

# 이동통신 시스템을 위한 트래픽 유입량 기반 하향링크 스케줄링 알고리즘

정희원 김 정 중, 황 준 호, 종신회원 유 명 식\*<sup>o</sup>

## Downlink Scheduling Algorithm Based on Traffic Arrival Rate for Mobile Telecommunication System

Jungjong Kim, Junho Hwang *Regular Members*, Myungsik Yoo\*<sup>o</sup> *Lifelong Member*

### 요 약

이동통신 환경에서 하향링크 스케줄링 기법은 무선 시스템의 성능을 크게 좌우할 정도로 매우 중요하다. 그러나 무선 시스템에서 가장 잘 알려진 기존의 비례 공평성 (Proportional Fairness: PF) 스케줄링 기법은 사용자 별 무선 채널 품질만을 고려하여 자원을 할당하기 때문에 전송해야할 하향 트래픽 유입량이 많은 사용자의 경우 원활한 전송이 불가능하다. 이를 해결하기위해 전송 대기 큐의 크기를 고려하여 자원을 할당하게 될 경우 전송 대기 큐의 누적으로 인해 낮은 채널 품질을 갖는 사용자에게 자원 할당이 집중되어 전체 시스템 전송률을 저하시킨다. 이에 본 논문에서는 하향 트래픽 유입량을 추가적으로 고려하여 기존 PF 스케줄링 알고리즘을 확장함으로써 낮은 채널 품질을 갖는 사용자의 전송이 지연되는 기존 PF 스케줄링 알고리즘의 문제점을 해결하는 동시에 이로 인해 발생할 수 있는 전체 시스템 전송률 저하 문제를 최소화 할 수 있는 트래픽 유입량 기반 하향링크 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘이 기존 스케줄링 알고리즘의 문제점을 해결하고 높은 성능을 보임을 확인하였다.

**Key Words** : Downlink Scheduling Algorithm, Traffic Arrival Rate, Proportional Fairness

### ABSTRACT

The downlink scheduling algorithm has a great impact on the performance of mobile telecommunication system. In proportional fairness (PF) scheduling algorithm, the resource is allocated proportionally to the quality of wireless channel. Thus, PF has difficulty in servicing the users having more downlink traffic. One can allocate the resource proportionally to the accumulated queue length. However, this leads to system throughput degradation since the users having low channel quality get more and more resource allocated due to accumulation property of queue. In this paper, we propose a new downlink scheduling algorithm, which extends PF algorithm by incorporating downlink traffic arrival rate. The proposed algorithm can effectively cope with users having more downlink traffic, and maintain high system throughput by eliminating accumulation effect in the algorithm. With computer simulations, it is verified that the proposed algorithm performs better than existing algorithms.

※ 본 연구는 지식경제 프론티어기술개발사업의 일환으로 추진되고 있는 지식경제부의 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크 원천기반기술개발 사업의 09C1-C1-20S 과제로 지원된 것임.

\* 숭실대학교 정보통신전자공학부 통신망 설계 및 분석 연구실 (myoo@ssu.ac.kr) (°: 교신저자)

논문번호 : KICS2009-08-351, 접수일자 : 2009년 08월 13일, 최종논문접수일자 : 2010년 1월 5일

## I. 서 론

이동통신 환경에서 하향링크 스케줄링 기법은 알고리즘의 성능에 따라 이동통신 시스템의 전송 효율을 크게 좌우할 정도로 매우 중요하다. 일반적으로 패킷 스위칭 기반 이동통신 시스템에서의 무선 자원은 단위 시간 (Transmit Time Interval: TTI)으로 분리된 서브 프레임 (Sub-frame)의 형태이며, 다수의 사용자가 셀 (Cell) 내 존재하는 다중 사용자 이동통신 환경에서는 하향 링크 전송을 위해 기지국은 각 단말의 하향 트래픽을 서브 프레임에 할당하는 자원 할당 과정을 수행한다<sup>[1]</sup>. 이때 자원의 할당은 스케줄링 알고리즘을 통해 이루어지게 되며 매 TTI 마다 반복적으로 전송 받을 사용자를 결정하여 전송하게 된다<sup>[2]</sup>.

