

휴대 인터넷 시스템에서의 패킷 스케줄링 알고리즘 연구

최 성 훈[†]

상명대학교 산업정보시스템공학과

A Packet Scheduling Algorithm for High-speed Portable Internet System

Seong-Hoon Choi[†]

Dept. of Industrial and Information Systems Engineering, Sangmyung University

HPI (High-speed Portable Internet) system which provides high speed internet services is going to be commercialized soon. Since HPI provides simultaneously four different service types such as UGS (Unsolicited Grant Service), rtPS (real time Polling Service), nrtPS (non-real time Polling Service), and BE (Best Effort) under different QoS (Quality of Service) requirements and limited wireless channel resources, efficient packet scheduling mechanisms are necessary to increase the utilization of channels as well as to satisfy the various QoS requirements. This study regards the traffic data to be served as time series and proposes a new packet scheduling algorithm based on the nonparametric statistical test. The performance of the newly proposed algorithm is evaluated through the simulation analysis using a simulator that can evaluate the performance of packet scheduling mechanisms under various values of system parameters and measures such as packet delay time, data transmission rate, number of loss packets, and channel utilization.

Keywords : Portable Internet System, Packet Scheduling, Nonparametric Test, Simulation

1. 서 론

시간과 공간의 제약을 받지 않는 초고속 무선인터넷 사용을 목표로 하는 휴대 인터넷 시스템이 곧 상용화될 예정이다. 휴대 인터넷 시스템은 상이한 트래픽 특성과 QoS(Quality of Service)를 갖는 다양한 서비스들을 동시에 제공하므로 이들의 QoS를 고려하면서 한정된 무선 채널을 효율적으로 할당하는 패킷 스케줄링 알고리즘이 필요하다[1-3, 8].

휴대 인터넷 시스템에서 고려하고 있는 서비스 형태는 UGS(unsolicited grant service), rtPS(real time polling service), nrtPS(non-real time polling service), 그리고 BE (Best Effort)의 네 가지이다[1, 2, 4, 5]. UGS는 정해진 크

기의 패킷들을 생성하는 실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스이고, rtPS는 MPEG 비디오와 같이 주기적으로 가변 크기의 데이터 패킷을 생성하는 실시간 서비스 흐름을 지원하는 서비스이다. 위의 두 타입은 요구하는 QoS를 충족시켜줘야 하는 QoS 보장형 서비스들이다. nrtPS는 높은 대역폭을 요구하는 FTP와 같이 주기적으로 가변 크기의 데이터 패킷을 생성하는 비실시간 서비스 흐름을 지원한다. 마지막으로, BE는 TCP와 유사한 최선형 서비스를 효율적으로 제공하기 위한 서비스이다.

한정된 무선 채널을 대기 중인 패킷에 할당하는 스케줄링 방법으로 UGS와 rtPS 서비스들을 먼저 처리하는 '우선순위' 방법과 QoS 비보장형인 nrtPS와 BE 서비스에 일정 비율의 채널을 우선적으로 할당하는 '선택당' 방

[†] 교신저자 shchoi@smu.ac.kr

법 등을 고려할 수 있다[1-3, 8, 5]. 우선순위 방법은 항상 높은 순위(QoS 보장)의 패킷들을 먼저 처리하므로 접속되는 이동단말기 수가 증가함에 따라 하위 순위의 서비스들에 대한 QoS가 급격히 저하된다. 반면에 선할당 방법은 nrtPS와 BE 서비스들에 일정 비율의 채널을 우선적으로 할당해주므로 이들의 QoS를 향상시킬 수 있다. 그러나 이로 인해 UGS와 rtPS 서비스들의 패킷이 단기간에 많이 도착할 경우에는 이들의 QoS를 보장하지 못하는 상황이 발생할 수 있다.

본 연구에서는 이런 상황에 효율적으로 대처할 수 있는 새로운 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안하고자 한다. 기본 아이디어는 QoS 보장형인 UGS와 rtPS 서비스 형태의 패킷이 도착하는 추세를 파악하여 nrtPS와 BE 서비스 형태의 선할당 비율을 조정하는 '선할당 비율의 동적 조정'방법을 적용하는 것이다. 그리고 시뮬레이션 실험을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 평가한다. 성능 평가는 패킷의 지연시간과 데이터 전송률 평가척도 관점에서 이루어진다.

