의 성능을 얻기 위해서는 각각의 무선 단말이 현재 경쟁에 참여하는 무선 단말의 수에 따라 각각의 슬롯 타임에 프레임을 전송하는 확률을 조정해야 한다. 특히 많은 수의 무선 단말이 서로 경쟁하고 있을 때는 모든 향상된 DCF 메커니즘은 충돌을 방지하기 위해서 전송 시도 확률을 낮춘다. 이 경우에 기존 DCF 메커니즘은 향상된 DCF 메커니즘에 비해 높은 전송 시도 확률을 가지게 되고, 따라서 향상된 DCF 메커니즘은 무선 채널 접근과 관련하여 기아 현상을 경험하게 된다. 따라서 본 논문에서 새롭게 제안하는 기법은 1) 확장성 (scalability), 2) 작은 경쟁 오버헤드 (contention overhead), 3) 기존 IEEE 802.11 DCF와의 호환성 (interoperability) 요구 사항을 만족시켜야 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 혼합 분산 채널 접근 방식인 H-DCF (Hybrid DCF) 기법을 소개하고, 3장에서는 모의 실험을

통하여 제안된 기법의 성능 평가를 수행한 결과를 보여준다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## II. H-DCF: 혼합 분산 채널 경쟁 기법

본 장에서는 높은 대역폭을 제공하는 차세대 무선랜을 위한 혼합 분산 채널 경쟁 기법인 H-DCF (Hybrid DCF) 기법을 제안한다. H-DCF 기본 알고리즘인 두 단계 경쟁과 널 프레임 전송을 설명하고, 실제 H-DCF 동작 과정을 기술한다.

### II.1. H-DCF 기본 알고리즘

**두 단계 경쟁** 본 논문에서 제안하는 H-DCF 기법에서는 프레임 충돌 상황을 줄이기 위하여 두 단계의 경쟁 과정을 거친다. 두 단계의 경쟁 과정은 첫 번째 단계에서는 두 번째 경쟁 단계로 진입하는 무선 단말을 결정하고, 두 번째 단계에서는 진입한 무선 단말들이 프레임 전송을 위하여 경쟁하기 때문에 한 단계로 경쟁하는 IEEE 802.11 DCF 기법에 비해 프레임 충돌 확률을 획기적으로 줄일 수 있다. IEEE 802.11 DCF 기법에서는 한 번의 경쟁 과정을 거쳐 프레임을 전송하기 때문에 전송에 참여하는 단말의 수가 많아지면 한 슬롯 타임에 둘 이상의 무선 단말이 전송을 시작할 확률이 높다. 그러나 H-DCF 기법에서는 동일한 슬롯 타임을 선택한 무선 단말들이 바로 프레임 충돌을 경험하는 것이 아니라, 다시 한 번 두 번째 단계의 경쟁을 통하여 프레임 전송을 하기 때문에 충돌 확률이 낮아지게 된다.

H-DCF 기법에서 두 단계의 경쟁 과정은 다음과 같은 방법으로 수행된다. 첫 단계의 경쟁은 IEEE 802.11 DCF와 동일한 방식으로, 즉 먼저 자신의 경쟁 윈도우 범위에서 임의의 백오프 타이머를 선택하여 백오프 과정을 수행한다. 백오프 타이머 값이 0에 도달하면, 두 번째 경쟁 단계로 넘어가게 되는데<sup>1</sup>, 만일 자신의 백오프 타이머 값이 0에 도달하기 전에 다른 무선 단말들이 두 번째 경쟁 단계를 시작하면 백오프 타이머를 중지시키고 두 번째 경쟁 단계가 완료되면 경기를 기다린다. 그 후에 첫 번째 단계가 다시 시작되면 경쟁에 참여하기 위하여 중지시켰던 백오프 타이머 감소를 다시 시작한다. 두 단계의 경쟁 과정에서 백오프를 위한 각각의 경쟁 윈도우가 있기 때문에 이를 구분하기 위해서 첫 번째 단계의 경쟁 윈도우를  $CW^{1st}$ , 두 번째 단계의 경쟁 윈도우를  $CW^{2nd}$ 로 표기한다.  $CW^{1st}$  값은  $CW_{min}$  값을 제외하고는 IEEE 802.11 DCF에서 사용하는 인수를 사용한다. H-DCF 기법은 두 번째 경쟁 단계가 추가로 있기 때문에 그대로 사용한다면 무선 단말의 수가 적은 경우(5개 이하), 즉 충돌의 확률이 매우 작을 때는 IEEE 802.11 DCF 기법보다 더 많은 백오프 시간을 소비하고, 널 프레임 시간까지 추가로 소비하기 때문에 오버헤드가 커진다. 따라서 H-DCF 기법에서는 IEEE 802.11 DCF 기법의  $CW_{min}$  값의 반으로 설정한다<sup>2</sup>. 또한 H-DCF 기법에서도 지수 백오프 과정을 수행하여, 충돌 등의 이유로 두 번째 경쟁 단계에서 프레임 전송이 실패하면  $CW^{1st}$  값을 2배로 증가시킨 후 다음 번 경쟁에 참여한다.