이동통신 환경에서 하향 스케줄링 시 일반적으로 고려되어야 할 사항으로는 사용자 단말과 기지국간 무선 채널의 품질, 최대 전송률, 기지국의 통신 범위 내 존재하는 사용자 단말의 수, 서브 프레임의 크기 등이 있다. 이중 특히 무선 채널의 품질은 시간 및 주파수, 사용자의 주변 환경 등에 따라 다르게 나타나며, 이에 따라 전송률을 결정하는 기준인 MCS (Modulation and Coding Scheme) 등급이 결정되므로 매우 중요하다. 따라서 한정된 무선 자원을 효율적으로 사용하기 위해서는 무선 채널 품질을 고려한 스케줄링 알고리즘이 필수적이며 이에 따라 무선 시스템의 성능이 크게 좌우된다.

그러나 무선 채널의 품질을 고려한 하향 전송 스케줄링 알고리즘 중 가장 잘 알려진 비례 공정성 (Proportional Fairness: PF) 스케줄링 알고리즘<sup>[3]</sup>은 비교적 높은 시스템 전송률을 제공할 수 있으나 무선 채널 품질만을 고려하여 자원을 할당하기 때문에 특정 사용자로의 하향 트래픽이 할당받은 자원량 보다 많은 경우 전송 대기 큐 (Queue)가 계속적으로 누적되어 원활한 전송이 어려워지는 문제가 발생한다. 이 같은 문제를 해결하기 위해 전송 대기 큐의 크기를 고려하여 이에 비례하게 자원을 할당할 경우 앞서 설명한 전송 대기 큐 누적 문제를 어느정도 해결할 수 있으나 채널 품질이 낮고 하향 트래픽 유입량이 높은 사용자가 많을수록 전체 시스템 전송률은 저하되게 된다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 무선 채널 품질 뿐만 아니라 하향 트래픽 유입량을 추가적으로 고려하여 이에 비례하게 무선 자원을 스케줄링 하는 PF 기반 하향 스케줄링 알고리즘을

제안한다. 이를 통해 하향 트래픽 유입량이 많은 사용자의 데이터를 원활히 전송하면서도 전송 대기 큐의 누적으로 인해 전체 시스템 트래픽이 지속적으로 악화되는 문제를 해결할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 기존 무선 스케줄링 기법 및 문제점을 설명하고 III장에서는 제안하는 트래픽 유입량 기반 스케줄링 알고리즘을 설명한다. 이어서 IV장에서는 제안하는 스케줄링 알고리즘의 성능평가를 위해 실시된 모의 실험의 결과를 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구 및 문제점

무선 통신 시스템은 효율적인 하향 링크 자원의 활용을 최대화하기 위해 기지국과 사용자 단말간 무선 채널의 품질 정보 (Channel Quality Information: CQI)를 활용하여 무선 채널의 품질에 비례하게 MCS 등급을 적용하는 적응 변조 및 부호화 (Adaptive Modulation and Coding: AMC) 기법을 사용하여 하향링크 전송을 수행한다. 이와 같이 무선 채널 품질에 의존적인 무선 시스템의 전송률을 최대화하기 위해서는 가장 높은 채널 품질을 가지는 특정 사용자에게 무선 자원을 집중적으로 할당해야 한다. 그러나 이러한 스케줄링 방법은 낮은 채널 품질을 가지는 사용자에게 자원 할당 측면에서의 기아 (Starvation) 현상을 발생시킬 수 있으며 사용자별 공정성 (Fairness) 제공 측면의 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 사용자의 무선 채널에 비례하게 자원을 할당하여 비례적 공정성을 제공할 수 있는 PF 스케줄링 알고리즘이 제안되었다.

