

논문 2010-6-43

## 무선 LAN에서의 고속 복구 백오프 기법

### A Fast Recovery Backoff Mechanism for Wireless LAN

윤희돈\*, 김태현\*\*, 조성환\*\*\*

Hee-Don Yoon, Tae-Hyun Kim, Seong-Hwan Cho

요 약 IEEE 802.11의 성능 개선을 위한 많은 연구가 있었다. 이 연구들의 대다수는 혼잡 윈도우 크기를 초기화시키는 것을 대신하여 혼잡 윈도우 크기를 천천히 감소시키는 것에 초점을 맞추고 있다. 혼잡 윈도우의 크기를 천천히 감소시키는 것이 충돌 확률을 감소시키고 채널 처리율을 증가시킨다. DEF와 공존하는 이기종 네트워크에서, 이러한 방법은 좋은 결과를 얻기 어렵다. 예를 들어, Gentle DCF(GDCF)는 단일 환경에서 좋은 성능을 보이지만, DCF를 포함하는 이기종 환경에서는 프레임을 거의 전송할 수 없다. 이것은 윈도우 크기를 천천히 감소시키는 것이 전송확률을 감소시키기 때문이다. 이 논문에서 이 문제를 해결하기 위해 고속 복구 DCF(FRDCF) 기법을 제안한다. FRDCF에서는 전송 확률을 높게 유지시키기 위해 DCF의 리셋 방법을 그대로 사용하고, 무선 LAN의 성능을 향상시키기 위해 새로운 카운터를 사용한다. 제안한 FRDCF가 이기종 무선 LAN에서 GDCF와 비교하여 좋은 성능을 갖는 것을 검증하였다.

**Abstract** Although a substantial amount of studies have been carried out in order to improve the performance of IEEE 802.11, most of them focused on how to slowly decrease the Contention Window size, instead of resetting it to its initial value. Slow decreasing of the window size reduces the collision probability and increases the channel throughput. Therefore, it is difficult to achieve good results in a heterogeneous network which coexists with the original DCF. For instance, a Gentle DCF(GDCF) has good performance in a homogeneous environment, while it can hardly transmit frames in a heterogeneous environment including the original DCF. It is because the slow decreasing of the window size reduces the transmission probability. In this paper, we propose a Fast Recovery DCF(FRDCF) to solve this problem. In the FRDCF, the reset mechanism of the original DCF is maintained to keep the transmission probability high, while a new counter is used to enhance the performance of the wireless LAN. We prove that, compared with the GDCF, the FRDCF has better performance in a heterogeneous wireless LAN.

**Key Words :** 무선 LAN, 경쟁 해결, 이기종 네트워크, DCF

## I. 서 론

G. Bianchi가 포화 상태(saturation condition)에서의 처리율(throughput)에 대한 수학적 모델<sup>[1]</sup>이 제시된 이후

에 이 모델에 기초한 DCF(Distributed Coordination Function)의 성능 향상을 위한 연구가 활발하게 진행되었고 그 결과 상당한 성능 개선이 있었다. 무선 LAN의 성능을 저하시키는 주요 요인이 스테이션들이 프레임을 동시에 전송할 경우 발생하는 충돌에 기인하기 때문에, IEEE 802.11 DCF는 이진 지수적 백오프(binary exponential backoff) 알고리즘을 수행하여 스테이션들이 동시에 프레임을 전송할 확률을 감소시킨다. 전송되는

\*정회원, DRM inside

\*\*정회원, DRM inside

\*\*\*정회원, 금강대학교

접수일자 2010.10.31 수정일자 2010.11.30

게재확정일자 2010.12.15

프레임의 충돌 확률을 감소시키기 위해 각 충돌에 대해 경쟁 윈도우(CW: Contention Window)의 크기를 확장시키고, 성공적인 전송 후에는 CW 크기를 초기 값으로 재설정(reset)한다. 무선 자원을 공유하는 스테이션의 수가 증가할수록 충돌 발생 가능성이 증가하게 되어, 이 경우에 802.11 DCF의 CW 재설정이 충돌 가능성을 증가시켜 CW의 크기가 다시 최적 값으로 확장되기 전에 새로운 충돌과 재전송을 야기할 수 있는 문제점을 내재하고 있다.

이러한 이유로 현재까지 수행된 많은 연구들이 무선 LAN의 성능 향상을 위한 방법으로 802.11 DCF의 백오프 알고리즘의 재설정 부분을 개선하는 방법들을 제안하는데 중점을 두어왔다. SD(Slow CW Decrease)<sup>[4]</sup>에서는 스테이션이 전송에 성공하게 되면 CW를 초기 값으로 재설정하는 것 대신에 그 크기를 반으로 줄이는 방법을 사용한다. CW의 크기를 천천히(slow) 감소시켜 경쟁에 참여하는 스테이션들의 수가 많을수록 충돌의 발생 확률을 효과적으로 감소시켰다. SD와 유사하지만 더욱 진화된 방법으로는 GDCCF(Gentle DCF)<sup>[4]</sup>는 CW의 크기를 완만하게(gentle) 감소시키는 방법을 사용한다. GDCCF에서는 상수로 정해진  $c$ 개의 프레임들에 대한 전송이 연속적으로 성공할 경우에만 CW의 크기를 반으로 감소시킨다. 전송한 프레임에 충돌이 발생하여 CW가 한번 확장된 후에는, 다음  $c$ 개의 프레임들이 연속해서 성공할 때까지 CW의 크기를 그대로 유지시킨다.  $c$ 값의 선택에 따라 무선 채널의 사용률이 경쟁에 참여하는 스테이션들의 수에 독립적이라 할 수 있을 만큼 우수한 성능을 보인다.

