

# 무선 LAN을 위한 opportunistic 패킷 스케줄링 및 매체접근제어

중신회원 박형근\*

## Opportunistic Packet Scheduling and Media Access Control for Wireless LANs

Hyung-Kun Park\* *Lifelong Member*

요약

시변 무선채널에서 버스트한 패킷을 효율적으로 전송하기 위해서는 다중사용자 다이버시티 이득을 극대화할 수 있는 opportunistic 스케줄링 기법이 중요한 기술적 요소가 되고 있다. 본 논문에서는 무선 LAN 네트워크에 적용 가능한 분산화된 opportunistic 스케줄링기법을 제안하였다. Opportunistic 스케줄링방식의 하나인 비례공정 알고리즘은 중앙집중형 네트워크에 적용되었으나 본 논문에서는 확률적 방식을 이용하여 분산화된 방식의 비례공정 스케줄링 (DPFS: Distributed Proportional Fair Scheduling) 방식과 매체 접근제어 방식을 설계하였다. 제안한 DPFS방식에서는 각각의 수신기들은 채널상태를 파악한 후 독립적으로 자신의 우선순위를 확률적 방법으로 계산하기 때문에 모든 수신기의 채널 정보를 수집하는데 필요한 오버헤드를 크게 줄일 수 있다. 성능분석을 위하여 시뮬레이션을 수행하였으며 제안된 스케줄링 방식이 기존의 분산 스케줄링방식에 비하여 전송률 성능에서 우수함을 보이고 있으며 관련 파라미터를 조절함으로써 공평성과 전송률성능에 대한 제어가 가능함을 보이고 있다.

**Key Words** : Distributed proportional fair scheduling, Opportunistic scheduling, WLAN, Multiuser diversity

### ABSTRACT

For the efficient transmission of burst data in the time varying wireless channel, opportunistic scheduling is one of the important techniques to maximize multiuser diversity gain. In this paper, we propose a distributed opportunistic scheduling scheme for wireless LAN network. A proportional fair scheduling, which is one of the opportunistic scheduling schemes, is used for centralized networks, whereas we design distributed proportional fair scheduling (DPFS) scheme and medium access control with distributed manner. In the proposed DPFS scheme, each receiver estimates channel condition and calculates independently its own priority with probabilistic manner, which can reduce excessive probing overhead required to gather the channel conditions of all receivers. We evaluate the proposed DPFS using extensive simulation and simulation results show that DPFS obtains higher network throughput than conventional scheduling schemes and has a flexibility to control the fairness and throughput by controlling the system parameter.

\* 한국기술교육대학교 정보기술공학부 (hkpark@kut.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-09-410, 접수일자 : 2007년 9월 12일, 최종논문접수일자 : 2008년 1월 15일

## I. 서 론

인터넷사용의 증대와 무선통신의 발전으로 인해 WLAN 과 같은 무선 패킷 데이터 서비스에 대한 요구가 크게 증가하고 있다. 패킷 데이터 서비스의 요구가 증가함에 따라 제한된 자원을 효율적으로 사용하고 시스템 성능을 극대화할 수 있는 패킷 스케줄링 기법이 중요한 기술적 요소가 되고 있다. 패킷 스케줄러는 전체시스템의 성능향상을 위해 패킷의 전송율과 전송시점을 결정하고 시스템이 과부하가 발생하지 않도록 패킷 트래픽 량을 조절하게 된다. 데이터 패킷의 버스트한 특성과 시간 및 위치에 따라 변하는 무선채널의 특성은 시스템 성능을 개선할 수 다중사용자 다이버시티를 이득을 제공하게 되며 이를 위한 opportunistic 스케줄링에 관한 연구가 많이 진행되고 있다.

지금까지 제안된 여러 스케줄링 방법 중에서 대표적인 opportunistic스케줄링 방법의 하나는 비례공정 (proportional fair) 스케줄링방법이다<sup>[1]</sup>. 비례공정 알고리즘에서는 평균 용량에 비하여 상대적으로 가장 좋은 채널환경을 갖는 사용자가 채널을 점유할 권한을 갖는다. 비례공정 알고리즘은 사용자 들간의 공평성을 유지하면서도 다중사용자 다이버시티를 최대한 이용하려는 방식이다. 비례공정 스케줄링과 같은 opportunistic 스케줄링방식은 송신기가 모든 단말의 채널정보를 파악하고 스케줄링하여 채널을 할당하는 구조이기 때문에 셀룰러 네트워크와 같이 단말의 채널정보를 수집할 수 있는 시스템에 적합한 알고리즘이다.