시뮬레이션 실험을 위해 적용한 소프트웨어는 통신분야 연구에서 많이 쓰이고 있는 AweSim!과 범용 언어인 Visual Basic 및 Visual C++로 개발된 패킷 스케줄링 시뮬레이터이다[4, 9]. AweSim! 시뮬레이션 전용 언어를 사용하여 기본적인 시뮬레이션 모델을 개발하고, AweSim!에서 제공되지 않는 부분에 대해서는 Visual C++ 언어로 추가 기능을 구현하였다. 그리고 통합실행 환경을 구현하기 위해 Visual Basic으로 프로그램을 개발하였다. 이 시뮬레이터는 각각의 트래픽의 특성치에 대한 일반화된 모델을 다룬다. 즉, 시뮬레이터에 실험자가 원하는 다양한 종류의 파라미터 값들을 입력하고 실행한 후, 그 결과를 별다른 추가 작업 없이 쉽게 얻을 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 제 2장에서는 본 연구에서 채택한 연구 대상 시스템에 대해 소개한다. 참고로 연구 대상 시스템은 제7회 한국대학생시뮬레이션 경진대회의 문제로 제시되었던 트래픽 처리 시스템에 기초하고 있다[4, 5]. 그리고 제 3장과 제 4장은 제안 알고리즘의 소개와 성능 평가에 대해 다룬다. 마지막으로 제 5장에서는 결론을 제시한다.

2. 연구 대상 시스템 개요

휴대 인터넷 시스템은 통상 패킷들을 5msec의 고정된 길이를 갖는 프레임 단위로 전송하며 하나의 프레임은 192개의 상향 링크 채널을 갖는다[1, 2]. 스케줄링의 대상인 패킷들은 임의의 시점에 기지국에 도착하게 되지만, 프레임의 구조상 5msec 단위로 스케줄링 되어야 한

다. 참고로 패킷 스케줄링은 가입자에서 기지국으로의 상향 링크 스케줄링과 기지국에서 가입자로의 하향 링크 스케줄링으로 구분할 수 있는데 본 연구에서는 편의상 상향 링크에 대해서만 고려한다.

본 연구에서는 네 가지 서비스 형태의 트래픽이 국광호, 백장현, 김경희 등의 기존 연구[1, 2, 5]에서 많이 적용된 아래의 트래픽 모델을 따른다고 가정한다.

각 서비스의 트래픽은 기본적으로 ON과 OFF의 형태로 도착한다. ON 구간 동안 도착 간격에 따라 가변 길이의 패킷이 도착한다. OFF 기간 동안은 패킷이 도착하지 않는다.

먼저 UGS는 IDP(interrupted-deterministic process) 모델에 기반을 두고 있다. ON 구간과 OFF 구간의 길이는 각각 지수분포를 따른다. 또한 1회에 발생하는 패킷의 크기는 지수분포를 따르며, ON 구간동안 패킷은 고정된 간격으로 도착한다. rtPS 모델은 두 개의 IRP(interrupted renewal process)에 기초를 두고 있다. 즉, 두 개의 IRP 모델이 중첩되어 하나의 패킷 비디오 원을 나타낸다. ON 구간과 OFF 구간 길이는 각각 지수분포를 따르고, 패킷의 크기는 지수분포를 발생시키는 두 개의 입력 트래픽이 중첩된다. nrtPS 모델은 rtPS와 동일한 트래픽 모델에 따라 발생한다고 가정한다. 마지막으로 BE는 IRP 모델을 따른다고 가정한다. 이상을 적용 모수 값과 함께 정리하면, <표 1>과 같다.

<표 1> 서비스 유형별 입력 트래픽 모델

서비스 유형	ON 구간 (초)	OFF 구간 (초)	크기 (바이트)	도착 간격 (초)	
UGS	expon (2.841)	expon (1.538)	expon (66.0)	0.02	
rtPS, nrtPS	IRP#1	expon (8.143)	expon (5.545)	expon (188.0)	expon (0.00890)
	IRP#2	expon (2.852)	expon (4.571)	expon (188.0)	expon (0.00646)
BE	expon (51.546)	expon (68.729)	expon (192.0)	expon (0.439)	

휴대 인터넷 시스템은 변조방식으로서 64QAM, QAM, 그리고 QPSK를 사용하고 있으며 각 단말기가 사용하는 변조방식은 무선채널의 상태에 따라 결정된다. 사용자가 상대적으로 셀의 중심으로부터 가까이 있으면 64QAM, QAM 방식을 사용하고 상대적으로 멀리 있으면 QPSK 방식을 사용한다. 휴대 인터넷의 특성상 이동단말기는 호가 진행되는 동안 이동이 가능하다. 이동단말기가 움직이면서 셀 중앙으로부터의 거리가 달라지고, 그에 따라 변조방식이 달라져서 전송용량도 달라질 것이므로 이동 단말기의 이동 특성을 모형화 할 필요가 있다. 예

