

# 무선통신 시스템에서의 비례지연서비스를 위한 플로우 기반 WTP 스케줄러

정희원 박효순\*, 권은현\*, 김태현\*, 이재용\*

## Flow-Based WTP Scheduler for Proportional Differentiated Services in Wireless Communication Systems

Hyosoon Park\*, Eunhyun Kwon\*, Taehyoun Kim\*, Jaiyong Lee\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 무선 통신시스템에서 클래스간 비례지연 서비스를 위한 Flow Based Waiting Time Priority (FB-WTP) 스케줄러를 제안한다. 기존의 스케줄러는 클래스 단위로 동작하는 유선망의 구조를 그대로 사용하나, 제안된 FB-WTP 스케줄러는 이와 달리 플로우 단위로 동작을 하며, 네트워크 운영자가 입력한 클래스간 목표 큐잉 지연 비율은 기존 알고리즘과 같이 거의 동일하게 만족 시키면서도 클래스별 평균 큐잉 지연 성능은 월등히 향상 되었다. 이것은 각 플로우의 채널 환경이 동적으로 변화는 무선 환경에서 FB-WTP는 다중 플로우 다이어미터 효과를 최대한 이용 하기 때문이다. 또한 기존 알고리즘들에서 발생 할 수 있는 HOL 패킷 블로킹 문제가 발생하지 않는다. 성능평가를 위한 모의 실험에서 다중 채널 상태를 고려한 Look-ahead Waiting Time Priority (LWTP) 스케줄링 알고리즘과의 비교 분석으로 제안한 FB-WTP가 클래스간 목표 큐잉 지연 비율을 만족 시킬 뿐만 아니라 LWTP에 비해 클래스별 평균 큐잉 지연 특성이 향상됨을 보였다.

**Key Words :** FBWTP, Packet Scheduler, LWTP, DiffServ, PDS

### ABSTRACT

In this paper, we propose a Flow Based Waiting Time Priority (FB-WTP) scheduler that supports the proportional delay differentiated services between classes. Existing scheduling algorithms utilize the configuration of scheduler, which is operated as class unit, applied to wired network. However, FB-WTP scheduler is operated as flow unit and can take advantage of multi-flow diversity effect in time-varying channel state environment. As a result, FB-WTP improves the average queueing delay on each class as well as supporting the average queueing delay ratio between classes. It also solves the HOL packet blocking problem implicitly. Simulation results show that FB-WTP scheduler has better system queueing delay performance than Look-ahead Waiting Time Priority (LWTP) scheduler and supports the target queueing delay ratio between classes that network operator set.

### I. 서 론

유선망 환경이 음성 서비스 중심에서 인터넷을 통한 데이터 패킷 중심 서비스로 폭발적인 발전을

했듯이 현재 무선 이동망도 음성 서비스 중심에서 다양한 멀티미디어 서비스를 언제 어디서나 받을 수 있다는 장점으로 사용자들이 기하급수적으로 증가하고 있는 추세이다. 이러한 응용서비스 및 사용

\* 연세대학교 전기전자공학부 UbiNet 연구실({hspark, ehkwon, tuskkim, jyl}@nasia.yonsei.ac.kr)

논문번호 : KICS2005-06-252, 접수일자 : 2005년 6월 21일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2002-000-00531-0)지원으로 수행되었음.

자의 증가는 제한된 자원과 시간과 장소에 따라 변화는 채널 환경인 무선 이동 망에서의 QoS 모델을 필요로 하게 되었다. 이러한 무선망에서의 QoS 모델은 유선망에서의 QoS 모델 구조를 효과적으로 무선망에 적용하기 위한 방향으로 많은 연구들이 진행되고 있다.