이와 같은 opportunistic 스케줄링방식은 다중사용자 다이버시티 이득을 얻기 위해 모든 단말의 채널정보를 알고 있어야 한다. 그러나 WLAN과 같은 네트워크에서 중앙 집중화된 opportunistic 스케줄링 방식은 채널정보의 전달을 위한 많은 오버헤드를 발생시킨다. 또한 802.11 WLAN에는 수신기의 채널정보를 모두 수집할 수 있는 구조를 지원하고 있지 않다. 따라서 중앙 집중화된 일반적인 스케줄링 방식을 WLAN과 같은 시스템에 적용할 수 없는 문제가 발생한다. 이와 같은 WLAN시스템을 위해서는 분산된 방식의 opportunistic 스케줄링방식이 필요하며 현재까지 WLAN에서의 opportunistic 스케줄링을 적용하기 위한 몇몇 연구들이 진행되어 오고 있다<sup>[2]-[4]</sup>.

논문 [2]에서는 WLAN에서 다중사용자 다이버시

티를 이용하기 위한 매체접근제어 방식으로서 OSMA (Opportunistic Packet scheduling and media access control)을 제안하고 있다. OSMA에서는 송신기는 다중의 후보 수신기를 선택하고 순번을 지정하여 RTS를 통해 수신기들에 전달한다. 이때 후보수신기의 선택과 순번은 순환순서(Round Robin)방식을 이용하고 있다. RTS를 수신한 수신기들은 채널상태를 측정하고 수신신호강도가 특정 수준을 넘을 때만 CTS를 송신한다. OSMA에서는 채널상태가 열악한 수신기에 대한 송신을 제한할 수 있으나, 후보 수신기들은 수신신호가 특정 임계치를 넘으면 더 이상 신호강도의 세기와는 관계없이 CTS 전송에 대한 우선권을 부여함으로써 다중사용자 다이버시티의 효과를 크게 증가시키지 못하고 있다.

본 논문에서는 WLAN에서 다중사용자 다이버시티를 효과를 극대화하기 위하여 새로운 분산화된 비례공정 스케줄링(DPFS: distributed proportional scheduling)을 제안하려 한다. 중앙 집중형의 네트워크에만 적용이 가능했던 기존의 비례공정 스케줄링 방식을 개선하여 WLAN과 같은 분산화된 네트워크에 적용할 수 있는 분산화된 비례공정 스케줄링 알고리즘을 설계하고 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 비교분석 한다.

## II. 분산화된 비례공정 스케줄링 (DPFS)의 구조

본 논문에서의 분산화된 스케줄링기법은 multi-cast RTS 와 prioritized CTS 메커니즘 [2]을 이용한다. 송신기는 데이터를 전송하기 전에 데이터를 전송 받을 후보 수신기를 선택한다. 송신기는 선택된 후보 수신기들에 RTS패킷을 전송한다. RTS패킷 내에는 수신기들의 현재까지의 평균 전송률과 패킷의 크기 정보가 함께 전송된다. 그림 1은 RTS와 CTS의 프레임 포맷을 보여주고 있다.

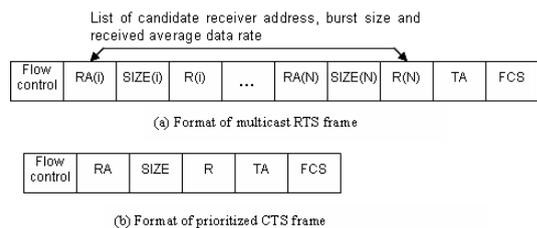


그림 1. RTS 와 CTS의 프레임 포맷

RTS에서 각 트래픽에 대한 정보로써  $RA(i)$ ,  $Size(i)$  그리고  $R(i)$  값을 포함한다. 이때  $RA(i)$  는 각 후보 수신기  $i$  에 대한 주소를 의미하고  $Size(i)$  는 수신기  $i$  로 전송될 패킷의 크기를 의미한다.  $R(i)$  는 현재까지 수신기  $i$  에 전송된 데이터에 대한 평균전송률의 의미한다. RTS내의 후보 수신기들의 순서는 순환순서 방식에 따른다. RTS 패킷을 수신한 후보 수신기들은 자신의 주소가 포함되어 있는지를 확인한 후 RTS 를 이용하여 채널정보를 파악하고 수신 SNR을 계산한다. (1)는 송신기  $i$ 로부터  $j$  수신기에 수신된 SNR을 보여준다. 본 논문에서는 경로손실과 레일레이 페이딩환경을 고려하였다.