를 들어, 간단한 이동성 모형으로는 항상 직진만 하는 모형, 임의의 거리를 이동한 후 방향을 전환하는 모형 등 여러 가지가 가능하다. 방향을 전환하는 경우를 고려한다면 새로 선택되는 방향에 대해서도 어느 방향이나 가능한 모형, 전후좌우 네 가지 방향만 가능한 모형 등이 있으나, 본 연구에서 사용한 시뮬레이터에서는 전환 방향을 1~360도 사이에서 임의로 선택할 수 있다 [4].

3. 제안 알고리즘

본 논문에서 제시하는 패킷 스케줄링 알고리즘은 QoS 보장형인 UGS와 rtPS 서비스 형태의 패킷이 도착하는 추세를 파악하여 nrtPS와 BE 서비스를 위한 선할당 비율을 조정하는 ‘선할당 비율의 동적 조정’ 방법이다. QoS 보장형 서비스들의 단위 시간당 도착하는 트래픽 양이 증가하거나 혹은 감소하는 지를 감지하기 위해서 인공 지능이나 시계열 분석 등과 같은 다양한 방법을 고려할 수 있다[7]. 다양한 수준의 QoS를 요구하는 많은 서비스들을 실시간으로 제어하기 위해서는 신속하고 신뢰성 있는 의사결정이 필요하기 때문에 여러 가지 방법 중에서 적절한 것을 선택하는 기준으로 속도, 메모리 요구량, 그리고 정확도를 고려해야 할 것이다.

본 연구에서는 단순하고 적은 수의 관측수로 수행되는 비모수 통계 검정법에 기반을 둔 트래픽 상태 감지 방법을 적용한다. 다양한 비모수 검정법 중에서 부호 검정법(sign test), 런 검정법(runs test), Wilcoxon 부호순위 검정법(Wilcoxon signed-rank test), 그리고 Wilcoxon 순위합 검정법(Wilcoxon rank-sum test) 등이 많이 쓰이고 있다[7, 10]. Wilcoxon의 부호순위 검정법이나 순위합 검정법은 원시 관측 자료를 보관해야 하고 정렬 작업이 필요하기 때문에 실시간 환경에서는 적절하지 못하다. 따라서 여기서는 트래픽 상태의 변화를 감지하기 위해 부호 검정법을 적용하기로 한다.

부호 검정법에서는 직전 단위 기간에 비해 이번 단위 기간 동안에 도착한 QoS 보장형 서비스들의 패킷량이 증가하거나 감소하면 “+” 또는 “-”로 표시되는 부호를 사용한다. 그런 후, 표시된 “+”와 “-” 부호의 개수를 파악해서 두 숫자 중에서 큰 것을 n_1 로 하고 작은 것을 n_2 로 한다. 만일 n_2 가 (n_1, n_2) 쌍별로 통계 이론에 의해 미리 설정된 기준값 이상이면(참고로 기준을 n_1 로 할 수도 있다), 귀무가설, ‘QoS 보장형 서비스들의 트래픽 상태에는 증가 혹은 감소 경향이 없다.’를 기각한다. 귀무가설이 기각되면 선할당 비율을 미리 정해진 값(예를 들어 2% 또는 3%)만큼 감소시키거나 증가시킨다. 여러

(n_1, n_2) 쌍의 조합들에 대한 기준값은 Beyer[6]를 참고하기 바란다. 제안 알고리즘에 대한 구체적인 절차는 다음과 같다. 먼저 알고리즘에서 사용되는 기호들을 정의하기로 한다.

- s^+ : “+” 부호의 개수
- s^- : “-” 부호의 개수
- n : 누적 시도 횟수
- n_0 : 기준 시도횟수(구체적인 값은 Beyer[6]를 참고하기 바람)
- x_i : i 번째 프레임에 도착한 QoS 보장형 서비스(UGS, rtPS)의 패킷수
- s_i : i 번째 프레임에서의 증감 부호

이제, 위의 기호들을 이용하여 제안 알고리즘에 대해 정리하면 아래의 [알고리즘 1]과 같다.