현재 유선망에서의 QoS 모델은 IntServ 모델[1]의 확장성 문제로 플로우의 집합인 클래스 단위로 QoS 서비스를 지원하는 DiffServ 모델[2]로의 연구가 많이 진행되고 있다. DiffServ 모델에는 크게 absolute differentiated service, relative differentiated service, proportional differentiated service들이 있으며, 이 중에서 최근에 관심을 받고 있는 비례 지연 차별화 서비스 (proportional delay differentiated services)는 클래스간 평균 큐잉 지연 비율이 트래픽의 로드와 관계없이 원하는 목표치가 유지되도록 서비스를 수행하는 모델이다. 이러한 비례 지연 차별화 서비스는 채널 에러 등으로 인해 지연 바운드를 절대적으로 지원하지 못함으로 인해 QoS 보장이 어려운 무선 이동 망 환경에서 적합한 서비스 형태로 고려되고 있다.

본 논문에서는 무선망에서 비례지연 차별화 서비스를 지원하는 기존의 스케줄링 알고리즘에 비해 성능이 향상된 Flow-based WTP 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 기존의 알고리즘들은 무수히 많은 플로우들로 인해 유선망 시스템의 라우터에서 클래스 단위로 처리토록 구현된 유선망을 위한 알고리즘 구조를 그대로 이용하고 있으나, 제안하는 FB-WTP 알고리즘은 망의 종단 노드, 즉 기지국에서의 플로우의 수는 한정되어 있으므로 플로우 단위 동작을 수행함으로써 플로우 수에 따른 부하보다는 다중 플로우 다이버시티를 최대로 활용 함으로써 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서 제안한 FB-WTP 스케줄링 알고리즘의 특징으로는, 1) 클래스 기반으로 동작하는 기존 알고리즘들과 거의 동일한 수준의 클래스간 평균 큐잉 지연 비율을 지원한다, 2) 플로우 기반 처리에 따른 다중 플로우 다이버시티 활용으로 클래스별 평균 큐잉 지연 특성이 기존의 알고리즘에 비해 탁월하다, 3) 클래스 기반 큐에서의 HOL 패킷 블로킹 문제가 발생하지 않는다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 2장에서는 비례 차별화 서비스 모델과 기존 스케줄링 알고리즘들에 대해 살펴보고, 제 3장에서는 제안한 FB-WTP 스케줄링 알고리즘에 대해 기술한다. 제 4

장에서는 모의실험을 통해 제안한 알고리즘의 성능 평가를 수행한다. 제 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 비례 차별화 서비스 모델

비례 차별화 서비스 모델은 네트워크 운영자와 각 사용자간 계약에 의해 소속된 클래스들 간의 목표 성능을 운영자가 제어 가능해야 하며, 또한 통신망에서는 이를 보장해 줄 수 있는 모델로 Dovrolis가 [3]에 의해 제안 되었다. 비례 차별화 서비스 모델은 모든 클래스  $i, j$ 에 대해 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\frac{\bar{q}_i(t, t+\tau)}{\bar{q}_j(t, t+\tau)} = \frac{c_i}{c_j} \quad (1)$$

여기서  $\bar{q}_i(t, t+\tau)$ 는 시간 구간  $(t, t+\tau)$ 동안 클래스  $i$ 의 성능 측정치 이고,  $c_1 < c_2 < \dots < c_N$ 은 성능 차별화 변수들 (Quality Differentiation Parameters)이다. 식(1)은 각 클래스의 성능 레벨은 클래스 로드와 따라 변할지라도 클래스들 간의 성능 비율은 네트워크 운영자가 정한 값으로 유지되어야 함을 의미한다.

비례 차별화 서비스 모델에서 성능 측정 대상을 큐잉 지연시간으로 정의하면 식 (2)와 같은 비례 지연 차별화 서비스 모델이 되며, 성능 측정 대상을 패킷 유실율로 정의하면 식 (3)과 같은 비례유실율 차별화 서비스 모델이 정의된다.

$$\frac{\bar{d}_i(t, t+\tau)}{\bar{d}_j(t, t+\tau)} = \frac{\delta_i}{\delta_j} \quad (2)$$

$$\frac{\bar{l}_i(t, t+\tau)}{\bar{l}_j(t, t+\tau)} = \frac{\sigma_i}{\sigma_j} \quad (3)$$

여기서  $\bar{d}_i(t, t+\tau)$ 는 시간 구간  $(t, t+\tau)$ 동안 서비스 받은 클래스  $i$  패킷들의 평균 큐잉 지연시간이며  $\{\delta_i\}$ 는 지연 차별화 변수이다.  $\bar{l}_i(t, t+\tau)$ 는 시간 구간  $(t, t+\tau)$ 동안 도착한 클래스  $i$  패킷과 이 시간동안 유실된 패킷의 비로 패킷의 유실율이며  $\{\sigma_i\}$ 는 유실율 차별화 변수이다.