$$SNR_{ij}(t) = \frac{P_i(t)d_{ij}(t)^{-n}\alpha(t)}{\sigma^2} \quad (1)$$

이때,  $P_i(t)$ 는 송신기의 송신전력이고  $d_{ij}$  는 송신기  $i$  와 수신기  $j$ 사이의 거리를 나타낸다.  $\alpha(t)$ 는 레일레이분포를 갖는 채널이득이고  $\sigma^2$ 는 잡음의 분산값이다.

수신기는 계산된 SNR정보를 이용하여 수신 가능한 데이터 전송률을 확인한다. 수신기는 수신 SNR 과 전송률 별로 요구되는 SNR을 비교하여 수신 가능한 전송률을 결정하여 CTS 패킷을 통하여 전송률정보를 송신기에 전송한다. 이와 같은 SNR 문턱값 기법은 가장 널리 이용되는 전송률결정 알고리즘이다<sup>[5]</sup>. 802.11a WLAN은 적응적으로 선택할 수 있는 8가지의 전송모드를 지원한다. 전송모드에 따라 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 그리고 54Mbps중 하나의 전송률을 지원한다<sup>[6]</sup>. 각각의 모드는 RTS로부터 계산된 SNR값에 의해 결정된다.

SNR을 이용하여 자신의 전송률을 확인한 후 본 논문에서 제안하는 분산화된 비례공정 스케줄링 방식에 의해 자신의 우선순위  $PO_i$ 를 확률적으로 계산한다. 우선순위 계산방법에 대한 자세한 내용은 3장에 설명하였다. 우선권에 대한 계산이 끝나면 우선순위에 따라 서로 다른 backoff 후에 CTS를 전송한다. 이때 수신 SNR로부터 얻어진 전송률정보가 CTS 패킷에 포함된다. 우선순위  $PO_i$ 를 갖는 수신기  $i$  에 대한 backoff 는 (2)에 의해 계산된다.

$$Backoff_i = SIFS + (PO_i - 1) Time\_slot \quad (2)$$

그림 2는 세 개의 후보 수신기에 대한 우선순위

가 각각 2, 3, 4 인 경우의 매체접속과정의 예를 보여주고 있다. 후보수신기의 수와 우선순위의 최대값은 일치하지 않을 수 있다. 자세한 내용은 3장에서 설명하였다. 그림에서 보듯이 수신기는 채널을 감지하고 있다가 자신이 CTS를 보낼 시간들동안 이전에 다른 수신기에 의한 CTS전송이 감지되면 자신의 CTS전송을 취소한다. 그러나 분산화된 방식으로 우선순위를 계산하기 때문에 동일한 우선순위에 의해 CTS전송에서 충돌이 생길 가능성이 존재 한다. CTS 패킷 전송에서 충돌이 발생할 경우에는 더 이상의 충돌을 방지하기 위해 OSMA<sup>[2]</sup>에서와 같이 RTS 패킷 내의 수신기의 순서에 따라 우선권을 할당한다. 이때 수신 SNR이 최소 SNR을 넘지 못하면 수신기는 CTS전송을 포기하고 다른 수신기가 CTS 패킷을 송신하도록 한다.

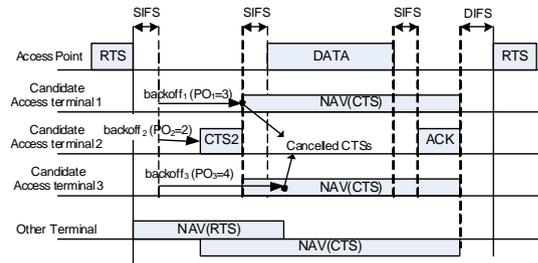


그림 2. DPFS의 매체접속과정

### III. DPFS 에서 우선순위 $PO_i$ 의 계산

앞에서 설명한 바와 같이 송신기는 데이터를 수신기에 전송하기 전에 후보 수신기 목록과 현재까지의 평균 전송률을 RTS를 통해 전송한다. 이때 송신기에서는 데이터를 전송한 후에는 모든 수신기에 대해 현재까지의 평균전송률을 갱신한다. (3) 은  $i$ 번째 수신기에 대한 평균전송률,  $R_i(t)$ 을 갱신하는 방법을 보여준다.