두 번째 경쟁 단계에서는  $CW^{2nd}$  값이 7로 고정되어 있다는 점을 제외하고는 첫 번째 단계와 동일한 방법으로 백오프를 수행한다. 두 번째 경쟁 단계에 참여하는 단말들

은 아래에서 설명할 널 프레임을 전송한다. 그 후  $CW^{2nd}$  범위에서 백오프 타이머를 설정하고 백오프를 수행하다가, 자신의 백오프 타이머가 0에 도달하면 비로소 프레임을 전송하고, 프레임 전송이 성공한 무선 단말은 자신의  $CW^{1st}$  값을 초기화하고, 첫 번째 경쟁 단계로 다시 돌아간다. 만약 둘 이상의 무선 단말의 백오프 타이머가 동시에 0에 도달한다면, 충돌로 인하여 프레임 전송이 실패하게 되고, 충돌을 경험하는 모든 무선 단말은 자신의  $CW^{1st}$ 를 2배로 증가시킨 후 첫 번째 경쟁 단계로 돌아간다. 해당 데이터 프레임과 ACK 프레임 전송이 끝난 후, 프레임 전송에 참여하지 않은 두 번째 경쟁 단계에 있는 나머지 무선 단말들은 다시 널 프레임을 전송한 후, 백오프 타이머를 재설정하고 다시 두 번째 경쟁을 시작한다. 이와 같은 과정을 두 번째 경쟁 단계의 모든 무선 단말들이 첫 번째 경쟁 단계로 돌아갈 때까지 반복한다. 즉, 두 번째 경쟁 단계의 모든 무선 단말들에게는 우선권을 할당하여 프레임 전송의 기회를 부여한다. 프레임 전송을 완료한 무선 단말은 프레임 전송이 성공 여부와 관계없이 첫 번째 경쟁 단계로 돌아가고, 두 번째 경쟁 단계의 모든 무선 단말이 첫 번째 경쟁 단계로 돌아가게 되면, 그 때서야 비로소 두 번째 전송 단계가 완료된다. 하나의 프레임 전송이 끝난 후에는 두 번째 경쟁 단계에 남아있는 무선 단말들이 널 프레임을 전송하기 때문에 첫 번째 경쟁 단계에 있는 무선 단말들은 아직 두 번째 경쟁 단계가 종료되지 않았다는 사실을 인지할 수 있다.

