

## 지연과 공정성을 고려한 패킷 스케줄링 알고리즘 성능분석

임석구<sup>1\*</sup>

### Performance Analysis of Packet Scheduling Algorithm Based on Delay and Fairness

Seog-Ku Lim<sup>1\*</sup>

**요약** 60km 정도까지 증속으로 이동하는 단말들에게 1-3 Mbps의 고속의 전송속도를 제공하는 휴대 인터넷 시스템이 곧 상용화될 예정이다. 휴대 인터넷 시스템은 서로 다른 QoS를 요구하는 서비스들을 제공하므로, QoS를 고려한 효율적인 스케줄링 기법을 필요로 한다. 본 논문에서는 패킷 데이터 서비스를 지원하는 휴대인터넷 시스템에서 하향 링크의 대기 패킷 버스트들이 겪는 평균 지연시간을 최소화하기 위한 여러 가지 패킷 스케줄링 방식을 비교 분석하였다. 시뮬레이션에 의한 분석결과 제안한 방식이 수율과 데이터 손실을 측면에서 우수함을 알 수 있었다.

**Abstract** High-speed Portable Internet system provides 1-3 Mbps data transmission speed to terminals moving up to 60 km/sec. Since High-speed Portable Internet system supports services requiring different QoS, it needs an efficient scheduling method based on those different QoSs. This paper shows the performance comparisons of several different packet scheduling schemes for minimizing the mean delay over the downlink of High-speed Portable Internet system to support the packet data service. Simulation results show that proposed scheme superior to other schemes at side throughput and data loss rate.

**Key Words** : 휴대인터넷 시스템, HPI, 패킷 스케줄링 알고리즘

### 1. 서론

최근 통신 서비스 산업의 내외적 환경은 급격하게 변하고 있다. 수요 측면에서는 인터넷을 이용한 디지털화의 물결이 경제 및 사회 전반의 정보화를 가속시키는 가운데 통신 서비스에 대한 수요도 음성보다는 데이터 통신 중심으로 확대되고 있다. 또한 이용자들은 시간과 장소의 제약을 극복한 연속적인 커뮤니케이션과 정보접근을 요구하고 있으며, 편의성 및 개인화 추구, 서비스 속도 향상 등에 대한 요구의 증대에 따라 통합된 원스톱(one-stop) 서비스에 대한 요구가 더욱 커지고 있다.

현재 활발히 연구가 진행 중인 4세대 무선통신시스템은 250km 까지 고속으로 이동하는 단말기에게 100Mbps까지의 고속의 데이터 전송 서비스 제공을 목표로 함으로써 이동 중인 단말기에게도 풍부하고 다양한 서비스를 제공하는 것이 가능하지만, 이는 2010년 이후에나 널리

사용될 수 있을 것이다. 따라서 그 중간단계로서 60km 정도까지 증속으로 이동하는 단말기들에게 1~3 Mbps의 고속의 전송속도를 제공함으로써 현재 유선에서 제공되고 있는 인터넷 서비스를 이동 중인 단말기에게도 원활히 제공하기 위해서 IEEE 802.16을 근간으로 하는 휴대 인터넷 시스템이 개발 중에 있고 곧 상용화할 예정이다.

휴대인터넷 시스템은 서로 다른 QoS(Quality of Service)를 요구하는 서비스들을 제공하므로 이들의 상이한 QoS를 고려한 효율적인 MAC 기법이 필요하다. FQ(Fair Queueing)[1], VC(Virtual Clock)[2], EDD(Earliest Due Date)[3]와 같은 많은 스케줄링(Scheduling) 기법들이 유선망을 위해서 제안되었고, 무선망에서는 CSDPS(Channel State Dependent Packet Scheduling)[4], IWFQ(Idealized Wireless Fair Queueing)[5], CIF-Q(Channel-condition Independent Fair Queueing)[6], WFS(Wireless Fair Service)[7] 등과 같은 스케줄링 기법들이 제안되었는데, 이들은 무선 환경에서 발생하는 높은 에러율과 연속성 에러(bursty error)를 고려하여 유선망에서 채택된 스케줄링 기법을 변형한 형태를 갖는다.

<sup>1</sup>천안대학교 정보통신공학부

\*교신저자 : 임석구(sklim@cheonan.ac.kr)

기지국은 하향링크 대역폭 할당 시 기지국에서 각 단말기로 전송되기를 기다리는 데이터 패킷의 수, 각 데이터 패킷이 기다린 시간 등의 상세한 정보들을 알고 있다. 또한 하향링크 접속에서는 기지국에서 각 플로우(flow)들이 다중화(Multiplexing) 되기 때문에 경쟁(Contention)과정은 필요하며, 각 서비스들에게 공평한 자원할당을 위해서 앞에서 언급한 특정 스케줄링 기법들을 사용한다.