$$R_i(t+1) = (1 - 1/T_c(t))R_i(t) + (1/T_c(t))x_i(t)D_i(t) \quad (3)$$

식 (3)에서 스케줄링에 의해서  $i$ 수신기가 선택되고  $D_i(t)$ 의 전송률로 데이터를 전송을 받았다면  $x_i(t)$ 는 1의 값을 가지며 그렇지 않다면 0의 값을 갖는다.  $T_c(t)$ 는 패킷 데이터가 전송되기까지 걸린 총 시간을 의미하며 (4)와 같이 계산된다.

$$T_c = DIFS + 3SIFS + T_{ACK} + T_{RTS} + T_{CTS} + Backoff + \frac{PHY \text{ and } MAC \text{ Header}}{R_{base\_rate}} + \frac{Paket \text{ Size}}{D} \quad (4)$$

이때  $T_{ACK}, T_{RTS}, T_{CTS}$ 는 각각 ACK, RTS, CTS 패킷의 시간길이를 의미한다. RTS를 수신한 수신기들은 자신이 RTS의 수신대상 목록에 있는지를 확인한 후 자신이 후보 수신기이면 전송 가능한 데이터 전송률을 정한다. 수신기  $i$ 는 전송 가능한 데이터 전송률과 RTS에서 받은 평균전송률을 이용하여 (5)에서 정의된  $PF_i$  값을 계산한다.

$$PF_i(t) = \frac{D_i(t)}{(R_i + 1)^w}, \quad 0 < w \quad (5)$$

$D_i$ 는 RTS를 이용하여 구한 SNR을 통해 얻은 데이터 전송률이며 채널에 대한 상태정보를 나타낸다.  $R_i$ 는  $i$ 번째 수신기에 의해 현재까지 수신된 데이터의 전송률을 의미하며 스케줄링에 공평성을 반영하기 위한 요소가 된다. (5)에서  $w$ 는 가중치 인자이다. 비례공정 스케줄링 방식에서와 달리 평균전송률에  $w$ 승을 하였는데 이는 공평성과 전송률에 대한 가중치를 부여하도록 함으로써 공평성과 전송률을 조절할 수 있도록 하였다. 또한  $R_i$ 에 1을 더한 것은 분모의 값이 1이하가 되는 것을 방지하기 위한 것이다. 예를 들어  $w$ 값이 증가하면 공평성은 증가하나 전체 전송률은 감소한다. 따라서 요구되는 공평성을 보장할 수 있는  $w$ 값 중에 최소값을 선택해야 전체 전송률 성능을 최대한 보장하면서도 공평성을 유지할 수 있다.

RTS의 모든 후보 수신기는 (5)에서와 같이  $PF$  값을 계산한다. 그러나 다른 수신기에 대한  $PF$  값을 알지 못하므로 채널에 접근할 순위를 알지 못한다. 따라서 각각의 수신기들은 확률적인 방법으로 자신의 우선권순위를 계산한다. 이를 위해 (6)에서와 같이 먼저 자신의  $PF$  값과 다른 수신기의  $PF$  값을 확률적으로 비교하여 자신의  $PF$  값이 다른 수신기의  $PF$  값 보다 클 확률의 합을 계산한다.

$$\gamma_i(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N \Pr(PF_i(t) > PF_j(t)) \quad 0 \leq \gamma_i(t) \leq N-1 \quad (6)$$

$\gamma_i(t)$ 는  $i$  수신기의  $PF$  값이 다른 수신기의  $PF$  값보다 클 확률을 모든 후보 수신기에 대해서 합한

값이 된다. 이때  $\gamma_i(t)$ 는 0보다 크거나 같고 후보 수신기의 수  $N-1$  보다 작거나 같은 값을 갖게 된다. 각각의 수신기는 (6) 에서 계산한  $\gamma_i(t)$  값과 (7)을 이용하여 자신의 우선순위를 계산한다. (7)은  $i$  번째 수신기에 대한 우선순위  $PO_i$ 의 계산식을 보여준다.