본 논문에서는 비례 지연 차별화 서비스를 지원하기 위한 패킷 스케줄링 알고리즘으로 국한한다.

클래스간 비례 지연 차별화 서비스 지원을 위한

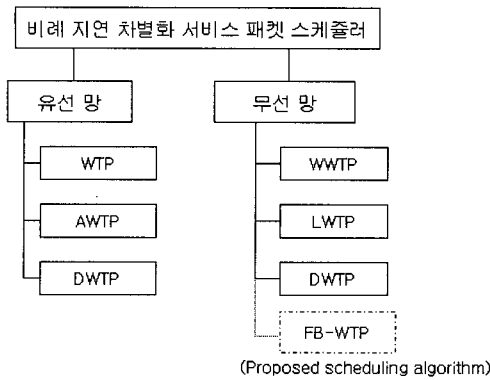


그림 1. 비례 지연차별화 서비스 스케줄링 알고리즘

스케줄링 알고리즘은 그림 1과 같이 유선망 과 무선망의 알고리즘으로 크게 분류 할 수 있다.

유선망에서는 WTP(Waiting Time Priority)[3]가 제일 먼저 제안되었으며, 이 알고리즘은 Kleirock의 TDP(Time Dependent Priority)[4] 알고리즘을 기반으로 하고 있다. WTP는 각 클래스의 HOL 패킷에 대해 식 (4)와 같이 정의된 Priority value을 계산하여 가장 큰 값을 갖는 클래스의 패킷을 전송한다.

$$P_i(t) = \frac{W_i(t)}{\delta_i} = \frac{t - A_i(t)}{\delta_i} \quad (4)$$

여기서  $A_i(t)$ 는 시간  $t$ 에서 클래스  $i$ 의 HOL 패킷의 큐 도착시간이며,  $W_i(t)$ 는 HOL 패킷의 큐잉 시간을 의미한다.

AWTP (Advanced Waiting Time) [5] 스케줄러는 WTP에서는 고려하지 않았던 패킷의 전송시간을 미리 고려하여 서비스 받을 클래스를 선정하는 것으로 WTP에 비해 클래스별 평균 지연시간을 줄임으로서 시스템의 성능을 향상 시킨다. 유무선 양쪽 망에 적용 할 수 있는 DWTP (Dynamic Waitig Time Priority) [6] 스케줄러는 특정 시간구간 동안 실제 측정된 클래스간 평균지연 비율 값과 네트워크 운영자가 입력한 목표 클래스간 평균 지연 비율 값을 활용하여 지연 차별화 변수 값을 동적으로 할당함으로써 목표로 정한 클래스간 지연 비율 값에 빨리 접근 하도록 하며, 아울러 slot queue와 lagging flag을 이용한 보상메커니즘을 반영하고 있다.

WWTP (Wireless Waiting Time Priority) [7] 스케줄러는 시간에 따라 변화는 채널 특성을 고려하여 선택된 패킷의 수신 측 채널 상태를 점검 후 전송 여부를 결정함으로써 클래스 큐의 HOL 패킷 블

록킹 문제를 해결하였다. LWTP (Look-ahead Time Priority) [8] 스케줄러는 채널 상태가 ON/OFF 두 단계 모델이 아니라 다중 채널 상태를 갖는 환경에서 비례 지연 차별화 서비스 지원을 위한 스케줄링 알고리즘으로 기존 AWTP 알고리즘을 시간 또는 위치에 따라 변화하는 다중 채널환경에 적용한 경우이다.