기존의 패킷 스케줄링 알고리즘들은 공정성(Fairness)을 얻기 위해서 기지국내에 지역적으로 얻을 수 있는 패킷의 지연정보를 주로 이용하여 공정성을 확보하고자 하였다. 만약 모든 단말기들이 무선망에서 동일한 상태의 채널을 갖는다면 할당된 대역폭은 전적으로 스케줄러가 단말기들에게 할당할 시간에 따라 대응될 것이다. 이러한 경우 단순한 라운드 로빈 정책을 이용하여 모든 단말기들에게 채널을 공유하도록 할 수 있다. 그러나 실제로 무선채널 상태는 페이딩과 간섭에 의해서 시간에 따라 변화하며, 단말기의 위치나 이동성, 전파환경의 변화 등에 따라 서로 다른 상태를 갖게 된다. 그러므로 가장 좋은 무선 상태를 갖는 단말기들에게 무선채널을 할당함으로써 무선채널의 이용률을 극대화할 수 있다. 또한 무선채널의 상태가 상대적으로 나빠져 제외된 단말기들에 대해서는 이후에 다시 무선채널의 상태가 좋아지면 보상받을 수 있다.

본 논문에서는 휴대인터넷 환경에서 각 단말기들이 요구하는 QoS를 만족시키면서 무선채널의 상태와 수율을 동시에 고려하여 효율적으로 서비스를 제공할 수 있는 하향링크(down link) 스케줄링 방법에 대해 연구하고자 한다. 서론에 이어 2장에서는 기존의 패킷 스케줄링 방식과 본 논문에서 제안하는 방식을 기술하고, 3장에서는 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 수행결과를 기술하고, 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 패킷 스케줄링 방법

지금까지 제안된 많은 패킷 스케줄링 알고리즘들은 간단한 구현에 의한 고속의 처리를 장점으로 하는 Round-Robin 방식[8]과 정확한 서비스를 장점으로 하는 Fair Queueing 방식[9,10,11]으로 나눌 수 있다. 계산량이 적으면서도 각 플로우에 차별화된 서비스를 제공할 수 있는 DRR[8]은 현재 많은 상용 제품에 응용되어 사용되고 있다. 그러나 이러한 Round-robin 방식의 스케줄링 알고리즘은 모든 플로우를 정해진 순서대로 서비스하는 특성 때문에 정확한 서비스를 제공하는 데에는 한계가 있다. 한편, Fair Queueing 방식의 알고리즘들은 가장 이상

적인 서비스 모델인 GPS(Generalized Processor Sharing)[9]의 동작을 패킷 단위의 서비스로 모방하기 위한 것으로서 Round-robin 방식의 알고리즘 보다 정확한 서비스를 플로우들에게 제공할 수 있다. 그러나 GPS에서는 서비스 순서를 기준으로 하기 때문에 스케줄러는 모든 플로우의 모든 패킷에 대하여 도착시간 및 서비스 종료시간을 계산해야 하고 이를 위해 시스템 차원의 가상적인 시간체계, 즉 System Virtual Time을 관리해야 한다[9,10,11]. 이는 실제 구현 시에 스케줄러의 계산량을 증가시켜서 시스템의 전송 성능을 저하시키며 시스템의 확장성(Scalability)에 문제가 있다. 또한 이러한 방식은 스케줄러가 시스템의 모든 상태를 관리하므로 출력링크에서의 대기모형(Queueing)에서만 적용할 수 있으며 이를 대형 시스템의 입력 링크에서의 대기모형에 적용하려는 경우에는 계산량 및 구현상의 복잡도는 기하급수적으로 증가하게 된다[12].

본 논문에서는 Fair Queueing 방식의 스케줄러가 시스템 전체의 상태를 관리함으로써 인하여 발생하는 계산량 및 구현상의 문제점이 없는 알고리즘을 고려 대상으로 한다. 고려하는 알고리즘은 다음과 같다.

### 2.1 라운드 로빈(Round-robin) 방식

라운드 로빈 방식은 단순히 트래픽 플로우들의 패킷들을 순차적으로 서비스하는 스케줄링 알고리즘을 의미한다. 특히 라운드 로빈 방식은 모든 트래픽 플로우에 대해 동일한 가중치를 가지는 형태의 공평성을 제공하는 것을 기본 모델로 한다.

### 2.2 채널상태 우선방식

채널의 이용률을 최대화하기 위해서 각 사용자에 대한 채널상태를 고려한 패킷 스케줄링 방법이다. 양호한 채널상태를 갖는 사용자에게 높은 우선순위를 할당하여 우선적으로 패킷을 처리하므로 높은 채널 이용률을 얻을 수 있지만 채널상태가 상대적으로 나쁜 사용자들은 계속적으로 전송을 하지 못하는 경우가 발생하기 때문에 공정성이 저하될 수 있다.