[알고리즘 1] ‘선할당 비율 동적 조정’ 방법

단계 0. 초기화.

0-1 $i = 0$

단계 1. i 번째 프레임의 QoS 패킷수 카운트.

1-1 $i = i + 1$

1-2 i 번째 프레임에 도착한 QoS 보장형 서비스의 패킷수를 카운트 하여 x_i 로 놓는다.

단계 2. i 번째 프레임의 부호 결정.

2-1 $n = n + 1$

2-2 아래 세 가지 경우에 따라 부호를 결정한다.

case 1. 만일 $x_i > x_{i-1}$ 이면, $s_i = “+”, s^+ = s^+ + 1$.

단계 3으로 간다.

case 2. 만일 $x_i < x_{i-1}$ 이면, $s_i = “-”, s^- = s^- + 1$.

단계 3으로 간다.

case 3. 만일 $x_i = x_{i-1}$ 이면, 단계 5로 간다.

단계 3. 증감 판정.

3-1 $n_2 = \min(s^+, s^-)$

3-2 만일 n_2 가 n 번째 시도 횟수에 해당되는 기준값보다 작으면, 단계 4로 간다. 그렇지 않으면, 단계 5로 간다.

단계 4. 비율 조정.

4-1 아래의 두 경우에 따라 비율을 조정한다.

case 1. 만일 $s_i = “+”$ 이면, 비율을 증가한다.

case 2. 만일 $s_i = “-”$ 이면, 비율을 감소한다.

4-2 s^+, s^- , 그리고 n 을 ‘0’으로 놓는다. 단계 1로 간다.

단계 5.

5-1 만일 $n \geq n_0$ 이면, s^+, s^- , 그리고 n 을 ‘0’으로 놓는다. 단계 1로 간다.

4. 제안 알고리즘의 성능 평가

제안 알고리즘의 성능 평가를 위해 사용한 패킷 스케줄링 시뮬레이터는 크게 데이터 입력 모듈, 시뮬레이션 모델 모듈, 출력 모듈, 및 애니메이션 모듈로 구성된다. 그리고 시뮬레이션 모델 모듈은 서비스 타입별 트래픽 발생 서브모듈, 기지국 서브모듈, 및 단말기 이동 서브모듈을 포함하고 있다[4].

패킷 스케줄링 알고리즘은 기지국 서브모듈에 포함된다. 따라서 새로운 스케줄링 알고리즘의 성능을 평가하려면 이것을 포함하는 새로운 시뮬레이션 모델을 개발할 필요 없이 기본적으로 이 서브모듈만 수정하면 되므로 매우 능률적이다.

제안 알고리즘의 성능 평가를 위해 적용한 성능 평가 척도들은 ‘패킷 지연시간’과 ‘데이터 전송률’이다. 전자는 패킷이 도착해서 채널을 할당 받을 때까지의 대기한 시간이며, 후자는 도착한 패킷들 중에서 폐기되지 않고 기지국으로의 전송에 성공한 패킷들의 비율이다. 참고로 서비스 종류별로 주어진 대기 시간이 경과 되면 해당 패킷은 폐기된다. 모든 서비스에 대해서 전송률이 높을수록 바람직하고 지연시간이 짧을수록 바람직하다.

선할당 비율이 60, 70, 80, 그리고 85%인 네 가지 경우 각각에 대해 조정 비율을 0, 2, 3, 4, 6, 그리고 10%로 변경하면서 시뮬레이션을 실시하여 성능을 비교하였다. 조정 비율이 0%인 경우는 선할당 비율을 변경하지 않고 고정하는 방법을 의미한다.

예비 분석을 통하여 시뮬레이션의 warm-up 기간은 1,500초로 설정하였고, 전체 시뮬레이션 기간은 16,500초로 하였다. 5회 반복 실험 데이터를 얻기 위하여 구간 길이가 3,000초인 배치 평균법을 적용하였다.

시스템 내에 존재하는 이동 단말기의 수(호수)가 18, 36, 54, 그리고 72개인 경우 각각에 대하여 시뮬레이션을 실시하여 결과를 정리한 것이 <표 2>이다. 표에서 선할당 비율과 조정 비율이 없는 첫 번째 행은 UGS와 rtPS 서비스들을 먼저 처리하는 ‘우선순위’ 방법을 적용하였을 때의 시뮬레이션 결과이다. <표 2>에서 알 수 있듯이 UGS와 BE 서비스들의 성능은 각 대안별로 차이가 거의 없으므로 rtPS와 nrtPS 서비스들에 대한 성능을 비교하기로 한다.