지금까지 언급한 스케줄링 알고리즘들의 동작은 동일한 서비스 품질을 요구하는 플로우들의 집합인 클래스 큐 단위로 수행된다. 유선망과 같이 무수히 많은 플로우들이 지나가는 코어 망내 라우터에 적용되는 스케줄러는 플로우 단위 처리에 따른 확장성 문제로 클래스 단위로 동작하는 것이 당연하나, 무선망의 기지국 같이 망의 종단 노드에서는 기지국의 셀 내에 있는 사용자의 수로 플로우 수가 제한됨으로 클래스간 비례지연 서비스 지원을 위해 클래스 큐 단위로 처리하기 보다는 플로우 큐 단위로 처리하는 것이 많은 장점을 갖고 있다. 이것은 무선망에서는 다중 플로우 다이버시티를 활용하여 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있는 장점이 있기 때문이며 그림 1에서 FB-WTP(Flow-Based Waiting Time Priority) 표시되어 있다.

### III. FB-WTP 스케줄링 알고리즘

FB-WTP는 플로우 단위 큐 동작으로 무선망에서의 다중 플로우 다이버시티를 활용 하면서 클래스간 비례 지연 서비스를 지원토록 본 논문에서 제안한 비례 지연 차별화 서비스 스케줄링 알고리즘이다. 이 알고리즘은 클래스간 비례 지연 서비스를 지원하면서 아울러 기존 알고리즘 보다 시스템의 클래스별 평균 지연 성능을 향상 시키며, HOL 패킷 블 록킹 문제가 발생하지 않는다는 장점을 갖고 있다.

FB-WTP 스케줄러는 두 단계로 구성되어 있다. 첫 단계는 서비스를 받을 플로우를 선택하는 플로우 선택 단계로 기존의 AWTP와 LWTP 알고리즘에 적용된 가상 전송 개념을 적용하였다.

먼저 순차적으로 플로우를 하나씩 가상적으로 전송 할 때 나머지 플로우들에 있어 가상의 priority value를 나타내는 식 (5)는 시간  $t$ 에서 플로우  $i$ 를 가상으로 전송 시 클래스별 비례지연 변수 값에 의해 정규화된 각 플로우의 가상 지연 값을 의미한다. 식(6)은 플로우  $i$  전송 시 최대의 지연 값을 나타낸다. 이러한 과정을 모든 플로우에 대해 수행한다.

$$V_j^i(t) = \frac{W_j(t) + X_i}{\delta_k}, \text{ where } X_i = \begin{cases} 0, & \text{if } j = i \\ \frac{PS_i(t)}{CS_i(t)}, & \text{if } j \neq i \end{cases} \quad (5)$$

$$MP_i(t) = \max_{1 \leq j \leq N} \{V_j^i(t)\} \quad (6)$$

여기서  $V_j^i(t)$ 는 시간  $t$ 에서 플로우  $i$ 가 가상으로 서비스 받았을 경우 가상 priority value를 나타낸다.  $W_j(t)$ 는 시간  $t$ 에서 플로우  $j$ 의 HOL 패킷 큐 대기시간,  $X_i$ 는 플로우  $i$  전송에 의한 추가되는 지연 시간으로 정의한다.  $PS_i(t)$ 는 시간  $t$ 에서 플로우  $i$ 의 패킷크기를  $CS_i(t)$ 는 시간  $t$ 에서 플로우  $i$ 의 채널 상태를 나타내며, 이 값은 다중 상태로 시간에 따라 동적으로 변화한다.  $\delta_k$ 는 플로우  $j$ 가 속한 클래스의 지연 비례 변수로 네트워크 운영자가 사용자와의 계약에 의해 외부에서 입력하는 값이다.

모든  $MP_i(t)$ 중 최소값을 갖는 인덱스의 플로우를 식 (7)과 같이 구한 후 해당하는 플로우 큐의 HOL 패킷을 전송한다.

$$\begin{aligned} MMP(t) &= \min_{1 \leq i \leq N} \{MP_i(t)\} \\ F(t) &= \arg \min_{1 \leq i \leq N} \{MP_i(t)\} \end{aligned} \quad (7)$$

두 번째 단계에서는 개개의 플로우 큐에 대한 평균 지연 값을 소속된 클래스 단위로 취합하여 클래스별 평균 지연 시간을 구하고, 또한 클래스간 평균 지연 시간 비율 값을 도출한다.