### 2.3 M-LWDF 방식

M-LWDF(Modified Largest Weighted Delay First) 알고리즘에서 사용자  $i$ 의 지연에 대한 QoS 요구사항은 다음과 같이 정의하고 있다[13].

$$Pr\{W_i > T_i\} \leq \delta_i \quad (1)$$

사용자가 실시간 패킷 사용자일 때, 데이터 패킷의 대

부분의 지연은 특정 기준값 이하로 유지되어야 할 필요가 있다. 여기서  $W_i$ 는 사용자  $i$ 에 대한 패킷지연이고 파라메타  $T_i$ 와  $\delta_i$ 는 지연 기준값과 QoS를 만족하기 위한 허용 가능한 최대 확률값이다. M-LWDF 알고리즘은 다음의 결과 값이 가장 큰 사용자에게 우선적으로 서비스를 수행한다.

$$s = \arg \max_i \left( a_i \frac{W_i(t)}{\bar{R}_i} \right) \quad (2)$$

여기서  $a_i = -(\log \delta_i) / T_i$  이고,  $R_i(t)$ 와  $\bar{R}_i$ 는 각각 사용자  $i$ 에 관한 현재시간  $t$ 에서의 채널 전송률과 평균 채널 전송률이다. 모든 사용자가 동일한 지연값  $T_i$ 를 가지고 초과 확률  $\delta_i$ 가 동일하다면 위 식은 식 (3)과 같으며, 이는 비례 공평 알고리즘에 패킷전송 버퍼에서의 지연  $W_i$ 가 곱해진 형태와 유사하다.

$$s = \arg \max_i \left( W_i \frac{R_i(t)}{\bar{R}_i} \right) \quad (3)$$

### 2.4 제안 방식

유선망에서 개발된 많은 알고리즘들은 가변적인 무선 링크의 용량이나 위치에 따른 채널상태 등을 고려하지 않았기 때문에 무선망에 직접 적용할 수 없다. 유선망과 같이 무선망에서도 모든 단말기들이 동일한 채널상태를 갖는다면 할당된 대역폭은 전적으로 스케줄러가 단말기들에게 할당한 시간에 따라 대응될 것이다. 이 경우 단순한 라운드-로빈 방식을 이용하여 모든 단말기들에게 채널을 공유하도록 할 수 있다. 그러나 실제로 무선채널 상태는 페이딩과 간섭에 의하여 시간에 따라 변화하며, 단말기의 위치나 이동성, 전파환경의 변화 등에 따라 서로 다른 무선 상태를 갖게 된다. 그러므로 가장 좋은 무선 환경을 갖는 단말기에게 채널을 할당하여 채널 이용률을 극대화 할 수 있다. 이 경우 채널의 상태가 상대적으로 나빠서 제외된 단말기에 대해서는 이후 다시 채널 상태가 좋아지면 보상받을 수 있으나 단말기 간 공정성에 문제가 있다.

이러한 관점에서 본 논문에서는 호 수락 제어(call admission control)를 통해 결정된 서비스 흐름의 지연요구를 이용하여 공정성을 확보하면서 링크의 이용률을 극대화할 수 있는 방안을 제안한다. 우선 가능한 한 최대 이용률을 얻을 수 있는 채널상태를 이용한 스케줄링을 기본적인 처리방식으로 한다. 채널상태가 상대적으로 나쁜 단말기에 대해서는 요구된 지연을 고려하여 최대 허

용 지연시간( $D_i$ )까지 채널상태가 좋아질 것을 기대하며 기다리다 상대적으로 채널상태가 좋아지면 전송을 시도한다. 만약 지연시간의 한계시점까지도 채널상태가 좋아지지 않으면 그때에는 우선적으로 전송을 시도한다. 이 방법은 공정성을 고려하면서도 높은 채널 이용률을 얻을 수 있는 방법이다. 이상을 종합하여 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 pseudo 코드는 다음과 같다. 먼저 스케줄러는 HOL(Head of Line) 패킷 중에서 최대지연요구 임계치에 도달한 흐름이 있는지를 검사하고, 임계치에 도달한 흐름이 있다면 이중에서 채널 상태가 가장 좋은 단말기들에게 데이터를 전송한다. 임계치에 도달한 흐름이 없는 경우 모든 트래픽 흐름 중에서 채널상태가 가장 좋은 흐름의 패킷을 전송한다.

```

if (packet to transmit exist)
  if (there is HOL packet that reach in maximum delay threshold)
    packet of best channel state is transmitted among these
  else
    packet of best channel state is transmitted among all terminals
    
```

## 3. 시뮬레이션 수행 및 분석

### 3.1 시뮬레이션 모델

현대인터넷 시스템은 셀 구조로 이루어지고 다수의 단말기들이 셀 간을 이동하면서 통신이 이루어진다. 그러나 본 연구에서는 단일 셀을 가정한다. 기지국은 하향링크를 이용하여 전송되는 모든 패킷들을 해당 기지국에서 큐잉(queueing)되고 스케줄링 알고리즘에 의하여 각 이동 단말기로 전송된다. 효율적인 하향링크 스케줄링을 위해 기지국은 각 이동 단말기들의 링크 상태에 대한 모든 정보를 가지고 있다. 이러한 현대인터넷 시스템 모델을 고려할 때, 패킷 스케줄링 부분을 중심으로 각 흐름의 큐와 무선 채널 간의 관계를 모델로 나타낸 것이 그림 1이다.