무선 시스템의 하향 전송을 위한 기존의 스케줄링 알고리즘 중 가장 잘 알려진 PF 스케줄링 알고리즘은 매 스케줄링 주기마다 기지국 (Node B)과 이와 연결된 사용자 단말 간 무선 채널 품질 정보를 사용자 단말로부터 궤환 (Feedback)받는다. 이를 활용하여 무선 채널 품질에 비례하게 무선 자원을 할당함으로써 무선 채널 품질에 비례한 공정성을 제공한다. 따라서 낮은 채널 품질을 갖는 사용자의 기아 문제를 해결하는 동시에 비교적 높은 시스템 전송률을 제공할 수 있다. 그러나 사용자별 트래픽 유입량을 고려하지 않고 무선 채널 품질만을 고려하여 무선 자원을 할당하기 때문에 하향 트래픽 유입량이 많은 사용자의 경우 제한된 전송률로 인해 전송해야 할 하향 트래픽이 제때 전송되지 못하고

전송대기 큐에 패킷이 계속적으로 누적되는 문제가 발생한다.

앞서 설명한 기존 PF 스케줄링 알고리즘의 문제를 해결하기 위해 무선 채널 품질 이외에 전송 대기 큐의 크기를 추가적으로 고려하여 누적된 트래픽이 많은 사용자에 더 많은 자원을 할당하는 APF-Q (Adaptive PF with Queue Length Consideration) 스케줄링 알고리즘<sup>[4]</sup>이 연구되었다. 이 알고리즘은 무선 채널 품질 이외에 전송 대기 큐의 크기를 추가적으로 고려하여 평균 전송량 갱신에 적용함으로써 사용자간 전송량 및 전송 지연에 대한 공평성을 제공할 수 있다. 그러나 채널 품질이 낮고, 하향 트래픽 유입량이 많아 이로 인해 전송 대기 큐의 누적량이 큰 사용자 위주로 자원을 할당받음으로써 채널 품질이 높아 전송 대기 큐의 누적량이 적은 사용자는 상대적으로 많은 자원을 할당받지 못하게 된다. 따라서 PF 스케줄링 알고리즘과는 반대로 전체 시스템의 전송률이 크게 낮아지는 문제점이 발생한다. 더욱이 전송 대기 큐의 누적량이 큰 사용자에게 다른 사용자에 비해 많은 자원을 할당하였음에도 불구하고 낮은 채널 품질로 인해 트래픽의 유입량이 전송량보다 더욱 큰 경우, 전송대기 큐의 크기는 하향 트래픽의 누적으로 인해 지속적으로 커지게 되고 이에 따라 시스템 전송률의 저하는 더욱 심해지게 된다.

앞서 설명한 기존 PF 기반 스케줄링 알고리즘들의 문제점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 무선 채널 품질 뿐 아니라 하향 트래픽 유입량을 추가적으로 고려하여 이들의 곱에 비례하게 자원을 할당함으로써 트래픽 유입량이 높은 사용자의 전송을 원활하게 하는 동시에 이로 인해 발생할 수 있는 전체 시스템 전송률의 저하문제를 최소화 할 수 있는 트래픽 유입량 기반 하향링크 스케줄링 알고리즘을 제안한다.

### III. 제안하는 트래픽 유입량 기반 하향링크 스케줄링 알고리즘

본 논문에서는 앞서 II장에서 제기한 문제를 해결하기 위해 기존 PF 스케줄링 알고리즘에 하향 트래픽 유입량을 추가적으로 고려하고, 이에 비례하게 PF 메트릭 (Metric)의 값을 높여줌으로써 트래픽 유입량이 높은 사용자에게 자원할당 받을 수 있는 확률을 높여주게 된다. 이렇게 확장된 스케줄링 알고리즘은 식 (1)과 같다.

$$i^*(n) = \arg \max_{i \in I} \{Pr(i, n)\} \quad (1)$$

식 (1)에서  $i^*(n)$ 은 기지국의 셀 내 존재하는 사용자의 그룹  $I$ 중에서 스케줄링 알고리즘을 통해  $n$  번째 TTI에 하향 트래픽을 수신할 사용자를 의미하며, 즉 스케줄링의 결과로 선택된 사용자라 할 수 있다. 그리고  $Pr(i, n)$ 은 스케줄링의 판단 기준인 PF 메트릭으로써 이는 식 (2)와 같다.