FB-WTP 스케줄링 알고리즘을  $N$ 개의 플로우를 대상으로 도식적으로 이해하기 쉽게 그림 2에서 보여준다.

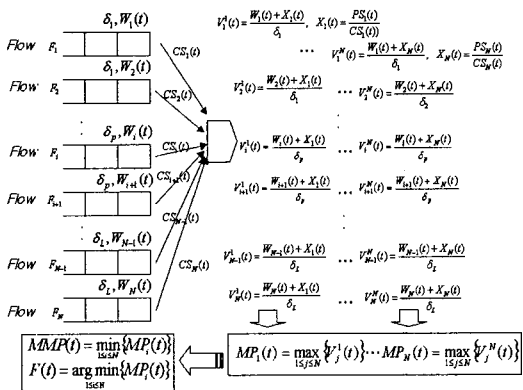


그림 2. FB-WTP 스케줄링 알고리즘의 처리과정

## IV. 모의 실험

클래스간 비례 지연 차별화 서비스 지원을 위해 제안된 플로우 기반 FB-WTP 스케줄링 알고리즘의 성능 개선 정도를 분석하기 위해 클래스 단위로 동작하는 LWTP 스케줄링 알고리즘과 비교를 수행하였다. 본 모의 실험에서는 OPNET사에서 통신 네트워크와 프로토콜의 모델링 및 모의 실험을 위해 개발한 even-driven 네트워크 모의 실험 툴인 OPNET Modeler 10.5 ver.을 사용 하였다.

모의 실험에서는 트립픽 로드예 따른 클래스 간 평균 지연시간 비율이 네트워크 운영자가 입력한 값에 만족 하는지를 살펴보고, 또한 제안한 FB-WTP 스케줄링 알고리즘이 기존의 LWTP 스케줄링 알고리즘에 비해 클래스별로 평균 지연 시간이 얼마나 향상 되었는지와 클래스별 패킷 전송량을 분석한다.

### 4.1 모의 실험 모델

OPNET을 이용한 노드 모델을 그림 3과 같이 구성 하였으며, 3개의 클래스와 클래스 별로 8개의 플로우를 가정 하였다. LWTP 스케줄링 알고리즘은 Queue 노드에서 클래스 단위의 큐로 취합된 후 처리를 하며, FB-WTP 스케줄링 알고리즘은 플로우 별로 별도의 큐를 정하고 플로우 단위로 동작 후 Sink노드에서 클래스 단위의 평균 지연 값을 구한다. LWTP 알고리즘과의 정확한 비교를 위해 가능한 [8]에서 가정한 실험환경과 동일하게 유지하도록 하였다. 기존 네트워크 운영자에 의해 입력되는 클래스별 지연 차별화 변수의 값으로는  $\delta_1=1, \delta_2=2, \delta_3=4$ 로 설정하였다. 각 플로우별 패킷 발생을 분포는 포아송 분포를 따르며, 패킷 발생을 조정하여 시스템의 전체 패킷 입력 트래픽 부하를 0.1에서 1까지 증가 시키면서 실험을 수행 하였다. 모든 패킷의 크기는 441bytes로 고정하였으며, 무선 링크 채