<그림 1>~<그림 4>는 선할당 비율과 조정 비율에 따른 rtPS 및 nrtPS 서비스의 지연시간과 전송률 비교 그래프이다. 이동 단말기의 수가 18개인 경우에는 대안간에 차이가 미미한 관계로 제외하였다. 표와 그림을 분석하면 다음과 같은 결과를 도출할 수 있다.

<표 2> 실험 결과 요약

(a) 이동 단말기 수 : 18개

선할당 비율 (%)	조정 비율 (%)	지연시간(sec)				전송률(%)		
		UGS	rtPS	nrtPS	BE	rtPS	nrtPS	BE
-	-	0.003	0.003	0.005	0.004	100.0	100.0	100.0
60.0	0	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	2	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	3	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	4	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	6	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	10	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
70.0	0	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	2	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	3	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	4	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	6	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	10	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
80.0	0	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	2	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	3	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	4	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	6	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	10	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
85.0	0	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	2	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	3	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	4	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	6	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0
	10	0.003	0.003	0.004	0.003	100.0	100.0	100.0

(b) 이동 단말기 수 : 36개

선할당 비율 (%)	조정 비율 (%)	지연시간(sec)				전송률(%)		
		UGS	rtPS	nrtPS	BE	rtPS	nrtPS	BE
-	-	0.00	0.01	0.21	0.14	99.9	78.4	98.9
60.0	0	0.00	0.07	0.13	0.01	83.8	93.4	99.9
	2	0.00	0.07	0.13	0.01	83.8	93.4	99.9
	3	0.00	0.06	0.16	0.01	93.3	88.1	100.0
	4	0.00	0.06	0.16	0.01	93.3	88.1	100.0
	6	0.00	0.06	0.16	0.01	93.2	88.1	100.0
	10	0.00	0.06	0.16	0.01	93.2	88.1	100.0
70.0	0	0.00	0.07	0.13	0.01	83.8	93.4	99.9
	2	0.00	0.07	0.13	0.01	83.8	93.4	99.9
	3	0.00	0.06	0.16	0.01	93.3	88.1	100.0
	4	0.00	0.06	0.16	0.01	93.3	88.1	100.0
	6	0.00	0.06	0.16	0.01	93.2	88.1	100.0
	10	0.00	0.06	0.16	0.01	93.2	88.1	100.0
80.0	0	0.00	0.08	0.09	0.02	71.8	97.0	99.9
	2	0.00	0.07	0.13	0.01	83.8	93.4	99.9
	3	0.00	0.06	0.16	0.01	93.3	88.1	100.0
	4	0.00	0.06	0.16	0.01	93.3	88.1	100.0
	6	0.00	0.06	0.16	0.01	96.8	92.2	100.0
	10	0.00	0.07	0.17	0.01	93.6	88.7	100.0
85.0	0	0.00	0.08	0.09	0.02	71.8	97.0	99.9
	2	0.00	0.06	0.14	0.00	94.3	90.7	99.9
	3	0.00	0.06	0.16	0.01	93.3	88.1	100.0
	4	0.00	0.06	0.16	0.01	93.3	88.1	100.0
	6	0.00	0.06	0.16	0.01	93.2	88.1	100.0
	10	0.00	0.06	0.16	0.01	93.2	88.1	100.0

<표 2> 실험 결과 요약 (계속)