$$Pr(i, n) = \frac{R_i(n) \times B_i(n)}{T_i(n)} \quad (2)$$

이때  $R_i(n)$ 는 사용자  $i$ 의 하향 데이터를  $n$ 번째 TTI에 전송할 경우 전송 가능한 최대 전송량을 의미한다. 이는 사용자와 기지국 간 CQI에 따라 결정되며, MCS 등급에 맞는 변조 및 코딩 기법을 적용하여 계산된다. 다음으로  $B_i(n)$ 은 하향 트래픽 유입량 파라미터로써 모든 사용자의 하향 트래픽 유입량 평균에 대한 사용자  $i$ 의 하향 트래픽의 상대적인 비를 나타내며, 이는 식 (3)과 같다.

$$B_i(n) = \frac{E_i(n)}{E_{AVG}(n)}, \quad E_{AVG}(n) = \frac{\sum_{i \in I} E_i(n)}{N_U(n)} \quad (3)$$

여기서  $N_U(n)$ 은 전송주기  $n$ 시점에서의 전송 대기 큐 내 하향 데이터가 존재하여 스케줄링의 대상이 되는 사용자의 수를 의미하며,  $E_i(n)$ 은 전송주기  $n$ 에서의 사용자  $i$ 의 하향 트래픽 유입량을 나타낸다. 따라서  $E_{AVG}(n)$ 은 전송주기  $n$ 시점에서의 사용자 당 평균 하향 트래픽 유입량을 의미한다. 이때 각 사용자 별 하향 트래픽 유입량은 전송 대기 큐에 유입되는 패킷의 크기와 도착시간을 활용하여 측정 또는 예측이 가능하다. 예를 들어 TTI마다 지수 가중 이동 평균 (Exponential Weighted Moving Average, EWMA)을 이용하여 계산된 사용자 별 평균 트래픽 유입량을 고려할 수 있다. 그러나 이에 대한 효율적인 측정 방법은 본 논문의 범위를 벗어나므로 고려하지 않으며 이상적으로 측정된다고 가정한다.

한편,  $T_i(n)$ 은 사용자  $i$ 의 평균 전송량으로써 매 전송주기마다 갱신되며, 해당 전송주기에 전송한

사용자 별 자원 블록 할당량에 대한 지수 가중 이동 평균 방식으로 계산된다. 이에 대한 수식은 기존 PF 스케줄링 알고리즘과 동일하며 식 (4)와 같다.

$$T_i(n+1) = \begin{cases} (1 - \frac{1}{t_c})T_i(n) + \frac{1}{t_c}R_i(n), & i = i^*(n) \\ (1 - \frac{1}{t_c})T_i(n), & i \neq i^*(n) \end{cases} \quad (4)$$

이때  $t_c$ 는 이전 스케줄링 주기 ( $n-1$ )까지의 평균 전송량과 현재 스케줄링 주기 ( $n$ )에 스케줄링 알고리즘을 통해 전송한 전송량에 대한 가중치를 설정하는 상수로써 보통 1000의 고정적인 값을 사용한다<sup>5)</sup>.

본 논문에서 제안하는 스케줄링 알고리즘은 무선 채널 품질( $R_i(n)$ )과 사용자 별 하향 트래픽 유입량( $B_i(n)$ )의 곱에 비례하게 무선 자원을 할당함으로써 하향 트래픽 유입량에 비해 낮은 채널 품질로 인해 원활한 전송이 불가능했던 사용자의 경우 보다 높은 전송률로 전송이 가능하게 된다. 이때 전송 대기 큐 크기를 고려한 기존의 스케줄링 알고리즘과는 달리 하향 트래픽 유입량을 기준으로 무선 자원을 할당하기 때문에 전송 대기 큐의 누적으로 인해 지속적으로 다른 사용자의 감소량 증가시키는 문제가 발생하지 않는다.