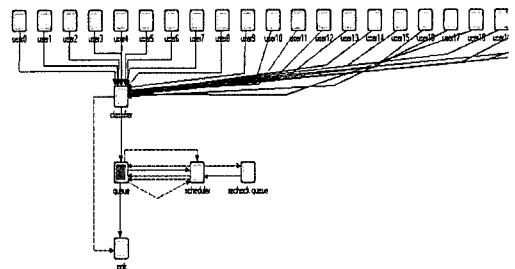


그림 3. OPNET 노드 모델

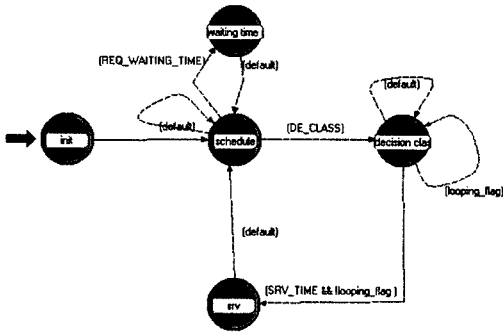


그림 4. 큐 프로세스 모델

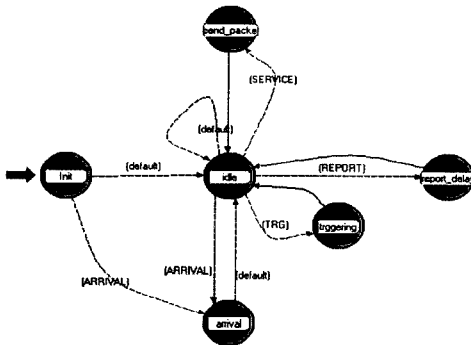


그림 5. 스케줄러 프로세스 모델

널의 최대 처리율은 2646 bytes/sec로 설정하였다. 무선 링크 채널모델은 최대 처리율을 기준으로 5개의 상태로 구성된 다중 상태 마코프 체인으로 가정하였다.

모의 실험에서 주요 기능을 수행하는 Queue와 Scheduler의 프로세스 모델은 그림 4와 그림 5와 같다. 그림 4의 Queue 모델의 경우 report\_delay state에서는 Scheduler로부터 요구된 클래스별 또는 플로우별 패킷의 큐잉 지연값을 Scheduler로 보고하며, send\_packet state에서는 Scheduler로부터 수신한 클래스 또는 플로우의 링크 상태를 점검 후 Sink 노드로 전송한다. 그림 5의 Scheduler 모델의 경우는 decision\_class state에서 수신한 큐잉 지연시간 값과 입력된 지연 차별화 변수 값으로 LWTP와 FB-WTP 스케줄링 알고리즘을 구동하여 클래스 또는 플로우를 선택한다.

#### 4.2 실험 결과 및 분석

비례지연 차별화 서비스 스케줄러는 네트워크 운영자가 입력한 클래스 별 지연 차별화 변수 값을 지원 할 수 있도록 동작 하여야한다. 그림 6과 7에서 볼 수 있듯이 LWTP와 FB-WTP 스케줄링 알고

리즘은 입력 트래픽의 부하가 1로 증가함에 따라 목표한 클래스간 평균 지연 비율에 접근하고 있음을 보여준다. 여기는 Alpha 값은 다중 무선 링크 채널 모델[8]에서 다음 상태가 이웃 상태로 전이하지 않고 현재의 상태로 머물 확률 값을 나타낸다. 기존의 LWTP 스케줄링 알고리즘과 본 논문에서 제안한 FB-WTP 스케줄링 알고리즘을 적용 하였을 때의 클래스별 평균 지연시간의 개선 정도를 그림 8에서 정량적으로 분석 하였으며, 지연 개선은  $(\bar{d}_i^{LWTP})$