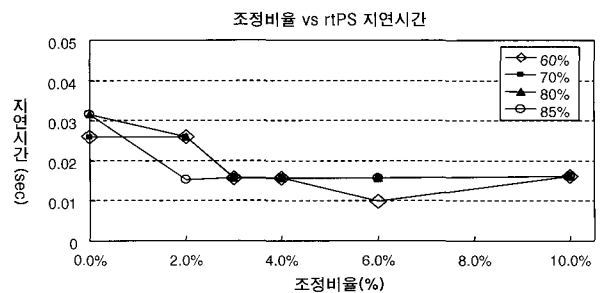
(c) 이동 단말기 수 : 54개

선할당 비율 (%)	조정 비율 (%)	지연시간(sec)				전송률(%)		
		UGS	rtPS	nrtPS	BE	rtPS	nrtPS	BE
-	-	0.002	0.007	0.214	0.144	99.9	82.6	98.9
60.0	0	0.003	0.071	0.126	0.013	86.5	93.8	99.9
	2	0.003	0.071	0.126	0.013	86.5	93.8	99.9
	3	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	4	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	6	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	10	0.003	0.059	0.156	0.005	93.7	89.5	100.0
70.0	0	0.003	0.071	0.126	0.013	86.5	93.8	99.9
	2	0.003	0.071	0.126	0.013	86.5	93.8	99.9
	3	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	4	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	6	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	10	0.003	0.059	0.156	0.005	93.7	89.5	100.0
80.0	0	0.004	0.077	0.090	0.018	78.8	97.1	99.9
	2	0.003	0.071	0.126	0.013	86.5	93.8	99.9
	3	0.003	0.059	0.157	0.005	96.9	92.7	100.0
	4	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	6	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	10	0.003	0.066	0.166	0.005	94.0	89.8	100.0
85.0	0	0.004	0.077	0.090	0.018	78.8	97.1	99.9
	2	0.003	0.060	0.143	0.004	94.7	91.6	100.0
	3	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	4	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	6	0.003	0.059	0.157	0.005	93.8	89.4	100.0
	10	0.003	0.059	0.156	0.005	93.7	89.5	100.0

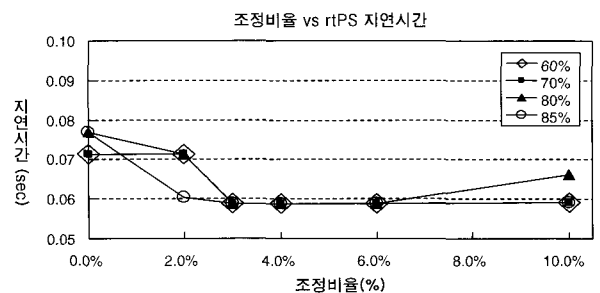
(d) 이동 단말기 수 : 72개

선할당 비율 (%)	조정 비율 (%)	지연시간(sec)				전송률(%)		
		UGS	rtPS	nrtPS	BE	rtPS	nrtPS	BE
-	-	0.00	0.02	0.28	0.49	99.6	61.4	93.5
60.0	0	0.00	0.13	0.18	0.03	60.1	90.3	99.9
	2	0.00	0.13	0.18	0.03	60.1	90.3	99.9
	3	0.00	0.11	0.24	0.00	85.4	74.5	100.0
	4	0.00	0.11	0.24	0.00	85.3	74.5	100.0
	6	0.00	0.11	0.24	0.00	85.0	74.8	100.0
	10	0.00	0.11	0.24	0.01	83.3	76.0	100.0
70.0	0	0.00	0.13	0.18	0.03	60.1	90.3	99.9
	2	0.00	0.13	0.18	0.03	60.1	90.3	99.9
	3	0.00	0.11	0.24	0.00	85.4	74.5	100.0
	4	0.00	0.11	0.24	0.00	85.3	74.5	100.0
	6	0.00	0.11	0.24	0.00	85.0	74.8	100.0
	10	0.00	0.11	0.24	0.01	83.3	76.0	100.0
80.0	0	0.00	0.13	0.13	0.03	49.2	95.1	99.9
	2	0.00	0.13	0.18	0.03	60.1	90.3	99.9
	3	0.00	0.11	0.24	0.00	85.4	74.5	100.0
	4	0.00	0.11	0.24	0.00	85.3	74.5	100.0
	6	0.00	0.11	0.24	0.00	85.0	74.8	100.0
	10	0.00	0.11	0.24	0.01	83.3	76.0	100.0
85.0	0	0.00	0.13	0.13	0.03	49.2	95.1	99.9
	2	0.00	0.13	0.18	0.03	60.1	90.3	99.9
	3	0.00	0.11	0.24	0.00	85.4	74.5	100.0
	4	0.00	0.11	0.24	0.00	85.3	74.5	100.0
	6	0.00	0.11	0.24	0.00	85.0	74.8	100.0
	10	0.00	0.10	0.26	0.01	83.3	71.6	100.0