SD나 GDCCF와 같이 재설정 부분을 개선한 방법들은 충돌 확률을 감소시키기 위해 CW 값을 확장된 값으로 유지하게 되는데, 이는 또한 전송 시도 확률을 감소시키는 결과를 초래한다. 무선 채널에 참여하는 모든 스테이션들이 동일한 알고리즘을 사용하는 동종(homogeneous) 환경에서는 큰 문제가 없을 수 있지만, 서로 다른 알고리즘을 사용하는 이기종(heterogenous) 환경에서는 심각한 문제를 초래할 수 있다. DCF와 GDCCF 알고리즘을 사용하는 스테이션들이 같은 무선 채널에 공존하는 경우에는 GDCCF 스테이션들의 감소된 전송 시도 확률로 인하여 DCF 스테이션들이 거의 모든 채널을 점유하게 된다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 이기종 환경에서 802.11 DCF와 공존이 가능하면서도 무선 LAN의 성능을 향상시킬 수 있는 Fast Recovery

DCF(FRDCF) 알고리즘을 제안한다. FRDCF는 DCF의 재설정 방법을 그대로 사용하고, 충돌이 발생한 경우에 CW의 크기를 최근에 성공했던 CW의 크기로 복구시키는 방법을 사용한다. 추가적으로 FRDCF의 성능을 향상시키기 위해 N-DCF<sup>[5]</sup> 알고리즘을 적용한 N-FRDCF를 제안하였다. 제안하는 알고리즘을 포화상태에서 수학적 분석과 시뮬레이션을 통하여 검증하였고, N-FRDCF(N=2)는 802.11 DCF와 상호 호환성을 유지하면서 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

## II. 관련 연구

### 1. IEEE 802.11 DCF

DCF(Distributed Coordination Function)는 IEEE 802.11 표준에서 여러 스테이션이 무선매체에 대해 동시에 경쟁적으로 접근할 때 발생할 수 있는 기본적인 충돌을 해결하는 방법이다. DCF는 지수적으로 증가하는 백오프 알고리즘을 적용하고 백오프 스테이지(backoff stage), 백오프 카운터(backoff counter), CW의 세 가지 매개변수를 사용한다. 백오프 스테이지를  $i$ 라 하면  $i$ 는 0에서  $L$ (최대 스테이지) 사이의 값을 갖고, 각 패킷 전송에서 백오프 카운터는 0과  $CW_{i-1}$  사이의 범위에서 균일한 확률로 랜덤(random)하게 선택된다. 충돌이 발생하면 채널에 패킷을 전송하려는 스테이션들이 많다는 것을 의미하기 때문에, 다음 전송 시도 시의 충돌 가능성을 감소시키기 위해 해당 스테이션은  $CW_i$ 의 크기를 두 배 즉  $CW_{i+1} = 2 \times CW_i$  로 증가시킨다. 전송이 성공한 경우에는  $CW_i$ 를 초기 값인  $CW_0 = CW_{min}$ 으로 설정한다. CW의 최대 크기는  $CW_{max}$ 가 된다. 다음은 DCF 알고리즘을 보여준다.

```

if 전송 성공 then
     $CW_{new} = CW_{min}$ 
else
     $CW_{new} = \min(CW_{max}, 2 \times CW_{old})$ 
end if
    
```

그림 1은 DCF 기법에서 단말기의 기본적인 동작을 보여 주고 있다. 802.11에서의 프레임간 간격(Interframe

Space)은 채널의 접근을 결정하기 위하여 사용된다. 그 종류는 짧은 프레임간 간격(SIFS: Short InterFrame Space), DCF 프레임간 간격(DIFS: DCF InterFrame Space), PCF 프레임간 간격(PIFS: PCF InterFrame Space)이 있다. SIFS는 긍정 확인 응답(ACK)과 같은 최고 우선권을 가진 프레임의 전송을 위해 사용되고, DIFS는 최소의 채널 유희 시간이다. DIFS보다 더 긴 시간이 지나고 있는 동안 채널이 유희 상태이면 단말기들은 채널에 접근하여 전송을 시도할 수 있다. PIFS는 무경쟁(Contention Free) 동작 중에 PCF(Point Coordination Function)에 의하여 사용된다. DCF는 기본 접근 방법에서 채널이 유희 상태이면 단말기들은 백오프 카운터를 생성하여 채널에 대한 접근을 대기한다. 채널에 대한 접근을 기다리는 단말기들은 채널 상태를 확인하면서 동시에 자신의 백오프 카운터를 감소시켜 나간다. 만약 특정 단말기의 백오프 카운터가 0이 될 때 채널이 유희 상태이면 그 단말기는 채널에 접근하여 프레임을 전송하게 되며, ACK 프레임의 수신을 통해 전송에 대한 성공 여부를 결정한다. 프레임이 성공적으로 전송되었을 경우 CW의 크기를 초기화하고, 전송이 충돌로 감지된 경우에는 CW의 크기를 2배로 증가시킨다. 백오프 카운터가 0이 되기 전에 채널을 다른 단말기가 사용하게 되면 백오프 카운터를 감소시키는 것을 중단하고 DIFS 시간을 기다린 후 채널 접근 동작을 다시 시작한다.