또한 무선 채널 품질이 낮은 사용자에게 높은 하향 트래픽이 유입될 경우, 전체 시스템 전송량의 저하가 우려될 수 있으나 이러한 사용자에게 할당되는 자원량은 무선 채널 품질이 낮을수록 적게 할당하게 되며, 트래픽 유입량이 많고 무선 채널 품질이 높은 사용자의 경우 PF 스케줄링 알고리즘보다 더욱 많은 자원을 할당하게 됨으로써 시스템 전송량 저하를 최소화 할 수 있다. 따라서 하향 트래픽 유입량이 많은 사용자에게 보다 많은 자원을 할당할 수 있는 동시에 높은 시스템 전송량을 제공할 수 있다.

#### IV. 모의실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안하는 트래픽 유입량 기반 하향링크 스케줄링 알고리즘의 성능 평가를 위해 표 1과 같은 C++ 기반의 모의실험 환경을 구축하였다. 모의실험은 이동통신 시스템 중 최근 고속 하향 데이터 전송을 위해 널리 사용되는 HSDPA (High

표 1. 모의실험 환경

Parameters	Value	
Transmission Bandwidth	10 MHz	
Sub-frame duration (TTI)	2 msec	
Spreading Factor	16	
Chip rate	3.84 Mcps	
Number of Users	20	
Simulation Time	100 sec	
Transmission Error Rate	$10^{-2}$	
$t_c$	1000	
Traffic Model	Distribution	Exponential
	Mean Size	700 bytes

Speed Downlink Packet Access)<sup>6)</sup> 시스템을 고려하였으며, HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel)를 통해 하향 데이터 전송이 이루어진다고 설정하였다. 또한 하나의 기지국을 갖는 단일 셀 (Cell) 환경이며, 15개의 코드를 사용하여 전송하고 이때 각 사용자의 전송속도는 표 2와 같이 5단계의 MCS 등급으로 결정한다<sup>7)</sup>. 또한 매 전송 시  $10^{-2}$ 의 오류율을 가지고 확률적으로 전송 오류가 발생한다고 가정하였다.

이와 더불어 하향 트래픽 유입량은 지수분포 (Exponential Distribution)의 형태로 14Mbps로 발생시켰으며, 셀 내 위치한 사용자는 실제 환경과 유사한 환경을 고려하기 위해 표 3과 같이 기지국과의 거리에 따라 4개의 그룹으로 나누고 한 그룹 당 5명의 사용자가 존재한다고 가정하였다. 이때 각 그룹 별 MCS 등급은 표 3과 같이 정해진 범위 내에서 균일 랜덤 분포의 형태로 발생한다고 가정한다. 이와 같은 모의실험 환경을 토대로 제안하는 스케줄링 알고리즘과 기존의 PF 스케줄링 알고리즘, 그리고 전송 대기 큐의 길이를 고려한 APF-Q, 이 세 가지 스케줄링 알고리즘을 표 4와 같은 트래픽 유입량 분포를 가질 경우 전송량 측면 성능을 비교 분석하였다.

표 2. MCS 등급에 따른 전송량 (15 Codes)

MCS	Modulation	Code rate	TTI당 전송량 (bits)	전송률 (Mbps)
1	QPSK	1/4	3600	1.8
2	QPSK	1/2	7200	3.6
3	QPSK	3/4	10800	5.3
4	16QAM	1/2	14400	7.2
5	16QAM	3/4	21600	10.8

표 3. 기지국과의 거리에 따른 사용자 그룹 설정 및 SNR 분포

사용자 그룹	1	2	3	4
UE ID	0~4	5~9	10~14	15~19
사용자 수	5	5	5	5
MCS 등급	1-2	2-3	3-4	4-5
기지국과의 거리	멀다 ←--- ---> 가깝다			

표 4. 사용자 그룹 별 하향 트래픽 유입량 분포

사용자 그룹	사용자 당 하향 트래픽 유입량 (Kbps)	
	경우 1	경우 2
1	1000	400
2	800	600
3	600	800
4	400	1000
합계	14000	14000