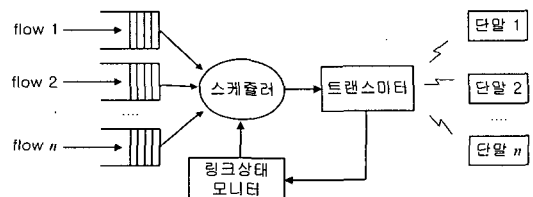


그림 1. 패킷 스케줄링 기능모델

### 3.2 트래픽 모델

휴대 인터넷 시스템은 rtPS(Real-Time Polling Service), nrtPS(Non-Real Time Polling Service), BE(Best Effort) 서비스를 제공하는 데 본 논문에서는 rtPS 서비스만을 고려하며, IEEE 802.16 TG3에서 MAC/PHY 계층의 시뮬레이션 수행 시 사용하도록 권고한 트래픽 모델을 따른다고 가정한다[14].

rtPS 서비스의 대표적인 예로 비디오 서비스가 있는데, 비디오 서비스는 IPP(Interrupted Poisson Process) 모델을 기반으로 하며, 자기유사(self-similar) 트래픽 특성을 갖기 위해서는 2개의 IRP를 중첩시키면 된다. IRP 모델은 그림 2와 같이 파레토 분포를 가지는 ON(Active Period) 상태와 또 하나의 다른 독립적인 파레토 분포를 가진 OFF(Silent Period) 상태가 교대로 나타나며, ON 시간동안 패킷 도착 시간간격은 지수분포를 따른다.

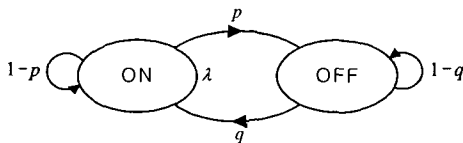


그림 2. IRP 모델

비디오 모델은 2개의 IRP(Interrupted Renewal Process)에 기초를 두고 있다. 2IRP 모델이 하나의 패킷 비디오 원을 나타내고 체류시간은 파레토 분포를 따르며, ON 시간동안 패킷 도착 시간간격은 IDP의 경우와 마찬가지로 지수분포를 따른다.

표 1. MPEG 비디오를 위한 1.9Mbps 2IRP 모델

source_i	$\lambda_i$	$p$	$q$	평균
IRP#1	1123.80	1.14	1.22	668.49
IRP#2	1547.50	1.54	1.28	594.51
2IRP 평균				1263.00

$\lambda_i$ , 평균 : (packets/sec)

각 단말기로 향하는 데이터의 SDU(Service Data Unit)는 파레토 분포를 따른다고 가정한다. 즉 SDU가  $z$  바이트일 확률은,  $k$ 가 SDU의 최소 크기를  $m$ 이 SDU의 최대 크기를 나타낸다고 할 때 파레토 분포의 확률분포함수는 식 (4)와 같다. 여기서  $k = 64$ ,  $m = 1518$ ,  $\alpha = 1.341$ 이며, 평균 SDU 크기는 188 바이트(=1504 비트)이다. 따라서 평균 데이터율은 1263 packets/sec×1504 bit = 1.9Mbps 이다.

$$f(z) = \begin{cases} \frac{\alpha k^\alpha}{z^{\alpha+1}}, & k \leq z < m \\ \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha, & z = m \end{cases} \quad (4)$$

이때 SDU의 평균크기는 다음과 같이 구해진다.

$$\mu = \frac{\alpha k - m \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha}{\alpha - 1} \quad (5)$$

### 3.3 시뮬레이션을 위한 가정

앞에서 설명한 4가지 방식을 비교하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 먼저 다음과 같이 시뮬레이션 수행환경을 가정한다.

- 1) 하나의 고립된 셀만을 고려한다.
- 2) 기지국으로부터 단말기로 전송되는 하향링크만을 고려한다.
- 3) 단말기가 한 소영역에서 머무는 시간은 평균이 9초인 지수분포를 따른다고 가정한다.
- 4) 5msec 간격으로 발생하는 하향링크 프레임에서는 310개의 서브채널(sub-channel)이 패킷 전송을 위해 사용된다.
- 5) 휴대 인터넷 시스템은 변조방식으로서 QPSK, 16QAM, 64QAM을 사용하고 있으며 각 단말기가 사용하는 변조방식은 무선 채널의 상태에 따라 결정된다. 사용자가 셀의 중심으로부터 멀리 있으면 QPSK 방식을 사용하고 중심에 가까이 있으면 16QAM, 64QAM 방식을 사용할 수 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.16 물리계층 분석 결과를 토대로 하나의 셀에서 사용되는 변조방식이 다음과 같은 분포를 따른다고 가정한다[15].