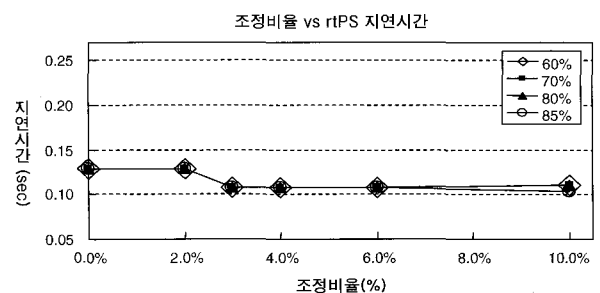
- 시스템 내에 존재하는 이동 단말기의 수가 작은 경우에는 패킷 스케줄링 알고리즘 사이에 성능 차이가 거의 없다.
- ‘선할당’ 방법을 적용하면(조정 비율이 0%인 경우), ‘우선순위’ 방법과 비교하여 QoS 비보장형 서비스들의 성능이 향상되는 반면에 QoS 보장형 서비스의 성능이 저하된다.
- 제안 방법을 적용하면, 선할당 비율을 조정하지 않는 ‘선할당’ 방법과 비교하여 QoS 보장형 서비스의 성능이 향상된다. 반면에 QoS 비보장형 서비스의 성능이 저하된다.
- 조정 비율이 3~4%될 때까지는 QoS 보장형 서비스의 성능이 향상되나, 그 이후에는 조정 비율이 증가되어도 성능이 향상되지 않는다.
- 이동 단말기 수가 증가됨에 따라, 즉 처리해야 하는 트래픽 양이 늘어남에 따라 제안 알고리즘이 우수한 성능을 발휘한다.