$$PO_i(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } \beta_{M-1} \leq \gamma_i(t) \\ 2 & \text{if } \beta_{M-2} \leq \gamma_i(t) < \beta_{M-1} \\ \dots & \\ M & \text{if } \gamma_i(t) < \beta_1 \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)에서 보는 바와 같이 자신의 우선권이 다른 수신기들의 우선권보다 높을 확률의 합,  $\gamma_i(t)$ , 을 문턱값 값과 비교함으로써 최종적인 우선순위  $PO_i$ 가 결정되고 이에 따라 (2)에서와 같이 backoff가 결정된다. 우선순위  $PO_i$  값이 작을수록 작은 backoff지연 후에 CTS를 전송하여 채널을 획득할 확률을 증가시킨다.  $PO_i$ 의 최대값  $M$ 은 수신기의 수와 다를 수 있으며 (8)에서와 같이 후보 수신기의 수  $N$ 의 정수배이다.

$$M = kN \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (8)$$

(8)에서  $k$ 값은 우선순위  $PO_i$ 의 레벨수를 결정하는 인자이며  $k$ 가 커질수록 동일한 우선순위를 갖게 될 확률이 줄어들어 CTS패킷의 충돌확률이 감소하게 된다. 그러나 그만큼 데이터를 전송하기 위한 시간지연이 증가할 확률이 커진다. 따라서 우선순위 레벨 결정인자  $k$ 는 본 논문의 DPFS의 성능을 결정짓는 중요한 요소가 된다. Backoff 값을 결정하기 위한 문턱값  $\beta$ 은 (9)과 같이 간단한 방법으로 레벨에 따라 균등한 값을 갖도록 설정할 수 있다.

$$\beta_i = \frac{N-1}{M} i, \quad i = 1, 2, \dots, M-1 \quad (9)$$

(6)에서  $i$ 번째 수신기의  $PF$  값이 다른 수신기의  $PF$  값보다 클 확률값은 (10)과같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Pr(PF_i > PF_j) &= \Pr\left(\frac{D_i}{R_i} > \frac{D_j}{R_j}\right)_{i \neq j} \\ &= \Pr\left(\frac{R_j}{R_i} D_i > D_j\right) = P_{D_j} \left(0 < d < \frac{R_j}{R_i} D_i\right) \end{aligned} \quad (10)$$

이때 각 수신기의 평균전송률  $R_i$  와  $R_j$  값은 송신기의 RTS 패킷으로부터 수신된다. 그러나 다른 수신기에 대한 순시전송률  $D_j$  값은 알 수가 없다. 따라서  $D_j$  의 확률적 분포를 통해서  $i$ 번째 수신기의 PF 우선권이  $j$ 번째 수신기의 PF 우선권보다 클 확률을 계산하여야 한다. 이를 위해서는  $j$ 번째 수신기에서 전송률  $D_j$ 에 대한 확률밀도함수  $P_{D_j}(d)$ 를 알아야 한다.  $i$ 번째 사용자의 우선순위를 구할 때 모든 다른 수신기  $j=1, 2, \dots, N (j \neq i)$  는 모두 동일한 확률밀도함수를 갖는다고 가정한다. 본 논문에서는 전송률에 대한 확률밀도함수가 수신기의 위치와 송신전력에 의해서 결정되는 것으로 가정한다. 수신기들이 송신기의 송신전력을 안다고 가정하면 거리에 따른 전송률을 계산할 수 있다. 따라서 전송률  $D_j$ 가  $d_m$ 일 확률은 (11)와 같이 송신기의 전체 커버리지에 대해  $d_m$ 의 전송률로 서비스되는 영역의 비율로서 구할 수 있다.

$$P_{D_j}(d_m) = \frac{S_{d_m}}{S_{tot}}, m = 1, 2, \dots, M \quad (11)$$

식(11)에서  $S_{d_m}$ 은 전송률  $d_m$ 으로 전송가능한 영역의 넓이이며  $S_{tot}$ 는 송신기의 전체 커버리지의 면적을 나타낸다. 동일 송신기의 커버리지 내에 있는 모든 수신기에 대한 확률밀도함수  $D_j$ 는 동일하다고 가정하였으므로 (12)이 성립한다.

$$P_{D_j}(d_m) = P_D(d_m) \quad (12)$$

송신기의 송신전력을 알고 있다고 가정하면 RTS를 받은 모든 후보 수신기들은 (11)에 의 확률밀도함수를 이용하여 독립적으로 (10)의 확률값을 계산할 수 있다. 계산된 결과를 (6)과 (7)을 이용하여 최종적으로 자신의 우선순위  $PO$ 를 획득하게 되고 그림 2의 매체접속과정과 같은 경쟁과정을 통해 매체를 획득하게 된다.