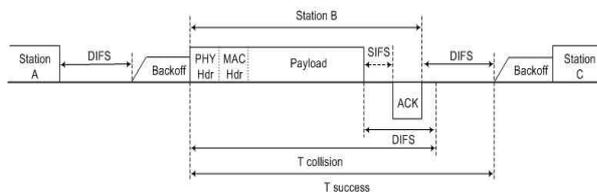


그림 1. DCF의 기본 접근 기법  
Fig.1 Basic Access Mechanism of DCF

무선 채널에 경쟁하는 단말기의 수가 적은 경우에는 전송 성공 이후에  $CW_{min}$  값을 할당 하더라도 충돌 확률에 크게 영향을 주지 않지만, 단말기의 수가 많아 경쟁이 심한 경우에는  $CW_{min}$ 을 할당하게 되면 충돌이 발생할 확률이 높아져 채널의 사용률이 낮아진다. 포화(saturation) 조건 하에서의 DCF 기법에 대한 수학적 분석 모델은 G. Bianchi가 제안하였다<sup>[2]</sup>.

## 2. Slow CW Decrease 기법

DCF의 재설정 문제점을 보완하기 위하여 Qiang Ni는 SD(Slow CW Decrease)기법에서 전송 성공 이후의 CW의 크기를 천천히 감소시키는 방법을 제안하였다<sup>[4]</sup>. SD 기법은 경쟁하는 스테이션들의 수가 많을 때 충돌 확률을 감소시키기 위하여, CW의 크기를 초기화시키지 않고, 일정 비율( $d$ : 0에서 1 사이의 값을 갖는 고정 저속 감쇠 인수)로 천천히 감소시며,  $d=0.5$ 인 경우에 DCF 기법과 비교하여 가장 높은 처리율을 보여주고 있다. 다음은 SD의 알고리즘을 보여준다.

*if* 전송 성공 *then*

$$CW_{new} = \max(CW_{min}, d \times CW_{old})$$

*else*

$$CW_{new} = \min(CW_{max}, 2 \times CW_{old})$$

*end if*

## 3. Gentle DCF 기법

GDCF는 경쟁윈도우의 크기를 “완만하게(gentle)” 감소시켜 충돌이 발생할 확률을 감소시킨다<sup>[5]</sup>. SD 알고리즘과의 차이점을 단순히 비교하면, GDCF는  $c$ 개의 연속된 전송이 성공하면 CW의 크기를 반으로 줄인다. GDCF에서 CW 크기를 완만하게 감소시키는 방법은 경쟁에 참여하는 스테이션들의 수가 많은 경우에 채널의 사용률을 크게 향상시킬 수 있다. GDCF는 현재까지 연속해서 전송에 성공한 프레임의 수를 기록하는 카운터를 유지해야 한다. GDCF의 알고리즘은 다음과 같다:

스테이션이 성공적으로 프레임을 전송하면, GDCF는 CW의 크기를 유지시키고, 연속 성공을 저장하는 카운터를 1 증가시킨다.

스테이션이  $c$ 개의 연속된 프레임을 전송하는데 성공하면, GDCF는 CW를 반으로 줄이고 스테이지  $i$ 에서의 백오프 카운터를  $[0, CW_{i-1}]$  사이의 랜덤 값으로 선택한다.

연속 성공한 전송을 기록하는 카운터는 0으로 초기화한다. 스테이션이 전송한 프레임에 충돌이 발생하면 DCF에서와 같이 CW의 크기를 두 배로 증가시키고, 연속된 성공을 기록하는 카운터는 0으로 재설정한다.

그림 2는 GDCF의  $c$ 값에 따른 포화 처리율을 나타낸다. DCF의 처리율과 비교하기 위해 1에서 50개의 스테이

선 수에 따른 정규화된 포화 처리율을 나타내고 있으며,  $c$ 값은 1, 2, 4, 8, 16에 대해 실험하였다. 실험에 사용된 매개변수 값들은 표 1에 나타내었다. 그림에서 선으로 표시된 값은 수학적 분석(analysis) 결과 값을 나타내며, 기호로 표시된 값은 시뮬레이션 결과 값을 나타낸다.  $c$ 값이 증가함에 따라 전체적인 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있지만,  $c=16$ 의 경우에는 스테이션의 수가 10보다 작은 부분에 대해서 성능이 저하되는 현상을 볼 수 있는데, 이 경우는 경쟁에 참여하는 스테이션의 수가 적은데도 불구하고 충돌이 발생했을 경우 CW의 값을 완만하게 감소시킴으로 인해 채널 유희 시간이 감소하기 때문이다. 이러한 이유로 C. Wang 등은 가장 좋은 성능을 나타내는  $c$ 의 값을 4 또는 8로 언급하고 있어<sup>[6]</sup>, 본 논문에서는  $c$ 의 값을 4로 고정하여 사용하였다.