**널 프레임** 한 슬롯 타임만큼의 길이를 가지는 내용이 없는 프레임으로, H-DCF 기법이 올바른 동작을 하는데 핵심적인 역할을 수행한다. 널 프레임은 첫 번째 경쟁 단계와 두 번째 경쟁 단계를 구분하는 역할을 한다. 두 번째 경쟁 단계로 넘어가는 모든 무선 단말은 널 프레임을 전송하여 1단계 경쟁 단계에 남은 무선 단말들에게 두 번째 경쟁 단계가 시작되었음을 알린다. 널 프레임이 가지는 특징은 수신한 무선 단말들이 에러로 인지하는 의미 없는 비트 배열로 이루어진다는 점이다. 따라서 널 프레임은 수신한 단말은 채널 상에 에러가 발생한 것으로 인지하고, IEEE 802.11 표준에 따라 채널이 유휴 상태로 변경된 후, DIFS 대신에 EIFS 기간을 기다리게 된다. 이런 동작 과정을 통하여 첫 번째 경쟁 단계의 무선 단말들이 두 번째 경쟁 단계가 끝날 때까지 무선 채널 경쟁에 참여할 수 없다. 두 번째 경쟁 단계로 진입한 무선 단말은 고정된  $CW^{2nd}(=7)$  범위에서 백오프 값을 선택하기 때문에 백오프 시간의 최대 크기는  $7 * \text{슬롯 타임}$ 으로 IEEE 802.11b의 경우에는 140us가 되는 반면, EIFS는 364us로 최대 경쟁 백오프 시간(140us)보다 훨씬 크다. 따라서 널 프레임을 받은 첫 번째 경쟁 단계의 무선 단말들이 EIFS 기간을 기다리는 동안, 두 번째 경쟁 단계에 있는 널 프레임을 보낸 무선 단말들은 바로 경쟁을 시작할 수 있게 되고, EIFS 기간 전에 두 번째 단계의 경쟁이 완료되기 때문에 안전하게 두 번째 경쟁 단계의 무선 단말들만이 경쟁에 참여할 수 있게 된다. 첫 번째 경쟁 단계에 있는 무선 단말들은 EIFS 기간을 기다리는 도중에 다른 전송이 시작되므로 채널이 유휴 상태가 아니라는 것을 알 수 있고, 자신의 백오프 타이머를 감소하지 않고 그대로 유지하게 되어 경쟁에 참여하지 않게 된다. 두 번째 경쟁 단계에서 데이터 프레임 전송이 끝나고 DIFS 후에, 두 번째 경쟁 단계가 끝나지 않았음을 알리기 위하여 두 번째 경쟁 단계에 남아 있는 무선 단말들은 다시 널 프레임을 전송한다. 이 때 널 프레임의 역할은 첫 번째 경쟁 단계의 무선 단말들이 두 번째 경쟁 단계에서 성공적인 데이터 전송으로 인하여 채널이 유휴 상태가 되기 전에 기다려야 하는 시간이 EIFS 대신에 DIFS로 설정되기 때문에, 두 번째 경

<sup>1</sup> 첫 번째 경쟁 단계에서 백오프 타이머 값이 0에 도달하여 두 번째 경쟁 단계로 넘어가는 무선 단말을 *적임 단말(eligible station)*이라고 표기한다.

<sup>2</sup> IEEE 802.11b 경우,  $CW_{min}$ 은 31이기 때문에 H-DCF 첫 번째 경쟁 단계의  $CW_{min}$ 은 15로 설정된다.

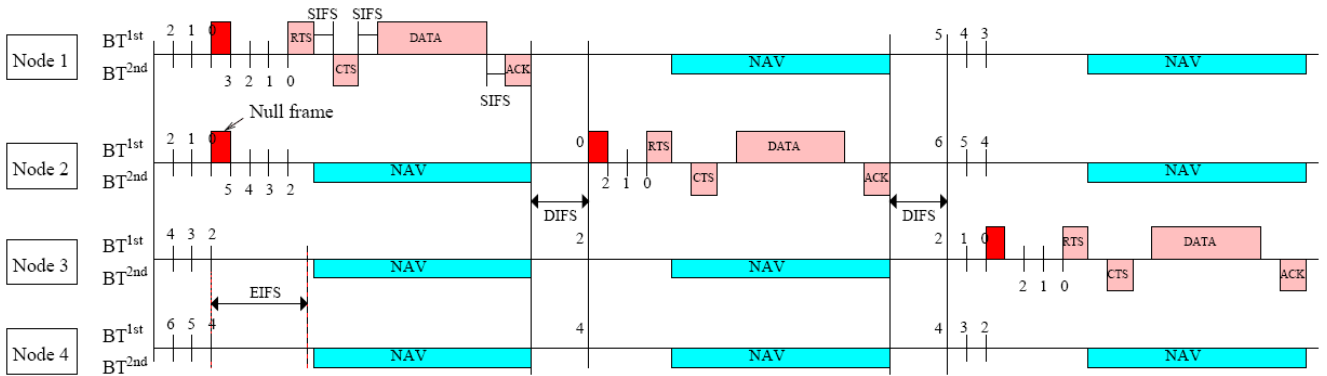


그림 1. H-DCF 기법의 동작 과정

쟁 단계의 무선 단말들에게 우선 순위를 보장하기 위해서 첫 번째 단계의 무선 단말들이 다시 EIFS 기간을 기다리도록 설정하도록 한다.