먼저 그림 1은 표 4의 경우 1과 같이 낮은 채널 품질을 갖는 그룹에 하향 트래픽 유입량이 더 많이 발생할 경우 각 스케줄링 알고리즘의 사용자 단말별 전송량을 나타낸 그래프이며, 그림 2는 동일한 환경에서의 전체 시스템 전송량을 보여주는 그래프이다. 그림에서 알 수 있듯이 기존의 PF 스케줄링 알고리즘의 경우 트래픽 유입량에 관계없이 무선 채널 품질에 비례하게 자원을 할당하기 때문에 무선 채널 품질이 높은 그룹일수록 높은 전송량을 보이는 계단 형태로 나타난다. 그러나 전체 시스템 전송량 측면에서는 가장 낮은 성능을 보인다. 이는 채널 품질이 낮은 사용자 그룹에서 높은 하향 트래픽 유입량을 보임에도 불구하고 무선 채널 품질만을

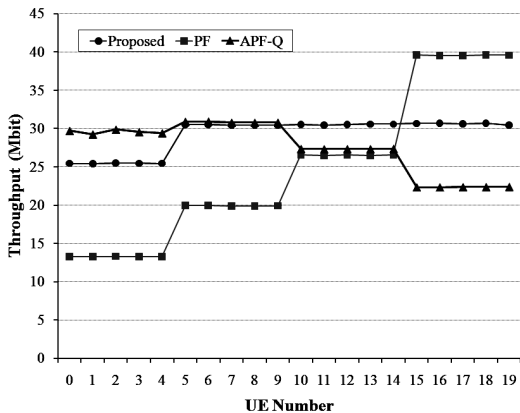


그림 1. 스케줄링 알고리즘에 따른 사용자 단말별 전송량 (경우 1)

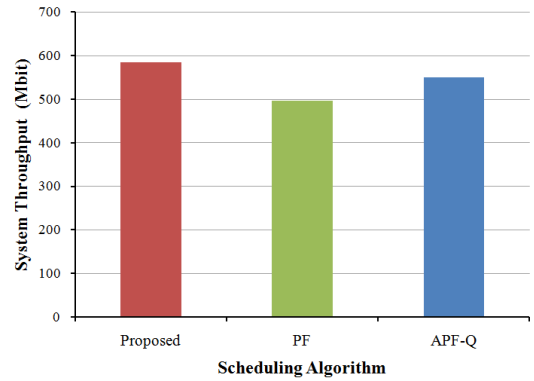


그림 2. 스케줄링 알고리즘에 따른 전체 시스템 전송량 (경우 1)

고려하여 자원을 할당함으로써 이에 따른 원활한 자원 할당을 해주지 못하기 때문이다.

반면 APF-Q 스케줄링 알고리즘의 경우 채널 품질이 낮고 트래픽 유입량이 많은 그룹 1과 2의 사용자들이 다른 스케줄링 알고리즘들에 비해 매우 높은 전송량을 보이고 높은 채널 품질을 갖는 그룹의 사용자들에게는 상대적으로 낮은 전송량을 보인다. 이는 높은 트래픽 유입량으로 인해 발생하는 전송 대기 큐의 누적으로 인해 낮은 채널 품질을 갖는 그룹 위주로 많은 자원을 할당하기 때문이다. 따라서 경우 1과 같은 환경에서는 기존 PF 스케줄링 알고리즘 보다는 높은 시스템 전송량을 보인다. 그러나 높은 채널 품질을 갖는 그룹의 사용자는 전송량이 지속적으로 저하되는 문제가 발생하였다.

한편 제안하는 하향 트래픽 유입량 기반의 스케줄링 알고리즘의 경우 하향 트래픽 유입량과 무선 채널 품질의 곱에 비례하게 자원을 할당하기 때문에 트래픽 유입량이 높고 무선 채널 품질이 낮은 그룹 1과 2의 사용자들에게 PF 스케줄링 알고리즘에 비해 높은 전송량을 제공하여 전송을 원활하게 해줌과 동시에 APF-Q 스케줄링 알고리즘과는 달리 높은 채널 품질을 갖는 그룹 3과 4의 사용자들의 전송량의 저하를 최소화할 수 있다. 따라서 제안한 알고리즘이 가장 높은 성능을 보인다.