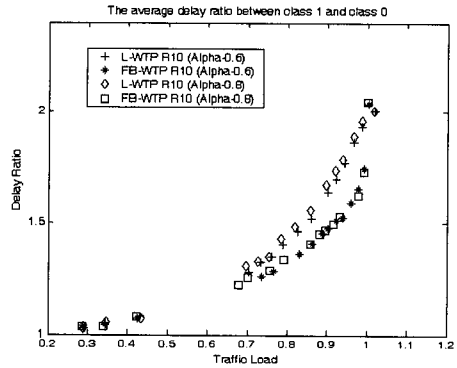


그림 6. 클래스 0과 클래스 1간의 평균 지연 비율

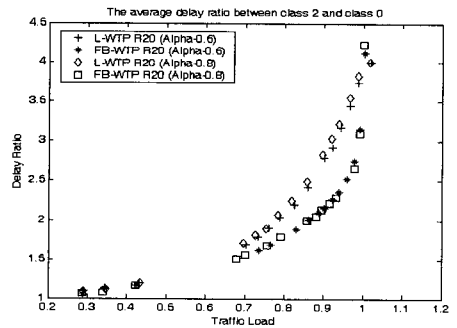


그림 7. 클래스 0과 클래스 2간의 평균 지연 비율

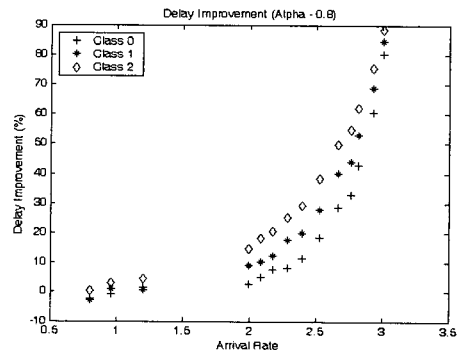


그림 8. 평균 큐잉 지연 시간

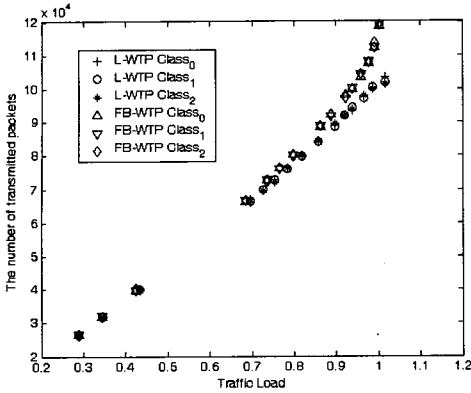


그림 9. 클래스별 전송 패킷의 수

$\bar{d}_i^{FB-WTP} / \bar{d}_i^{LWTP}$ 로 정의된다. 여기서  $\bar{d}_i^{LWTP}$ 는 LWTP 알고리즘에 의한 클래스  $i$ 의 평균 큐잉 지연시간을 나타내며,  $\bar{d}_i^{FB-WTP}$ 는 제안한 FB-WTP 알고리즘에 의한 클래스  $i$ 의 평균 큐잉 지연시간을 의미한다.

III장에서 예측했듯이 시간에 따라 채널 환경이 변화는 무선 이동통신 시스템에서 다중 사용자 다이버시티 효과를 이용한 FB-WTP 스케줄링 알고리즘을 적용 시 입력 트래픽의 부하가 증가 할수록 클래스별 평균 지연이 다중 사용자 다이버시티를 사용하지 않은 LWTP에 비해 급격히 개선됨을 볼 수 있다.

두개의 알고리즘을 수행 시 클래스별로 실제 전송된 패킷의 수를 그림 9에서 보여준다. OPNET을 이용한 모의실험에서 입력 부하별로 100000초를 수행 하였으며 FB-WTP 알고리즘에 의한 클래스별 전체 전송 패킷 수가 LWTP 알고리즘에 의한 것 보다 많음을 볼 수 있다. 이것은 스케줄링 시간마다 양호한 채널 환경을 갖는 플로우를 선택하는 FB-WTP 스케줄링 알고리즘의 장점을 보여준다.

### V. 결론

무선망 환경에 적합한 QoS 모델인 비례 지연 차별화 서비스를 지원하기 위한 기존의 스케줄링 알고리즘들은 시스템의 환경이 변화하였음에도 유선망에서와 같이 클래스 단위 큐 동작을 수행하고 있다. 기지국 같이 망의 중단 노드에서는 플로우의 수가 제한됨으로 기존의 알고리즘과 달리 플로우 단위 동작을 수행하여도 이로 인한 로드 보다는 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있는 장점을 갖고 있다.