## II. 2. H-DCF 프로토콜 동작 과정

그림 1은 H-DCF 기법의 기본적인 동작 과정을 보여준다. 여기서  $BT^{1st}$ 와  $BT^{2nd}$ 는 각각의 경쟁 단계에서의 백오프 타이머를 의미한다. 첫 번째 경쟁 단계에서 두 개의 무선 단말들(Node 1와 Node 2)의 백오프 타이머  $BT^{1st}$ 가 나머지 무선 단말들(Node 3와 Node 4)보다 먼저 0에 도달한다. 따라서 해당 무선 단말들(Node 1와 Node 2)은 널 프레임을 전송하고, 널 프레임을 수신한 무선 단말들(Node 3와 Node 4)은 EIFS 동안 기다린다. 두 번째 경쟁 단계에 참여하는 무선 단말들은 EIFS 시간 안에 무선 채널 경쟁을 하게 되고, 두 번째 경쟁 단계의 백오프 타이머  $BT^{2nd}$ 가 먼저 0에 도달하여 채널 접근 권한을 획득한 무선 단말(Node 1)은 데이터 프레임을 전송하게 된다. 데이터 프레임 전송을 마친 후, 해당 무선 단말은  $CW^{1st}$ 와  $BT^{1st}$ 를 설정하고 첫 번째 경쟁 단계로 돌아가게 되고, 두 번째 경쟁 단계에 있는 무선 단말(Node 2)은 DIFS 후에 다시 널 프레임을 전송하고, 두 번째 경쟁 단계의 백오프 타이머  $BT^{2nd}$ 를 재설정 한 후에 그 값이 0에 도달하면 데이터 프레임을 전송한다. 두 번째 경쟁 단계에 들어간 모든 무선 단말들(Node 1와 Node 2)이 전송을 완료할 때까지 첫 번째 경쟁 단계에 있는 무선 단말들(Node 3와 Node 4)은 백오프 타이머  $BT^{1st}$ 를 그대로 유지한다. 두 번째 경쟁 단계의 모든 무선 단말들의 데이터 프레임 전송이 완료되면 다시 첫 번째 경쟁 단계로 돌아오고, 모든 무선 단말들이 다시 무선 채널 경쟁을 시작한다. 이전에 언급했던 것과 같이 두 번째 경쟁 단계의 무선 단말들이 계속해서 널 프레임을 전송하기 때문에 첫 번째 경쟁 단계에 있는 무선 단말들은 무선 채널 경쟁에 참여하지 못한다.

그림 2와 그림 3은 H-DCF 기법의 상태 전이도로 IEEE 802.11 DCF 기법의 상태 전이도를 기반으로 두 단계 경쟁과 널 프레임의 전송을 삽입하였다.

## III. 성능 평가

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 H-DCF 기법의 성능 향상을 검증하기 위하여 모의 실험을 통해 성능 평가를 수행하였다. 널리 사용되고 있는 NS2 [11]를 사용하여 H-DCF 기법을 구현하여 IEEE 802.11a와 IEEE 802.11b 물리 계층 설정 아래 다양한 패킷 길이와 무선 단말의 수에 따른 네트워크 성능(throughput) 및 프레임 충돌 횟수를 측정하였다. 모든 무선 단말은 최대 전송 속도 지원이 가능한 AP의 전송 범위 안에 있다고 가정한다.