#### IV. 시뮬레이션과 분석

본 절에서는 본 논문에서 제안한 분산화된 비례공정 스케줄링 (DPFS)의 성능을 시뮬레이션을 통하여 분석하였고 OSMA<sup>[2]</sup>와 전통적인 스케줄링방식인 순환순서 방식과 비교 분석하였다. 채널환경은 레일레이플랫 페이딩 채널을 가정하였다. 각각의 수

신기들은 RTS의 전송요청을 받은 후 수신받을 데이터의 전송속도를 결정해야 하는 데 이를 위해서는 각 전송률에 요구되는 SNR값을 알아야 한다. 표 1 은 시뮬레이션에서 사용한 8가지의 전송모드와 각 전송률에 대한 SNR의 요구값을 보여주고 있다<sup>[7]</sup>. 송신기의 송신전력은 20dBm으로 가정하였으며 이때 최대 커버리지는 반지름이 대략 200m가 된다. 이때 표 1을 이용하여 전송률  $D$ 에 대한 확률밀도함수를 구해보면 표 2와 같다. 시뮬레이션을 위한 802.11 WLAN의 주요 파라미터들은 표 3에 정리하였다<sup>[8]</sup>.

표 1. 802.11a 의 8가지의 PHY모드

Mode	Modulation	Code Rate	Data Rate	Required SNR (dB)
1	BPSK	1/2	6 Mbps	9.7
2	BPSK	3/4	9 Mbps	10.7
3	QPSK	1/2	12 Mbps	12.7
4	QPSK	3/4	18 Mbps	14.7
5	16QAM	1/2	24 Mbps	17.7
6	16QAM	3/4	36 Mbps	21.7
7	64QAM	2/3	48 Mbps	25.7
8	64QAM	3/4	54 Mbps	26.7

표 2. 전송률D에 대한 확률밀도함수

$d_m$ (Mbps)	6	9	12	18	24	36	48	54
$P_d(d_m)$	0.109	0.183	0.146	0.164	0.147	0.093	0.017	0.141

표 3. 시뮬레이션을 위한 패킷 및 시간관련 파라미터

Parameter	Packet Size/Duration
Data Packet	2048 byte
Slot time	20sec
SIFS/ DIFS	10sec/50sec
ACK	14 Octets (2.3sec)
CTS	21 Octets (3.5sec)
RTS	12+9N Octets (N은 후보수신기의 수)

모든 수신기에 대해 각 데이터는 항상 backlogged되어있는 것으로 가정하였으며 각 수신기의 공평성을 측정하기 위해 (13)와 같이 불공평지수를 정의하였다<sup>[9]</sup>.

$$unfairness\ index\ \sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{T}_i^2 - (T_{av})^2 \quad (13)$$

(13)에서  $\bar{T}_i$ 수신기  $i$ 의 평균 전송률을 의미하며 N은 시스템에 있는 총 수신기의 수이다.  $T_{av}$ 는 시

시스템내의 모든 수신기에 대한 시스템의 평균 전송률을 의미한다. (13)의 불공평지수 값이 작을수록 보다 공정한 스케줄링을 의미하며 불공평지수 값이 클수록 수신기간의 불공평성이 커짐을 의미한다.

그림 3은 가중치 인자  $w$ 에 대한 평균 불공평지수를 보여주고 있다. 가중치  $w$ 값이 커질수록 공평성에 대한 가중치가 증가하므로 불공평지수가 작아짐을 볼 수 있다. 즉, 공평성이 크게 개선되고 있음을 알 수 있다. 반대로  $w$ 값이 증가함에 따라 전송률에 대한 가중치는 감소하게 되어 그림 4에서 보듯이 전체 전송률은 점차 감소함을 볼 수 있다. 따라서 두 가지의 성능을 만족시킬 수 있는 적절한 가중치 인자  $w$ 값의 설정이 중요하다. 그림 3에서 보면  $w$ 값이 증가함에 따라 처음에는 불공평지수가 급격히 감소하지만  $w$ 가 0.5보다 커지게 되면 불공평지수의 변화가 완만해 짐을 볼 수 있다. 또한  $w$ 가 0.5보다 크면 기존의 순환순서 방식이나 OSMA 방식과 비교하여도 공평성 성능이 거의 같거나 더 우수함을 볼 수 있다. 따라서  $w$ 값을 0.5로 정하는 것이 다른 방식과 동등한 공평성을 유지하면서도 전체 전송률을 높일 수 있는 방법임을 알 수 있다.