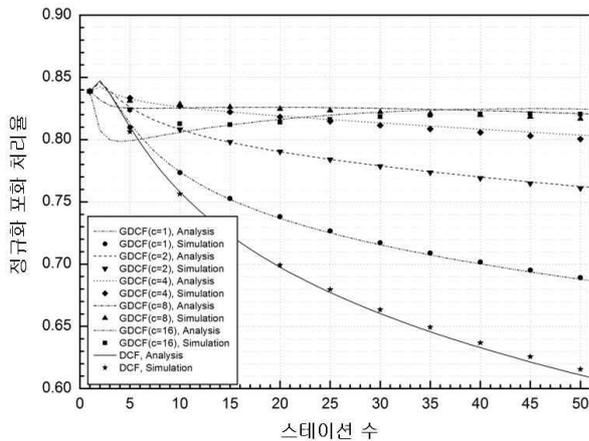


그림 2. GDCF의 포화 처리율  
Fig.2 Saturation throughput of GDCF

#### 4. N-DCF 기법

N-DCF의 채널 접근 방법은 DCF와 동일한 방법을 사용한다. DCF와의 차이점을 간단히 설명하면, N-DCF 스테이션의 백오프 카운터가 0가 되어 프레임 전송을 시작하면 지정한 N개의 프레임을 연속해서 전송한다. 첫 번째 프레임 전송에 성공하면 N-1개의 프레임에 대해서 다른 스테이션들과 채널 사용을 위해 경쟁하지 않고 바로 전송하여 충돌 확률 및 백오프로 인한 유희 시간을 제거하여 성능을 향상시킨다. N-DCF의 알고리즘은 다음과 같다:

스테이션인 첫 번째 프레임 전송에 성공하면, 수신측 스테이션으로부터 이전 프레임에 대한 ACK를 수신한

후 SIFS 시간을 기다린 후 다음 프레임을 전송하는 방식으로 최대 N개의 데이터 프레임을 전송한다.

N번째 데이터 프레임을 전송한 후 N-DCF 스테이션은 백오프를 시작하여 일반 경쟁 과정을 다시 시작한다.

스테이션이 전송할 N개의 데이터 프레임을 가지고 있지 않으면, 일반적인 백오프 과정을 시작한다. 재전송 시도 동안은 백오프 과정에 진입하기 전에 한 개의 데이터 프레임만 보내진다.

### III. 제안 알고리즘

FRDCF의 목표는 802.11 DCF와 무선 채널을 공유하는 환경에서 성능을 향상시키는 것이다. FRDCF는 DCF의 재설정 방법을 그대로 유지하고, DCF에 충돌 해결을 위한 RSC(returnable stage counter) 카운터를 추가하여 사용하며, FRDCF의 더 좋은 성능을 얻기 위해 N-DCF 기법<sup>[6]</sup>을 적용한 N-FRDCF를 제안한다.

#### 1. FRDCF 기법

FRDCF 기법은 스테이션이 프레임을 전송하는 데 성공했을 경우, 스테이션의 해당 스테이지는 채널의 현재 경쟁 수준을 나타낸다고 정의한다. 프레임 전송에 성공하면 전송에 성공한  $CW_i$ 를 저장해 두고 CW는 0으로 초기화시킨다. 바로 다음의 전송 시도에서 충돌이 발생했을 경우에, FRDCF는 다음 CW를 가장 최근에 성공한  $CW_i$ 로 변경한다. 전송이 성공한 직후의 전송 시도가 충돌이 발생한다는 것은 현재의 경쟁 상태에 비해 CW의 크기가 작다고 판단할 수 있고, 바로 직전에 성공한 CW의 크기가 현재의 경쟁 상태에서 추가적인 충돌이 발생할 확률이 적고 또한 과도한 크기의 CW에 의해 발생할 수 있는 유효 채널을 최소화할 수 있는 적합한 크기라고 판단할 수 있기 때문이다. FRDCF는 이와 같이 빠르고 적절한 CW 크기의 변경으로 충돌의 발생 확률을 감소시켜 성능을 향상시킨다. FRDCF는 다음과 같이 동작하는 간단한 알고리즘을 제공한다:

RSC와 현재 스테이지는 초기에 0으로 설정한다.

충돌이 발생하였을 경우, 현재 스테이지가 RSC보다 작으면, FRDCF는 다음 스테이지를 RSC의 값으로 대체하고, 그렇지 않으면 현재 스테이지에 1을 더한다.

전송에 성공하면, FRDCF는 현재 스테이지를 RSC에

저장한 후 초기화시킨다.

연속된 성공일 경우에는 RSC를 1씩 감소시킨다.

### 2. N-FRDCF 기법

N-DCF는 N-1개의 프레임 전송에 대해 충돌 및 평균 백오프 오버헤드를 제거하여 성능을 향상시킨다. N-FRDCF는 N-DCF의 알고리즘을 FRDCF에 적용하며, 그림 3은 이 방법을 보여준다.

N-FRDCF의 알고리즘은 FRDCF의 알고리즘에 다음을 추가적으로 적용한다:

전송이 성공할 때마다 해당 스테이션은 N개의 데이터 프레임을 전송하고, 각각은 이전 프레임에 대한 ACK 응답을 받은 후에 SIFS 동안 기다린다.

N번째 데이터 프레임을 전송한 후에, 해당 스테이션은 일반적인 백오프 과정을 다시 시작한다. N-FRDCF 기법은 N=1일 때 FRDCF와 동일하다.