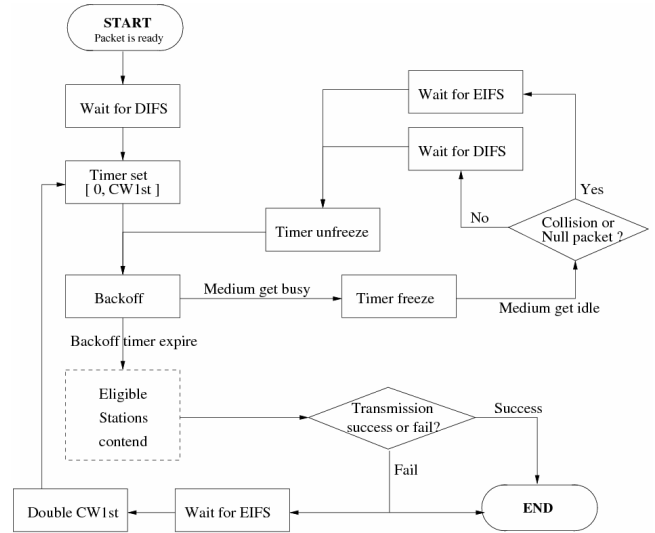


그림 2. H-DCF 첫 번째 경쟁 단계의 상태 전이도

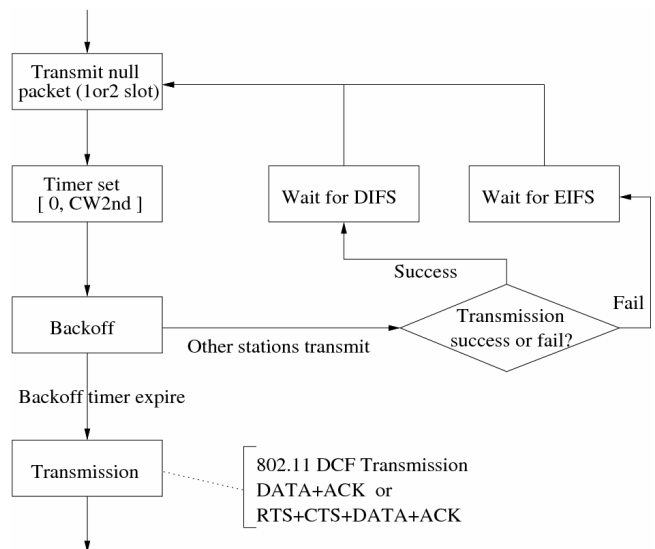


그림 3. H-DCF 두 번째 경쟁 단계의 상태 전이도

표 1은 IEEE 802.11a와 IEEE 802.11b 물리 계층의 설정 값을 보여준다. H-DCF 기법의 올바른 동작을 위해서는 EIFS 값이 슬롯 타임의 7배보다 커야지만, 두 번째 경쟁 단계에서 첫 번째 경쟁 단계에 있는 무선 단말의 방해받지 않는다. 표 1의 설정 값은 이 조건을 만족하기 때문에 현재 표준으로 정의되어 있는 두 물리 계층은 H-DCF 기법의 적용이 가능하다.

표 1. IEEE 802.11a/b 물리 계층 설정 값

구분	IEEE 802.11a	IEEE 802.11b
슬롯 타임	9 us	20 us
SIFS	15 us	10 us
DIFS	34 us	50 us
EIFS	89 us	364 us
경쟁 윈도우	15~1023	31~1023