다음으로 그림 3은 표 4의 경우 2와 같이 높은 채널 품질을 갖는 그룹에 하향 트래픽 유입량이 더 많이 발생할 경우 각 스케줄링 알고리즘의 사용자 단말별 전송량을 나타낸 그래프이며, 그림 4는 동일한 환경에서의 전체 시스템 전송량을 보여주는 그래프이다. 그림을 통해 알 수 있듯이 PF 스케줄링 알고리즘의 경우 단지 무선 채널의 품질만을 고려

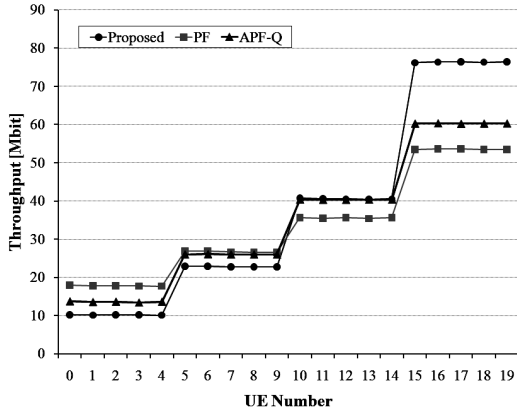


그림 3. 스케줄링 알고리즘에 따른 사용자 단말별 전송량 (경우 2)

하여 자원을 할당하기 때문에 앞서의 경우 1과 유사한 형태의 사용자 단말별 전송량을 보인다. 다만 높은 채널 품질을 갖는 사용자들에게 더욱 많은 트래픽이 유입되기 때문에 전체 시스템 전송률은 경우 1보다 높아진다.

APF-Q 스케줄링 알고리즘의 경우 경우 1에서의 결과보다 전체 시스템 전송률이 상승되어 PF 스케줄링 알고리즘 보다 조금 높은 전체 시스템 전송률을 보인다. 이는 높은 트래픽 유입량을 갖는 그룹 3, 4의 사용자들의 전송 대기 큐 누적량이 많아지게 되고 이에 따라 더욱 많은 자원을 할당 받기 때문이다. 그러나 높은 채널 품질을 가질 경우 상대적으로 전송 대기 큐의 누적량이 많지 않기 때문에 높은 채널 품질을 갖는 사용자의 하향 전송량 증가에 많은 영향을 끼치지 못하게 되고, 따라서 전체 시스템 전송량 측면 성능 향상에 한계가 있다.

한편 제안하는 스케줄링 알고리즘의 경우 가장 높은 전체 시스템 전송량을 보인다. 이는 트래픽 유입량이 낮고 채널 품질이 낮은 그룹 1과 그룹 2의 사용자들에게 PF 스케줄링 알고리즘에 비해 적은 자원을 할당하고, 트래픽 유입량이 높은 그룹 3과 그룹 4의 사용자에게 트래픽 유입량과 무선 채널 품질의 곱에 비례한 더욱 많은 자원을 할당하기 때문이다. 즉, 높은 전송률로 전송이 가능한 사용자의 트래픽 유입량이 높을수록 더욱 많은 자원을 할당하게 되므로 전송 효율은 높아지게 된다. 또한 앞서 설명한 APF-Q 스케줄링 알고리즘에서와 같은 낮은 전송 대기 큐의 누적량 문제가 발생하지 않으므로 APF-Q 스케줄링 알고리즘에 비해 더욱 높은 전체 시스템 전송률 측면 성능을 보인다.