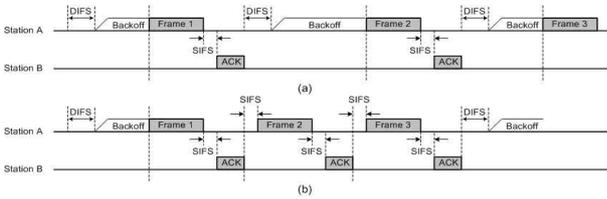


그림 3. 기본 접근 기법에서 N-FRDCF와 FRDCF의 비교  
(a) FRDCF 타이밍 다이어그램 (b) N-FRDCF 기법(N=3)

그림 3. Comparison of N-FRDCF and FRDCF in Basic Access Mechanism  
(a) FRDCF Timing Diagram (b) N-FRDCF Mechanism(N=3)

## IV. 수학적 분석

### 1. FRDCF의 수학적 분석

그림 4는 FRDCF의 마코프 체인 모델(Markov Chain Model)의 상태 전이 다이어그램을 보여준다. FRDCF의 성능을 평가하기 위해 G. Bianchi에 제시된 가정들을 사용하였다<sup>[2]</sup>. 고정 수 n개의 경쟁 스테이션들이 있고, 각 스테이션들은 항상 보낼 프레임들이 있다고 가정한다. 하나의 스테이션에 대하여 b(t)는 스테이션이 전송을 하기 전에 기다려야 하는 시간의 양에 대한 백오프 카운터를 나타낸다. b(t)의 값은 백오프 스테이지 I일 때 (0,  $W_i-1$ ) 사이에서 균일한 확률로 랜덤하게 선택된다.

$$W_i = \begin{cases} 2^i W_{\min}, & 0 \leq i \leq m \\ 2^m W_{\min}, & m+1 \leq i \leq L. \end{cases} \quad (1)$$

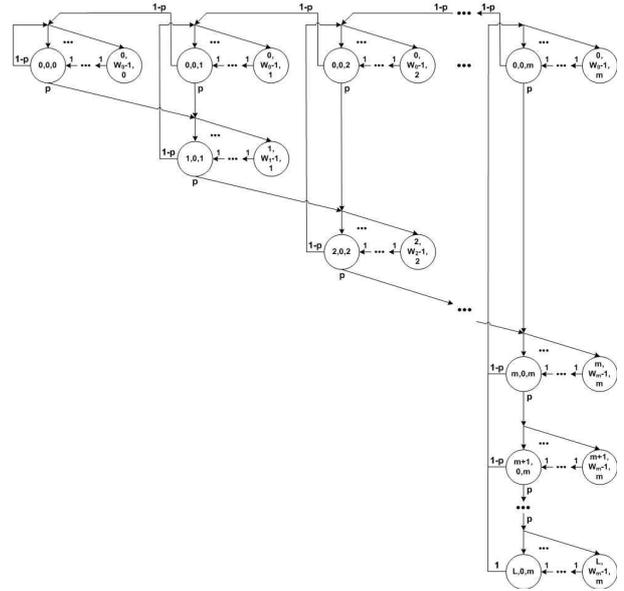


그림 4. FRDCF의 마코프 체인 모델

Fig.4 Markov Chain Model of FRDCF

식 (1)에서  $W_{\min}$ 은 초기 백오프 윈도우를 나타낸다. s(t)는 백오프 스테이지를 나타내는 랜덤 프로세스이고, c(t)는 시간 t에서 회복 스테이지(0, ..., m)를 나타내는 랜덤 프로세스를 나타낸다. 이전 가정들을 사용하면, 이 시스템은 3차 이산 마코프 체인 (s(t), b(t), c(t))로 모델화 될 수 있다.

$$b_{i,k,r} = \lim_{t \rightarrow \infty} P[s(t) = i, b(t) = k, c(t) = r]$$

이 체인에 대해 정상분포(stationary distribution)를 가진다고 가정한다. 정상 상태에서 연쇄 정칙(chain regularities)을 통해 다음과 같은 관계를 유도한다:

$$b_{i,k,r} = \left( \frac{W_i - k}{W_i} \right) b_{i,0,r}, \quad k \in (0, W_i - 1). \quad (2)$$

$$b_{i,k,r} = \begin{cases} \left( \frac{p}{1-p} \right)^r b_{0,0,0} & i = 0, r \in (0, m) \\ \left( \frac{p}{1-p} \right)^r b_{0,0,0} & i \in (1, m), r = i \\ p^{i-m} \left( \frac{p}{1-p} \right)^r b_{0,0,0} & i \in (m+1, L), r = m. \end{cases} \quad (3)$$

식 (3)에서 L은 재전송 한계 값이다.

$$b_{i,0,r} = b_{0,0,r}, \quad i \in (0, m), r = i. \quad (4)$$

식 (4)에서  $b_{0,0,0}$ 의 값을 정규화 조건을 부여하여 결정된다.

$$1 = \sum_{i=0}^L \sum_{k=0}^{W_i-1} \sum_{r=0}^m b_{i,k,r}. \quad (5)$$

식 (2)~(5)를 사용하여, 식 (6)에서  $b_{0,0,0}$ 을 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{2}{b_{0,0,0}} &= \sum_{r=0}^m \left( \frac{p}{1-p} \right)^r + \sum_{i=1}^m \left( \frac{p}{1-p} \right)^i \\ &+ \left( \frac{p}{1-p} \right)^m \sum_{i=m+1}^L p^{i-m} \\ &+ W_0 \left\{ \sum_{r=0}^m \left( \frac{p}{1-p} \right)^r + \sum_{i=1}^m \left( \frac{2p}{1-p} \right)^i \right. \\ &\quad \left. + \left( \frac{2p}{1-p} \right)^m \sum_{i=m+1}^L p^{i-m} \right\}. \end{aligned} \quad (6)$$