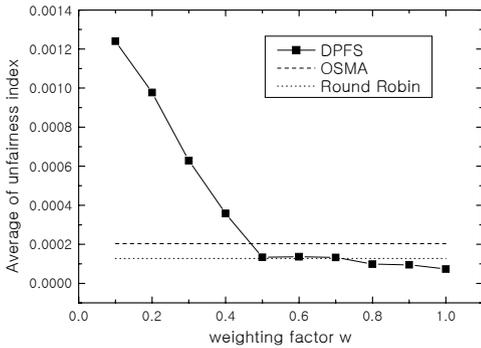


그림 3. 가중치  $w$ 에 따른 불공평지수의 평균값 비교

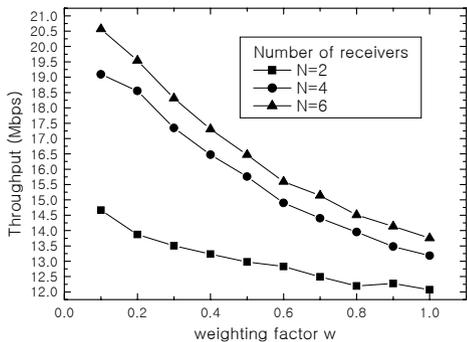


그림 4. 수신기 수와 가중치  $w$ 에 따른 시스템 전송률성능

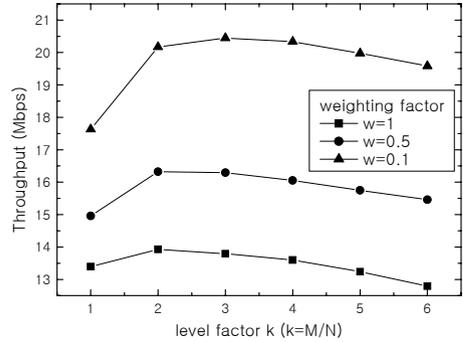


그림 5. 우선순위 레벨 결정인자  $k$ 에 따른 전송률 성능

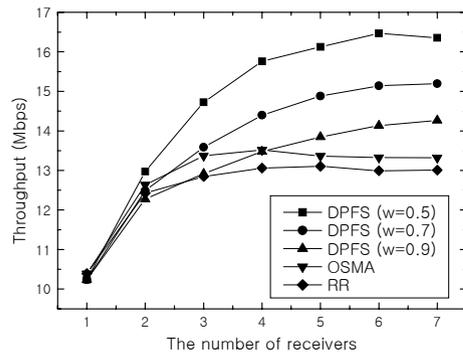


그림 6. 스케줄링방식에 따른 전송률 성능의 비교

그림 5는 우선순위 레벨 결정인자  $k$ 에 대한 전송률 성능을 보여준다. 우선순위 레벨 결정인자  $k$ 가 증가하게 되면 CTS를 전송할 최대 backoff가 길어질 확률이 증가한다. 따라서 CTS패킷의 충돌확률은 줄어들게 되지만 그 만큼 전송지연이 증가할 확률이 커진다. 그림 5에서  $k$ 가 증가함에 따라 처음에는 충돌확률의 감소로 전송률이 증가하지만 점차 전송지연의 증가로 인해 전송률이 감소하는 것을 볼 수 있다. 그림 5에서 보듯이 레벨 결정인자  $k$ 에 대한 전송률의 변화추이는 가중치 인자  $w$ 에 따라 달라짐을 볼 수 있는데, 대략  $w$ 가 0.1 이나 0.5 일 때는  $k=2$  에서 최대 전송률을 보여주지만  $w$ 가 1일 때는  $k=3$ 에서 최대 전송률을 보여줌을 알 수 있다. 그림 6은 수신기의 수에 따른 전체 전송률성능을 스케줄링 방식에 따라 비교하였다. DPFS의 가중치 인자는  $w$ 가 0.5 이상 일 때 다른 스케줄링 방식과 동등한 공정성 성능을 갖게 때문에  $w$ 가 0.5 이상인 경우에 대하여 성능을 분석하였다. 그림에서 보듯이  $w$ 가 0.5일 때 순환순서 방식이나 OSMA에 비하여 약 25%정도의 높은 전송률성능을 보여줌을