표 2. 가정된 변조방식 분포

변조방식	전송 바이트	소영역 수	비율(%)
64QAM-5/6	30	37	7.9
64QAM-2/3	24	54	11.5
QAM-2/3	16	78	16.6
QAM-1/2	12	102	21.7
QPSK-2/3	8	60	12.8
QPSK-1/2	6	138	29.4

- 6) 발생 트래픽은 rtPS만을 고려하였으며, 단말기의 수를 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다.
- 7) rtPS 트래픽의 최대 지연시간은 100msec로 설정하였

- 으며, 지연시간이 100msec 이상인 패킷은 블로킹된다.
- 8) 하나의 SDU는 여러 개의 동일한 크기의 PDU로 나누어 전송되며 각 PDU들은 6 바이트의 Generic MAC 헤더를 가지며 fragmentation이 되는 경우 1바이트의 fragmentation header가 첨가되고 piggyback 방식의 대역폭 요청을 하는 경우 2 바이트의 Grant Management Subheader가 첨가된다고 가정한다[16].
  - 9) 휴대 인터넷 시스템은 사용자가 셀의 중심으로부터 거리에 따라 3가지의 변조방식을 효율적으로 적용하고 있다. 예를 들어 64QAM-5/6 방식인 경우 하나의 서브 채널 당 30 바이트를 전송 가능하고, QPSK-1/2 방식인 경우 하나의 서브 채널 당 6 바이트가 전송 가능하다. 또한 무선 환경에 따른 단말기가 선택하는 변조 방식에 따라 패킷 전송을 위한 기본 단위는 표 3에 나타난 바와 같이 시스템에서 지정한 개수에 의해 결정된다[17].

표 3. 변조방식에 따른 전송 가능한 서브채널 수

변조방식	서브채널 수
64QAM-5/6	2, 4, 8, 12, 16, 20, 40, 60, 80, 100
64QAM-2/3	1, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 100, 125
16QAM-2/3	3, 15, 30, 75, 150
16QAM-1/2	2, 3, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 150, 200, 250
QPSK-2/3	3, 6, 15, 30, 45, 60, 75, 150, 225, 300, 375
QPSK-1/2	3, 4, 6, 8, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400, 500

### 3.4 시뮬레이션 결과 및 검토

본 논문에서 제안한 패킷 스케줄링 알고리즘의 성능을 비교 분석하기 위하여 기존 연구에서 이루어진 3가지 방식인 라운드-로빈 방식(RR), 채널상태 우선방식(CSP) 그리고 M-LWDF에 대해 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 분석하였다. 라운드-로빈 방식은 공정성만을 고려한 방식이고, 링크상태 우선방식은 링크의 상태를 우선적으로 고려하여 가장 좋은 무선링크 상태를 갖는 흐름의 큐로부터 패킷을 선택하는 방법이다. M-LWDF 방식은 패킷의 전송지연과 평균 전송율을 동시에 고려한 방식으로 이해할 수 있다. 마지막으로 제안한 방식은 패킷 지연시간이 임계치에 도달했을 경우 우선적으로 패킷을 전송하며 임계치 이하인 흐름이 존재하지 않을 경우에는 채널상태 우선방식으로 패킷을 전송한다. 이는 무선링크의 이용율

과 공정성을 모두 고려한 것으로 링크의 상태를 고려하여 링크 이용율을 최대화하면서도 공정성을 확보할 수 있는 방식이다.

시뮬레이션 수행 시간은 1000초이며, seed 번호를 변경하면서 10회 실행한 결과의 평균을 취하였다. 그림 3은 4가지 방법에 대하여 단말기의 수를 15에서 25까지 변화하면서 수율(throughput)을 비교한 그림이다. 이 때 제안 방식에서의 지연시간 임계치는 0.01msec로 가정하였다.

단말기 개수가 18개 이하에서는 트래픽 부하가 높지 않으므로 무선링크의 수율이 비슷한 결과를 보이며, 단말기 개수가 증가함에 따라 채널상태 우선방식이 가장 좋은 처리량을 보일 것으로 예측되지만, 제안한 방식이 가장 높은 처리량을 보여주고 있다. 그 이유는 패킷의 블로킹 때문인데, 채널상태우선 방식에서 채널상태가 상대적으로 좋지 않은 단말기는 서비스를 받지 못하다가 지나치게 지연되어 블로킹되므로 수율이 저하되는 원인이 된다. 그러나 제안한 방식에서는 0.01msec 이상의 HOL 패킷을 우선적으로 처리하기 때문에 이러한 현상은 발생하지 않는다. 수율 측면에서 보면 공정성만을 고려한 라운드-로빈 방식이 가장 수율이 낮았으며, 다음으로 M-LWDF, 채널상태 우선방식, 제안방식 순으로 수율이 좋음을 알 수 있었다.