$\tau$ 는 스테이션이 슬롯 시간에 전송하는 확률로 정의된다. 스테이션은 백오프 스테이지에 관계없이 백오프 카운터가 0이 될 때 전송하기 때문에, 전송된 프레임이 충돌에 포함될 확률 p를 계산하기 위해서 p는 주어진 슬롯 시간에서 나머지 n-1개의 스테이션들 중 최소한 한 개의 스테이션이 전송할 확률이 되는 것을 참조한다.

$$\begin{aligned} \tau &= \sum_{i=0}^L \sum_{r=0}^m b_{i,0,r} \\ &= \left\{ 1 + 2 \sum_{i=1}^m \left( \frac{p}{1-p} \right)^i + \left( \frac{p}{1-p} \right)^m \sum_{i=m+1}^L p^{i-m} \right\} b_{0,0,0}. \end{aligned} \quad (7)$$

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (8)$$

에서  $\tau$ 는 식 (7)에서 유일한 미지수 p의 함수로 주어진다. p와  $\tau$ 는 식 (7)과 (8)에 대해 수치해석을 사용하여 구할 수 있다.  $P_b$ 는 랜덤하게 선택된 백오프 슬롯에서 전송이 발생할 확률이고,  $P_s$ 는 스테이션이 슬롯에서 프레임이

성공적으로 전송할 확률로

$$P_b = 1 - (1 - \tau)^n, \quad P_s = n\tau(1 - \tau)^{n-1} \quad (9)$$

와 같이 구해진다. 그러므로 정규화된 포화 처리율 S는 식 (10)과 같은 비율로 표현할 수 있다.

$$S = \frac{NP_s E[P]}{(1 - P_b)\sigma + P_s T_s(N) + (P_b - P_s)T_c}. \quad (10)$$

식 (10)에서  $E[P]$ 는 평균 프레임 길이,  $\sigma$ 는 유틸리티 슬롯의 시간간격,  $T_s(N)$ 은 채널이 전송에 성공하여 N개를 전송하는 데 걸리는 평균 시간이고,  $T_c$ 는 채널이 충돌에 의해 사용되는 평균 시간을 나타낸다.

$$\begin{aligned} T_s(N) &= DIFS + N(H + E[P] + 2\delta + ACK) \\ &\quad + (2N - 1)SIFS, \\ T_c &= DIFS + H + E[P] + \delta \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)에서  $H = PHY_{hdr} + MAC_{hdr}$ 은 프레임 헤더의 크기이고,  $\delta$ 는 전파 지연 시간이다. 이 식에서  $N=1$ 이면 FRDCF가 된다.

시스템의 성능을 분석하기 위해, 표 1에 있는 매개변수들을 사용하고 패이로드 길이는 1023 바이트,  $W_{min}=32$ ,  $m=5$ ,  $L=7$ 을 사용하였다. 그림 5는 N-FRDCF의 분석 및 실험 결과를 나타낸다. 그림에 나타난 분석 결과와 시뮬레이션 결과를 비교해 보면 제안한 모델이 매우 정확하다는 것을 알 수 있다. 이 모델의 처리율은 N이 증가함에 따라 향상된다.

표 1. 802.11 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. 802.11 Simulation Parameters

Packet payload	8184 bits
MAC header	272 bits
PHY header	128 bits
ACK length	112 bits + PHY header
RTS length	160 bits + PHY header
CTS length	112 bits + PHY header
Channel Bit Rate	1 Mbit/s
Propagation Delay	1 $\mu$ s
SIFS	28 $\mu$ s
DIFS	128 $\mu$ s
Slot Time	50 $\mu$ s

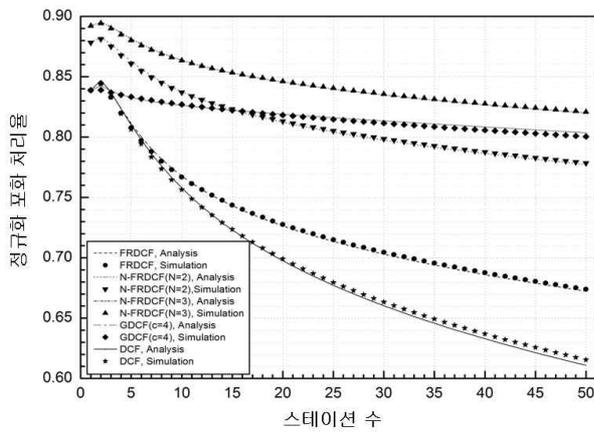


그림 5. N-FRDCF의 포화 처리율  
Fig.5 Saturation throughput of N-FRDCF

2. 이기종 환경에 대한 수학적 분석

GDCF와 DCF, FRDCF와 DCF가 동일한 무선 채널을 사용하는, 이기종 시스템에 대한 성능을 분석하기 위해 Xiao의 논문에서 사용된 분석 방법을 참조한다<sup>[3]</sup>. 802.11 DCF에서의  $n$ 과  $\tau$ 를  $n'$ 과  $\tau'$ 라 하면, 다음의 확률 값들을 유도할 수 있다.

$$P_b^{HS} = 1 - (1 - \tau)^n(1 - \tau')^{n'}, \quad (12)$$

$$P_s^{HS} = n\tau(1 - \tau)^{n-1}(1 - \tau')^{n'} + n'\tau'(1 - \tau')^{n'-1}(1 - \tau)^n$$