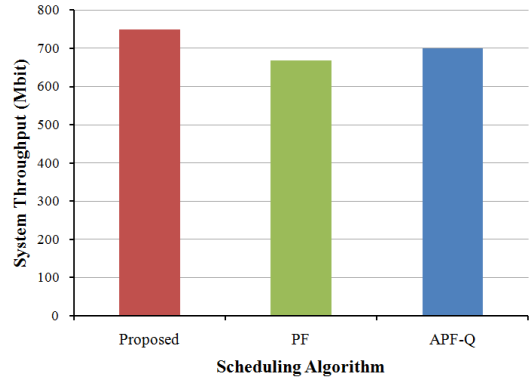


그림 4. 스케줄링 알고리즘에 따른 전체 시스템 전송량 (경우 2)

이와 같은 모의실험 결과를 통해 제안하는 스케줄링 알고리즘을 사용함으로써 트래픽 유입량이 많고 무선 채널 품질이 낮은 사용자의 전송이 원활하게 이루어지지 않는 문제를 해결하는 동시에 높은 전체 시스템 전송률을 제공할 수 있음을 확인할 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 무선 시스템의 하향 전송을 위한 스케줄링 알고리즘 중 가장 잘 알려진 PF 스케줄링 알고리즘에 무선 채널 품질 뿐 아니라 하향 트래픽 유입량을 추가적으로 고려함으로써 사용자가 전송하고자 하는 하향 트래픽이 많음에도 불구하고 낮은 채널 품질로 인해 원활한 전송이 불가능하던 기존 PF 기반 스케줄링 알고리즘의 문제를 해결하는 동시에 이에 따른 전체 시스템 전송량 저하 문제를 최소화할 수 있는 트래픽 유입량 기반 하향링크 스케줄링 알고리즘을 제안하였다. 또한 제안하는 스케줄링 알고리즘의 성능평가를 위한 모의실험 결과 기존 PF 스케줄링 기반 알고리즘의 문제점을 해결함으로써 높은 성능을 보임을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. U. John, A. M. Trianon and S. Pillay, "A Study on the Characteristics of the Proportional Fairness Scheduling Algorithm in HSDPA," In Proc. of SCORed, pp.33-37, Jun. 2006.
- [2] B. Al-Manthari, H. Hassanein and N.

Nasser, "Packet Scheduling in 3.5G High-Speed Downlink Packet Access Networks: Breadth and Depth," *IEEE Network Magazine*, Vol.21, Issue 1, pp.41-46, Jan. 2007.

- [3] A. A. Jalali, R. Padovani, and R. Pankaj, "Data throughput of CDMA- HDR high efficiency-high data rate personal communication wireless system," In Proc. of IEEE VTC-Spring, Vol.3, pp.1854-1858, May 2000.
- [4] M. Torabzadeh, and Y. Ji, "An adaptive packet-by-packet scheduler for multi-user MIMO cellular systems," In Proc. of ICI, pp. 1-5, Sep. 2007.
- [5] J. Yang, Z. Yifan, W. Ying and Z. Ping, "Average Rate Updating Mechanism in Proportional Fair Scheduler for HDR," In Proc. of IEEE GLOBECOM, Vol.6 pp. 3464-3466, Nov. 2004.
- [6] 3GPP TS 25.308, High Speed Downlink Packet Access (HSDPA): Overall Description, Rel. 5, Mar. 2003.
- [7] K. Sohaib, N. K. Cuong and J. Nordberg, "HSDPA System Simulation," In Proc. of IEEE ISCCSP, Mar. 2006.

**김 정 종 (Jungjong Kim)**

정회원



2007년 8월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
 2009년 9월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사  
 <관심분야> 이동통신 시스템, 무선 메쉬 네트워크

**황 준 호 (Junho Hwang)**

정회원



2004년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사  
 2006년 2월 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사  
 2006년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부박사과정  
 <관심분야> Optical Access Network, OBS, Wireless MAC Protocol, RFID/USN

**유 명 식 (Myungsik Yoo)**

종신회원



1989년 2월 고려대학교 전자공학과 학사  
 1991년 2월 고려대학교 전자공학과 석사  
 2000년 6월 SUNY at Buffalo Dept. of EE 박사  
 2000년 9월~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수  
 <관심분야> Optical Network, OBS, EPON, 인터넷 QoS, Wireless MAC Protocol, MANET, RFID/USN, CR