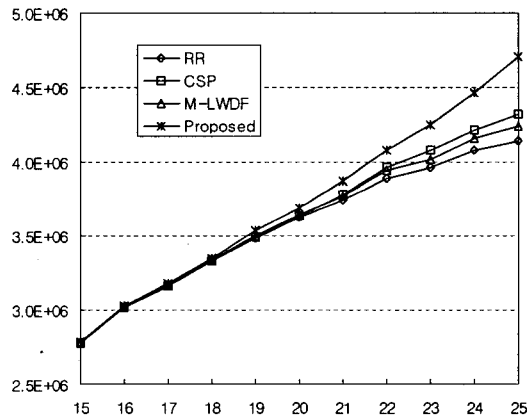


그림 3. 단말기 수의 증가에 따른 수율변화

그림 4는 4가지 방법에 대하여 단말기의 수를 15에서 25까지 변화하면서 패킷 손실률을 비교한 그림이다. 큐에서의 지연시간이 100msec 이상이면 해당 패킷을 블로킹시켰다. 단말기의 개수가 18개 이하에서는 제안방식을 제외한 3가지 방식에서의 패킷 손실률은 비슷하지만 단말기 수가 증가함에 따라 패킷 손실률은 증가함을 알 수 있다.

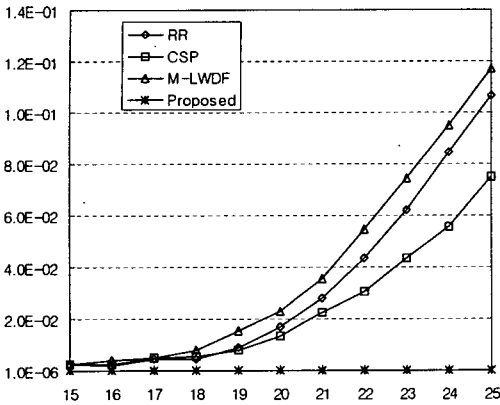


그림 4. 단말기 수의 증가에 따른 패킷 손실률 변화

이에 반해 제안한 방식은 단말기 수가 증가하더라도 패킷 손실은 무시할 수 있는 것으로 분석되었다. 그 이유는 제안방식에서 HOL 패킷의 지연이 임계치 이상이 되면 채널상태에 관계없이 우선적으로 패킷을 처리하기 때문이다. 그러나 라운드로빈 방식에서는 순차적으로 큐에 있는 패킷을 처리하기 때문에 입력 트래픽의 버스트성에 의해 순간적으로 패킷이 많이 도착하는 흐름은 큐에서의 지연이 100msec를 넘어설 확률이 증가하기 때문이다. 또한 채널상태 우선방식에서는 좋은 채널상태에 있는 단말기를 우선적으로 처리하기 때문에 상대적으로 채널상태가 나쁜 단말기는 서비스를 받지 못하고 지연되므로 100msec를 넘어설 확률이 증가하기 때문이다.

그림 5는 단말기 수의 증가에 따른 큐 내에서의 패킷 지연시간에 대한 평균을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 제안방식의 지연이 가장 작으며, 채널상태 우선방식도 작은 지연시간을 갖는 것으로 분석되었다. 이에 비해 라운드로빈 방식이나 M-LWDF 방식의 지연은 큰 것으로 분석되었다.

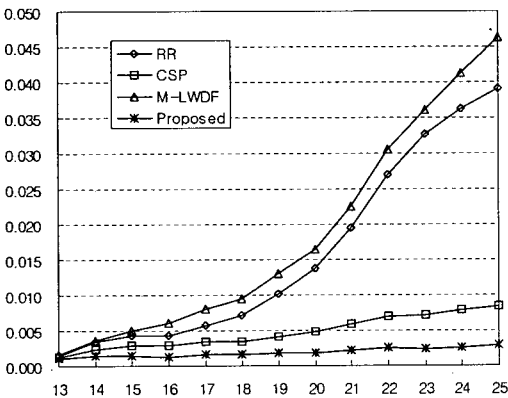


그림 5. 단말기 수의 증가에 따른 평균 패킷 지연

공정성의 정도는 수율 관점에서 평가하는 것이 일반적이지만 공정성의 특성을 분석하기 위하여 각 흐름에 대한 큐에서의 평균 지연시간을 구하고 모든 흐름의 평균 지연에 대한 분산을 구하였다. 분산이 작은 경우는 각 흐름이 패킷을 전송할 때 지연된 정도가 유사한 경우이므로 공정성이 좋다고 볼 수 있다. 그림 6에 단말기 수의 증가에 따른 큐에서의 평균 지연에 대한 분산을 나타내었다. 단말기의 개수가 증가함에 따라 분산이 증가하다가 감소하는데 그 이유는 패킷이 100msec를 넘어서는 패킷이 증가하여서 손실되기 때문이다.