$P_b^{HS}$ 는 이기종에서의  $P_b$ 를 나타내고,  $P_s^{HS}$ 는 이기종에서의  $P_s$ 를 나타낸다. 이 값들을 사용하여 이기종 시스템에서의 포화 처리율을 구할 수 있다. 그림 6은 GDCF(c=4)와 DCF에 대한 포화 처리율을 나타내고, 그림 7과 그림 8은 각각 N=1, N=2인 N-FRDCF와 DCF의 결과를 나타낸다. 무선 채널을 공유하는 스테이션의 총 수를 50개로 고정하여, FRDCF 스테이션의 수가 20개이면 DCF 스테이션의 수는 30개가 된다. 이 세 개의 그림에서 가로축은 스테이션의 수를 나타내고, 가로축의 상단이 DCF 스테이션의 수를 나타내고 하단은 GDCF 또는 FRDCF 스테이션의 수를 나타낸다. 그림에서 선 또는 도형으로 표시된 각각의 결과는 한 개의 스테이션에 해당하는 평균 처리율을 나타낸다. 그림 6은 GDCF가 기본 DCF보다 매우 낮은 처리율을 가지는 것을 보여준다. GDCF 스테이션들은 천천히 감소하는 CW 크기로 인하여, 프레임 전송할 기회가 매우 낮아지게 되고, 이 결과로 채널은 대부분 기본 DCF에 의해 점유되는 것을 확인

할 수 있다. 그림 6에서 802.11 DCF 스테이션의 수가 1일 때(GDCF 스테이션의 수는 49), 이 스테이션의 처리율은 GDCF 스테이션의 처리율 보다 약 14배가 더 높아진다. 무선 채널에 참여하는 GDCF 스테이션의 수가 증가함에 따라 DCF 스테이션의 채널 점유율은 지수적으로 증가하는 반면, GDCF 스테이션의 채널 점유율은 전체적으로 증가하지 못하는 점은 본 논문에서 제시하고자 하는 바를 잘 보여준다. GDCF 스테이션이 참여하는 무선 채널에 DCF 스테이션들이 소수만 참여하는 경우에도 채널 사용률의 심각한 불균형 현상이 발생하게 된다. 그림 7에 나타난 바와 같이 FRDCF의 경우에는 DCF 스테이션의 처리율이 약 2배 정도 더 높아지는 것을 확인할 수 있다. DCF가 전체적으로 FRDCF에 비해 채널 점유율이 높지만 참여하는 스테이션의 수에 관계없이 일정한 비율을 유지하고 있다는 점이 GDCF와의 큰 차이를 보인다. 그림 8에서는 N-FRDCF(N=2)의 처리율이 802.11 DCF의 처리율과 매우 비슷하다는 것을 볼 수 있다. 그림 7에서의 채널 점유율의 차이가 N=2를 적용한 N-FRDCF에서는 보완될 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 통해 이기종 환경에서 N-FRDCF가 기본 DCF와 호환성을 제공함은 물론 기본 DCF의 성능을 향상시킨다는 것을 확인할 수 있다. 경쟁에 참여하는 N-FRDCF 스테이션의 수가 증가할수록 DCF, N-FRDCF의 성능이 향상됨은 물론 그 결과로 무선 채널 전체의 성능도 향상된다. 그림 5에서 스테이션의 수가 50개일 때, 단일 GDCF(c=4)의 경우 80% 가량의 처리율을 보이고 N-FRDCF(N=2)는 76% 가량의 처리율을 보인다. 4% 가량의 차이를 나타내고 있지만, 이기종 환경을 고려하면 N-FRDCF가 성능 면에서도 매우 우수함을 인지할 수 있을 것이다.