알 수 있다.  $w$ 가 증가함에 따라 공정성 성능은 증가하는 반면 전송률성능은 떨어지므로 순환순서 방식이나 OSMA와의 전송률 성능의 차이가 좁혀짐을 볼 수 있으나  $w=0.9$ 일 때까지도 기존의 방식에 비해 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 무선LAN네트워크에서 다중사용자 다이버시티 이득을 얻을 수 있는 분산화된 방식의 비례공정 스케줄링 (DPFS)알고리즘을 제안하고 기존의 multicast RTS 와 prioritized CTS handshake 방식에 기반한 매체접근제어 프로토콜을 DPFS에 맞게 개선하였다. DPFS 알고리즘은 무선 LAN의 다중 전송률을 지원하며 각각의 수신기들이 독립적으로 채널상태를 파악하고 자신의 우선순위를 확률적으로 계산함으로써 모든 수신기의 채널상태를 수집하지 않고서도 다중사용자 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 시뮬레이션 결과 제안한 DPFS방식은 충분한 공정성을 유지 하면서도 기존의 방식에 비하여 높은 전송률 향상을 보여주고 있으며 가중치 파라미터를 조절함으로써 공정성과 전송률성능을 조절할 수 있는 유연성을 보이고 있다.

### 참 고 문 헌

[1] A. Jalali, R. Padovani, R. Pankaj, "Data throughput of CDMA-HDR a High efficiency-high data rate personal communication wireless system," *Proc. VTC-2000-Spring*, Tokyo, Japan, May 2000.

[2] J. Wang, H. Zhai, and Y. Fang, "Opportunistic Packet Scheduling and Media Access Control for Wireless LANs and Multi-hop Ad Hoc Networks," *Proc. IEEE WCNC 2004*, Atlanta, Georgia, Mar. 2004.

[3] Seong-il Hahm, Jongwon Lee and Chong-kwon Kim, "Distributed Opportunistic Scheduling in IEEE 802.11 WLANs", *PWC2006*, LNCS4217, pp.263-274, 2006

[4] Miao Zhao, Huiling Zhu, Wenjian Shao, Victor O. K. Li, Yuanyuan Yang, "Contention-Based Prioritized Opportunistic Medium Access Control in Wireless LANs", *Proc. ICC '2006*, pp3820-3825, June 2006

[5] G. Holland, N. Vaidya, and P. Bahl, "A rate-adaptive MAC protocol for multi-hop wireless networks," *proc. of Mobicom2001*, 2001.

[6] *IEEE standard for wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification*, ISO/IEC 8802-11: 1999(E), Aug. 1999]

[7] John Thomson, Bevan Baas, Elizabeth M. Cooper, et al, "An integrated 802.11a baseband and MAC processor," *proc. Of ISSCC2002* (IEEE international solid-state circuits conference)

[8] Jean-Lien C. Wu, Hung-Huan Liu, and Yi-Jen Lung, "An adaptive multirate IEEE802.11 Wireless LAN," *Proc. of Information networking*, pp.411-418, Jan. 2001

[9] Ertugrul Necdet ciftcioglu, Ozgur Gurbuz, "Opportunistic Scheduling with Frame Aggregation for Next generation wireless LANs" *Proc. of IEEE ICC2006*, pp.5228-5233, 2006.

박 형 근 (Hyung Kun Park)

중신회원



1995년 2월 고려대학교 전자공학  
과 졸업  
1997년 2월 고려대학교 전자공학  
과 석사  
2000년 8월 고려대학교 전자공학  
과 박사  
2004년 3월~2001년 8월 Univ. of

Colorado, Postdoc.

2001년 9월~2004년 2월 현대시스콤 선임연구원  
2004년 3월~현재 한국기술교육대학교 정보기술공학부  
조교수

<관심분야> 4세대 이동통신, OFDM, 무선자원관리