라운드로빈 방식은 그 자체가 공정성을 제공하는 방안이어서 분산이 가장 작을 것으로 예측되었으나 M-LWDF 방식이나 제안한 방식에 비해 분산이 크게 나타났다. 그 이유는 M-LWDF 방식은 패킷의 손실이 라운드로빈 방식보다 커서 지연 분산이 작게 나타나고 또한 이 방식은 지연에 대한 부분을 고려하고 있기 때문인 것으로 분석할 수 있다. 제안방식은 전반적으로 지연에 대한 변화가 크게 나타나지 않았으며, 단말기 수가 19개 이하에서는 다른 방식에 비해 분산이 작으나 그 이상에서는 지연이 상대적으로 큼을 알 수 있다. 예측한 바와 같이 공정성을 고려하지 않은 채널상태 우선 방식이 공정성 측면에서는 매우 좋지 않은 결과를 보이고 있다.

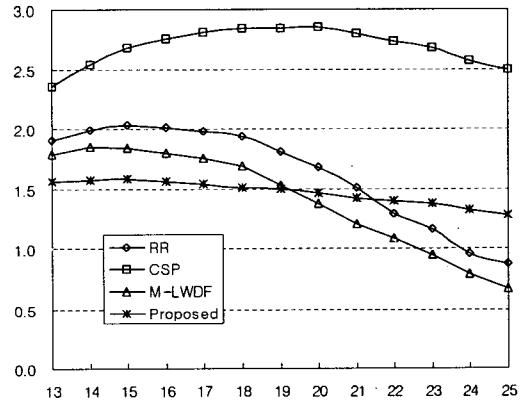


그림 6. 단말기 수의 증가에 따른 패킷지연 분산

#### 4. 결론

인터넷 접속 서비스는 크게 우선 초고속인터넷, 이동전화 무선 인터넷, 무선랜, 초고속인터넷으로 구분된다. 그런데 우선 초고속인터넷은 접속 장소가 고정되어 있다는 단점이 있으며, 이동전화 무선 인터넷은 낮은 속도와 비싼 사용요금과 단말기의 한계가 있다. 무선랜 초고속인

터넷은 이용할 수 있는 공간의 제약이 있다. 휴대인터넷은 이와 같은 인터넷 서비스의 단점을 보완해서 등장한 서비스이다. 유선 초고속인터넷 및 무선랜의 이동성을 보완하고 도심지 내에서 1Mbps 이상의 무선인터넷 서비스를 제공하고, 이동전화처럼 기지국 간에 이동 중에도 중단 없는 초고속인터넷 서비스가 구현된다. 또한 현재의 이동전화 무선인터넷보다 시스템 투지비가 낮고 전송속도가 높아 저렴한 요금으로 무선인터넷 서비스가 제공된다.

휴대인터넷에서는 전체 시스템의 성능을 향상시키기 위해 적응 변조·부호화(AMC) 기술을 채택하여 채널환경에 맞추어 변조기법과 부호화 기법을 변경한다. 즉, 하나의 기지국이 관할하는 셀 내에 존재하는 단말기는 계속해서 이동하는데, 단말기의 채널환경이 좋은 경우에는 높은 효율의 변조 및 부호화 기법을 사용하며, 채널환경이 좋지 않은 경우에는 낮은 효율의 변조 및 부호화 기법을 사용한다.

본 논문에서는 휴대인터넷 시스템에서 각 단말기들이 요구하는 QoS를 만족시키면서 효율적으로 서비스를 제공할 수 있는 하향링크 스케줄링 방법을 제안하였다. 제안한 방식은 패킷 지연시간이 임계치에 도달했을 경우 우선적으로 패킷을 전송하며 임계치 이하인 흐름이 존재하지 않을 경우에는 채널상태 우선방식으로 패킷을 전송한다. 이는 무선링크의 이용률과 공정성을 모두 고려한 것으로 링크의 상태를 고려하여 링크 이용률을 최대화하면서도 공정성을 확보할 수 있는 방식인 것으로 이해할 수 있다.

제안한 스케줄링 알고리즘의 성능을 비교 분석하기 위하여 기존 연구에서 이루어진 계산량 및 구현의 복잡도가 낮은 라운드-로빈 방식, 링크상태 우선방식 그리고 M-LWDF에 대해 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 분석하였다. 먼저 수율측면에서는 채널상태 우선방식이 가장 좋은 처리량을 보일 것으로 예측되지만, 제안한 방식이 가장 높은 처리량을 보여주고 있다. 그 이유는 채널상태 우선 방식에서 채널상태가 상대적으로 좋지 않은 단말기는 서비스를 받지 못하다가 지나치게 지연되어 블로킹되므로 수율이 저하되는 것으로 분석되었다. 마찬가지로 지나친 지연에 의해서 패킷이 폐기되는 비율도 유사한 이유로 이해할 수 있었다.