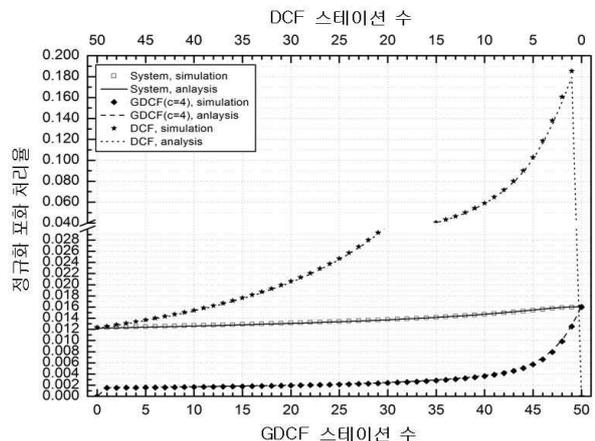


그림 6. 포화 처리율: GDCF와 DCF  
Fig.6 Saturation throughput : GDCF and DCF

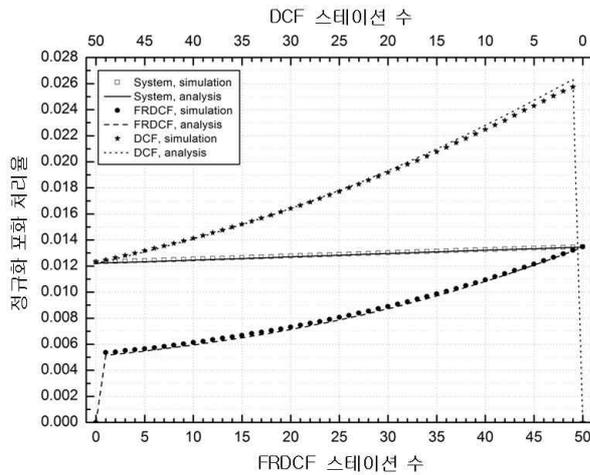


그림 7. 포화 처리율: FRDCF와 DCF  
Fig.7 Saturation throughput : FRDCF and DCF

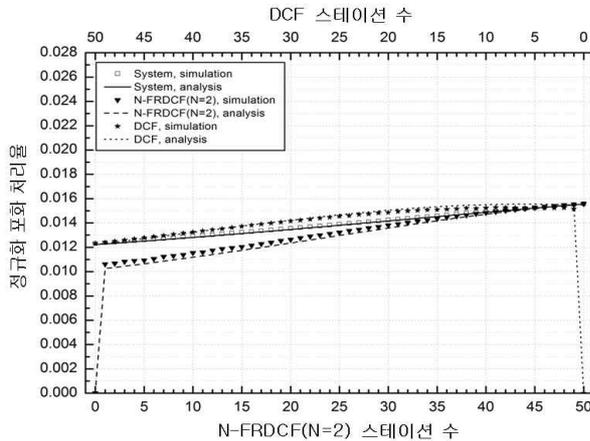


그림 8. 포화 처리율: N-FRDCF(N=2)와 DCF  
Fig.8 Saturation throughput : N-FRDCF(N=2) and DCF

### V. 결론

이 논문에서 FRDCF, N-FRDCF의 수학적 분석 모델 및 시뮬레이션을 결과를 제공하여, 802.11 DCF와 동일한 무선 채널에서 경쟁하는 이기종 환경에 대한 성능을 분석하였다. 802.11 DCF의 CW 크기를 재설정하는 부분을 개선한 SD와 GDCF에 대해 살펴보았으며, 이들의 성능 개선을 위한 알고리즘들이 이기종 환경에서 전송 시도 확률의 감소를 초래하여 심각한 성능 저하가 발생할 수 있음을 수학적 분석 및 시뮬레이션을 통해 확인하였다. FRDCF 알고리즘은 매우 간단하면서도 802.11 DCF와

공존하는 환경에서 호환성을 유지할 수 있고 802.11 DCF의 성능 또한 향상시키는 것을 확인하였고, 경쟁력과 성능을 더욱 향상시킨 N-FRDCF는 802.11 DCF와 매우 우수한 호환성을 제공하면서, 802.11 DCF는 물론이고 GDCF 등과 비교해도 뒤지지 않는 성능을 제공함을 확인하였다. 전 세계적으로 보편화된 802.11 DCF 알고리즘을 사용하고 있는 무선 장비들이 새로운 알고리즘을 사용하는 장비로 일시에 교체될 수 없는 것이 현실이기 때문에, 이기종 환경에 대한 고려는 상업적으로도 매우 중요한 요소라 할 수 있으며, 이를 고려한 관련 연구들이 계속되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEEE, "Standard for wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specification," IEEE 802.11 WG, Aug. 1999.
- [2] G. Bianchi, "IEEE 802.11 - Saturation Throughput Analysis", IEEE Communications Letter, vol.2, no.12, pp.318-320, Dec. 1998.
- [3] Y. Xiao, "An analysis for differentiated services in IEEE 802.11 and IEEE 802.11e wireless LANs," Distributed Computing Systems, 2004. Proceedings. 24th International Conference on, pp.32-39.
- [4] Qiang Ni, Imads Aad, Chadi Barakat and Thierry Turletti, "Modeling and analysis of slow CW decrease for IEEE 802.11 WLAN," Proceedings of PIMRC, Sep. 2003.
- [5] C. Wang, B. Li, and L. Li, "A new collision resolution mechanism to enhance the performance of IEEE 802.11 DCF", IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 53, no. 4, pp. 1235-1246, Jul. 2004.
- [6] K. Meerja and A. Shami, "Analysis of New Distributed-Media Access-Control Schemes for IEEE 802.11 Wireless Local-Area Networks", IEEE Trans. Veh. Technol, vol. 56, no. 4, pp. 1797-1812, Jul. 2007.

저자 소개

윤 희 돈(정회원)



- 1996년 성균관대학교 전자공학과(학사)
- 2001년 성균관대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2008년 성균관대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 2009년~현재 DRM inside 수석연구원

원

<주관심분야 : 영상통신, 무선네트워크, 네트워크 모델링, 디지털시네마, 저작권보호기술(DRM)>

김 태 현(정회원)



- 1993년 중앙대학교 전자계산학과(학사)
- 1993년~2000년 SDS 정보기술연구소 선임연구원
- 2000년~2004년 파수닷컴 개발센터장
- 2005년~현재 DRM inside 전략기획실장

<주관심분야 : 무선네트워크, 네트워크 모델링, 저작권보호기술(DRM), 정보보안기술, 디지털시네마>

조 성 환(정회원)



- 1980년 성균관대학교 전자공학과(학사)
- 1982년 성균관대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1991년 성균관대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1982년~1985년 해군사관학교 전기

및 전자공학과 전임강사

- 1997년 미국 Columbia 대학 CATT Visiting Scholar
- 1985년~2002년 동서울대학 컴퓨터공학과 부교수
- 2002년~현재 금강대학교 교수

<주관심분야 : 영상통신, 무선네트워크, 저작권보호기술(DRM)>