제안한 FB-WTP 스케줄링 알고리즘은 다중 플로우 다이버시티를 활용 할 수 있도록 플로우 큐 단위로 동작한다. 이 알고리즘은 네트워크 운영자가 입력한 클래스간 평균 지연 비율을 만족 시킴으로써 목표로 한 비례 지연 차별화 서비스를 지원하며, 시스템의 클래스별 평균 지연 성능 향상, 클래스별 패킷 전송 수율향상, 그리고 클래스 큐 단위 처리에서 발생하는 HOL 패킷 블로킹 문제 해결 등의 장점을 갖고 있다. 본 논문에서는 비실시간 트래픽만을 고려하였으나 향후 절대적인 지연 값을 요구하는 실시간 트래픽을 포함한 경우에 대한 패킷 스케줄링 알고리즘의 연구가 필요하다.

### 참고 문헌

- [1] S. Shenker, C. Partridge, and R. Guerin, "Specification of guaranteed quality of service," RFC 2212, IETF, Sep. 1997.
- [2] S. Blake, D. Black, M. carlson, E. Davies, Z. Wang, and W. Weiss, "An Architecture for Differentiated Services," RFC 2475, IETF, Dec. 1998.
- [3] C. Dovrolis, D. Stiliadis, and P. Ramanathan, "Proportional differentiated services: delay differentiation and packet scheduling," in *Proc. ACM SIGCOMM*, Aug. 1999, pp. 109-119
- [4] L. Kleinrock, *Queueing Systems*. New York: Wiley-Interscience, 1976, vol. 2.
- [5] Yuen-Cheng Lai and Wei-His Li, "A Novel Scheduler for Proportional Delay Differentiation by Considering Packet Transmission Time," *IEEE Communication Letters*, vol. 7, no. 4, pp. 189-191, April 2003
- [6] Sang-Jo Yoo, Yun-Ho Ko, and Jae-Cheol Kwon, "Wireless Delay Proportional Service (WDPS) Scheduling Algorithm for Differentiated Service in Wireless Networks with Location-Dependent Errors," *IEICE Trans. Commun.* Vol. E86-B, no. 4 April 2003
- [7] M. R. Jeong, K. Kakami, H. Morikawa, and T. Aoyama, "Wireless Scheduler Providing Relative Delay Differentiation," *WPMC'00*, pp. 1067-1072, Nov. 2000
- [8] Yuen-Cheng Lai and Arthur Chang, "A

Look-Ahead Scheduler to Provide Proportional delay Differentiation in Wireless Network with a Multi-state Link," ICOIN 2003, pp. 597-606

박 효 순 (Hyosoon Park)

정회원



1989년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업

1991년 2월 경북대학교 전자공학과(석사)

2001년 2월~현재 연세대학교 전기전자공학부 박사과정

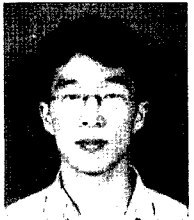
1991년~2005년 삼성전자(주) 수

석연구원

<관심분야> Resource management, Scheduling Algorithm, Wireless QoS, Mobility Management

권 은 현 (Eunhyun Kwon)

정회원



1996년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업

1998년 2월 연세대학교 전자공학과(석사)

2004년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학부 박사과정

1998년~2004년 삼성전자(주) 책

임연구원

<관심분야> Wireless MAC Protocol, Packet Scheduling, Wireless Mesh Networks

김 태 현 (Taehyoun Kim)

정회원



1996년 2월 홍익대학교 전자공학과 졸업

1999년 8월 연세대학교 전자공학과(석사)

2002년 2월~현재 연세대학교 전기전자공학부 박사과정

1996년 2월~2002년 삼성전자

(주) 책임연구원

<관심분야> IP-Mobility Management, IP-QoS Provision, Resource management

이 재 용 (Jaiyong Lee)

정회원



1977년 연세대학교 전자공학과 졸업

1984년 미국 Iowa 주립대 컴퓨터공학(석사)

1987년 미국 Iowa 주립대 컴퓨터공학(박사)

1977년~1982년 국방과학연구소

연구원

1987년~1994년 포항공과대학교 전자계산학과 부교수

1994년 8월~현재 연세대학교 전기전자공학부 교수

<관심분야> QoS Management/Protocol, 차세대 이동

통신망 프로토콜, MAC, Mobility Management, WTCP, Sensor Network