패킷 지연 측면에서도 제안한 방식의 지연이 가장 작으며, 채널상태 우선방식도 작은 지연시간을 갖는 것으로 분석되었다. 이에 비해 라운드로빈 방식이나 M-LWDF 방식의 지연은 큰 것으로 분석되었다. 마지막으로 라운드로빈 방식은 그 자체가 공정성을 제공하는 방안이어서 분산이 가장 작을 것으로 예측되었으나 M-LWDF 방식이나 제안한 방식에 비해 분산이 크게 나타났다. 그 이유는

M-LWDF 방식은 패킷의 손실이 라운드로빈 방식보다 커서 지연 분산이 작게 나타나고 또한 이 방식은 지연에 대한 부분을 고려하고 있기 때문인 것으로 분석할 수 있다. 제안방식은 전반적으로 지연에 대한 변화가 크게 나타나지 않았으며, 단말기 수가 19개 이하에서는 다른 방식에 비해 분산이 작으나 그 이상에서는 지연이 상대적으로 큼을 알 수 있다. 예측한 바와 같이 공정성을 고려하지 않은 채널상태 우선 방식이 공정성 측면에서는 매우 좋지 않은 결과를 나타내었다. 결론적으로 제안한 방식이 수율과 평균지연 그리고 공정성 측면에서 우수한 결과를 보였다.

제안한 방식은 휴대인터넷 시스템 성능 개선 시 기초 자료로 활용될 수 있으며, 추후에는 휴대인터넷 환경에서의 트래픽 데이터를 측정하여 보다 정확한 성능분석이 뒤따라야 할 것으로 사료된다.

## 참고문헌

- [1] A. Demers, S. Keshav, and S. Shenker, "Analysis and simulation of a fair queueing algorithm," in Proceedings of ACM SIGCOMM'89, pp.3-12, 1989.
- [2] L. Zhang, "Virtual clock: A new traffic control algorithm for packet switching networks," in Proceedings of ACM SIGCOMM'90, pp.19-29, 1989.
- [3] D. Kandlur, K. Shin, and D. Ferrari, "Real-time communication in multi-hop networks," in Proceedings of 11th Conference Distributed Computer System, pp.300-307, May 1991.
- [4] A Solana and F. Palacio, "Scheduling and quality of service in W-CDMA," Proceedings of ACT'99, pp.795-800, June 1999.
- [5] K. Lee and M. El Zarki, "Scheduling real-time traffic in IP-based cellular networks," Proceedings of PIMRC'2000, pp.1202-1206, Sept. 2000.
- [6] M. Dillinger, J. Luo, and E. Schulz, "Radio resource scheduling algorithms for mixed VoIP and HTTP traffic in HIPERLAN/2 system," Proceedings of IST'2001, pp.469-474, 2001.
- [7] S. Lu, V. Bharghavan, and R. Srikant, "Fair scheduling in wireless packet networks," IEEE Trans. on Networking, Vol.7, No.4, pp.473-489, August 1999.
- [8] M. Shreedhar, G. Varghese, "Efficient fair queueing using deficit round robin," Proceedings of ACM SIGCOMM, pp.231-242, Sep. 1995.

[9] A. Parkh, R. Gallager, "A generalized processor sharing approach to flow control: A single node case," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol.1, No.3, pp.344-357, 1993

[10] S. Golestani, "A self-clocked fair queueing scheme for broadband applications," Proceedings of IEEE INFOCOM, pp.636-646, May 1994.

[11] J. C. R. Bennett, H. Zhang, "Worst-case Fair Weighted Fair Queueing," Proceedings of INFOCOM, pp.120-128, 1996

[12] D. Stephens, H. Zhang, "Implementing distributed packet fair queueing in a scalable switch architecture," Proceedings of IEEE INFOCOM, pp.282-290, 1998

[13] K. Ramanan, A. Stolyar, P. Whiting, M. Andrews, K. Kumaran and R. Vijayakumar, "Providing quality of service over a shared wireless link," IEEE Communications magazine, Vol.39, No.2, pp.150-154, Feb. 2001

[14] IEEE 802.16.3C-01/30r1, "Traffic Models for 802.16 TG3 MAC/PHY Simulations," March 2001.

[15] 국광호, 임석구, "휴대 인터넷 기지국 MAC 성능 연구," 한국전자통신연구원 최종연구보고서, 2005

[16] TTA 표준, 2.3GHz 휴대인터넷 표준 - 매체접근제어 계층, 2004

[17] TTA 표준, 2.3GHz 휴대인터넷 표준 - 물리 계층, 2004

임 석 구(Seog-Ku Lim)

[정회원]



- 1983년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1987년 1월 ~ 1992년 2월 : LG 전자 중앙연구소

- 1992년 2월 ~ 1994년 2월 : 한국전자통신연구원
- 1994년 3월 ~ 2001년 2월 : 주성대학
- 1994년 7월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 초빙연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 천안대학교 정보통신학부 부교수

<관심분야>

트래픽 엔지니어링, 시뮬레이션, 이동통신시스템 성능분석, 광 네트워크