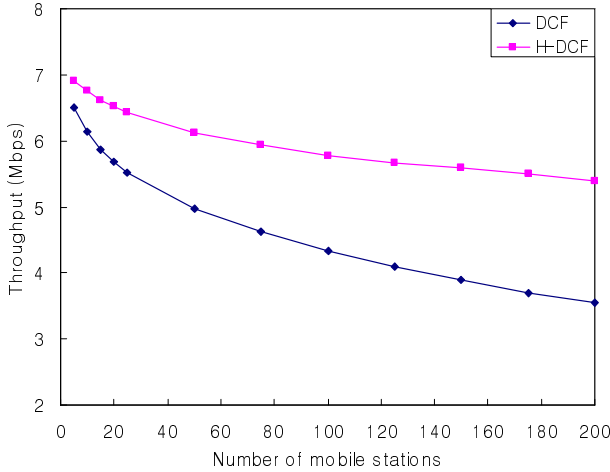


그림 4. IEEE 802.11b 물리 계층 설정에서 프레임 길이 2000byte일 때 네트워크 성능

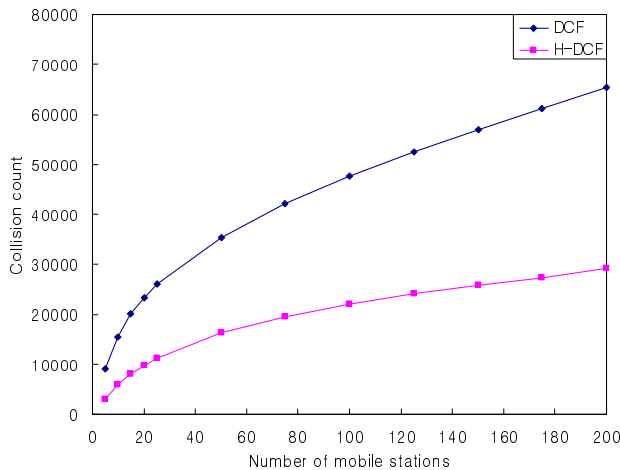


그림 5. IEEE 802.11b 물리 계층 설정에서 프레임 길이 2000byte일 때 프레임 충돌 개수

그림 4와 그림 5는 IEEE 802.11b 물리 계층 설정 아래 모든 무선 단말들이 IEEE 802.11 DCF, H-DCF 기법을 사용할 때 무선랜의 전체 성능과 프레임 충돌 횟수를 보여준다. 데이터 프레임의 크기를 2000byte로 설정하고, 모든 단말은 항상 전송할 프레임이 있다고 가정하면서, 무선 단말의 수는 최대 200개까지 모의 실험을 수행하였다. 그래프에서 볼 수 있듯이, H-DCF 기법은 DCF 기법보다 네트워크 성능이 크게 개선되어 무선 단말의 수가 증가하더라도 약간의 네트워크 성능 저하만을 보여준다. 즉, 무선 단말의 수에 네트워크 성능이 크게 영향을 받지 않는 것이고, 이는 확장성이 개선되었다는 것을 의미한다. IEEE 802.11a의 환경과 다른 프레임 길이를 사용하였을 때도 마찬가지로 H-DCF는 더 좋은 성능을 보인다. 그 결과는 지면 관계상 생략하였다.

## IV. 결론

최근 기하급수적으로 늘어나고 있는 무선랜 핫스팟 환경은 사용자들의 높은 대역폭 요구를 수용하는 동시에 더 많은 사용자들을 지원할 수 있어야 한다. IEEE 802.11 기본 채널 경쟁 기법인 DCF 방식에서는 무선 단말의 수가 많아지면, 급속히 늘어나는 프레임 충돌로 인하여 전체 네트워크의 성능이 크게 떨어질 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이런 성능 저하 현상을 방지할 수 있는 새로운 H-DCF 기법을 제안하였다. H-DCF 기법에서는 두 단계의 경쟁을 통해 모든 무선 단말이 채널 경쟁에 참여하는 것이 아니라 적임 단말들만이 채널 경쟁에 참여하고, 널 프레임을 통하여 다른 무선 단말에 대해 무선 채널 접근의 우선 순위를 보장받는다. 모의 실험 결과를 통하여 무선 단말의 수가 증가함에 따라 DCF 기법은 15-50% 정도의 네트워크 성능 감소를 보이지만, H-DCF 기법은 5-20% 성능 감소만을 보인다는 것을 알 수 있다. H-DCF 기법은 DCF 기법의 단점인 확장성 문제를 해결하여 핫스팟 지역에서 사용할 수 있는 단말의 수를 늘려주고, 동시에 사용자의 만족도도 충족시킬 수 있는 대안이 될 수 있다.

## 참고 문헌

- [1] IEEE 802.11b, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band, Standard, IEEE, 1999
- [2] IEEE 802.11a, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Higher-Speed Physical Layer in the 5GHz Band, Standard, IEEE, 1999
- [3] IEEE 802.11g, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 4: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band, Standard, IEEE, 2003
- [4] IEEE 802.11n, "TGn Sync Proposal Technical Specification," IEEE 802.11-04/889r2, 2005
- [5] IEEE 802.11e, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Amendment 8: Medium Access Control(MAC) Quality of Service Enhancements, Standard, IEEE, 2005
- [6] F. Cali, M. Conti and E. Gregori, "Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 8, No. 6, pp. 785-799, 2000.
- [7] Y. Yang, J. Wang and R. Kravets, "Distributed optimal contention window control for elastic traffic in wireless LANs," Proceedings of IEEE INFOCOM 2005, Miami, USA, Vol. 1, pp.35-46, 2005.
- [8] I. Aad, Q. Ni, C. Barakat and T. Turletti, "Enhancing IEEE 802.11 MAC in congested environments," Elsevier Computer Communications Journal, Vol. 28, No. 14, pp. 1605-1617, 2005.
- [9] Y. Kwon, Y. Fang and H. Latchman, "Design of MAC protocols with fast collision resolution for wireless local area networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 3, No. 3, pp. 793-807, 2004.
- [10] H. Kim and J. C. Hou, "Improving protocol capacity for UDP/TCP traffic with model-based frame scheduling in IEEE 802.11-operated WLANs," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 22, No. 10, pp. 1987- 2003, 2004.
- [11] VINT group, "UCB/LBNL/VINT network simulator - ns (version 2)," <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.