(a) 이동 단말기 수 : 36개

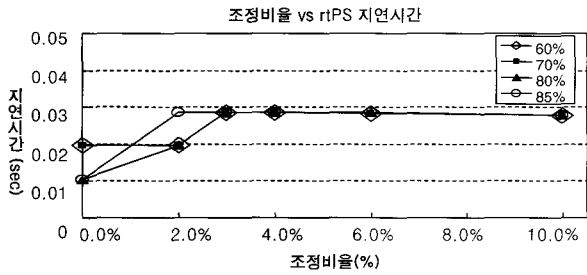


(b) 이동 단말기 수 : 54개

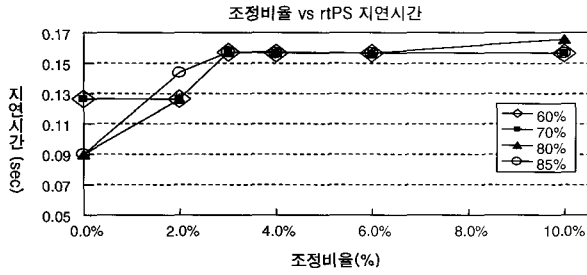


(c) 이동 단말기 수 : 72개

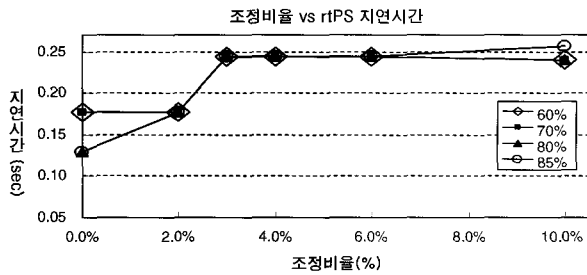
<그림 1> rtPS 서비스의 지연시간 비교



(a) 이동 단말기 수 : 36개

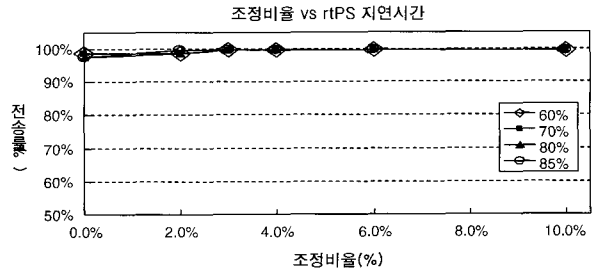


(b) 이동 단말기 수 : 54개

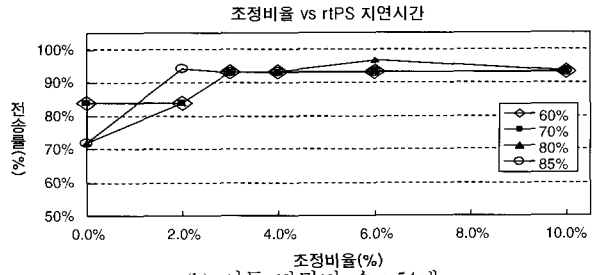


(c) 이동 단말기 수 : 72 개

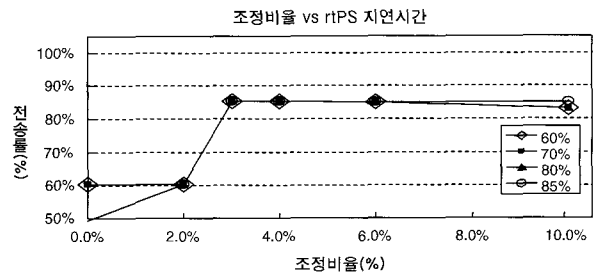
<그림 2> nrtPS 서비스의 지연시간 비교



(a) 이동 단말기 수 : 36개

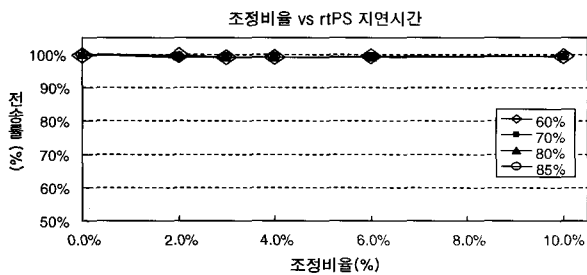


(b) 이동 단말기 수 : 54개

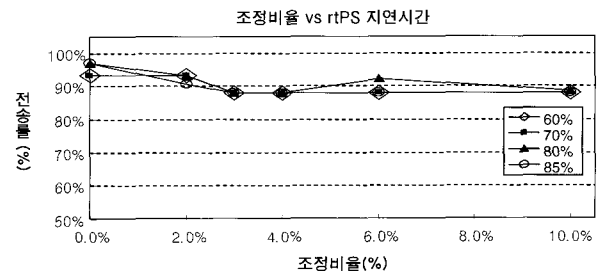


(c) 이동 단말기 수 : 72개

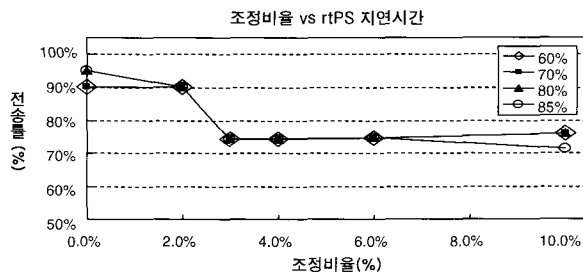
<그림 3> rtPS 서비스의 전송률 비교



(a) 이동 단말기 수 : 36개



(b) 이동 단말기 수 : 54개



(c) 이동 단말기 수 : 72개

<그림 4> nrtPS 서비스의 전송률 비교

시뮬레이션 분석 결과, 본 연구의 '선할당 비율의 동적 조정' 방법이 단순히 하위 순위의 서비스 패킷들의 원활한 처리를 위해 일정 비율의 채널을 우선적으로 할당하는 방법보다 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 서로 다른 특성을 가지고 있는 UGS, rtPS, nrtPS, 그리고 BE의 네 가지 서비스들을 동시에 제공하는 초고속 휴대 인터넷 시스템 환경 하에서 이들의 QoS를 고려하면서 한정된 무선 채널을 효율적으로 할당하는 새로운 스케줄링 알고리즘을 제안하였다.

제안 방법은 트래픽을 시계열 데이터로 보고 비모수 검정법의 하나인 부호 검정법을 적용하여 하위 순위 서비스 형태의 패킷들에게 선할당 되는 채널 비율을 동적으로 조정하는 알고리즘이다. 시뮬레이션 분석을 통해 제안 방법의 성능이 우수함을 알 수 있었다. 또한 제안 방법은 매우 단순하여 실시간으로 패킷 스케줄을 수행해야 하는 상황에 적합하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 비모수 검정법 중에서 부호 검정법으로 트래픽의 추세 변화를 감지하였는데, 이를 위해 다른 비모수 검정법인 런 검정법을 적용할 수 있으므로 추후 연구가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

[1] 국광호, 백장현, 김정희; “휴대 인터넷 무선 자원

할당에 관한 연구”, 한국경영과학회 추계학술대회 발표논문집, 건국대학교, 서울, pp. 347-353, 2005.

[2] 김정희, 국광호, 임석구, 김경수; “휴대인터넷에서 QoS를 고려한 스케줄링 방식 연구”, 한국콘텐츠학회논문지, 5(1) : 89-99, 2005.

[3] 백장현, 김동희; “차세대 이동통신시스템을 위한 패킷 스케줄링 알고리즘과 효율적인 프레임 구성 방법 및 성능 분석”, 한국경영과학회지, 3(2) : 29-40, 2005.

[4] 최성훈; “휴대 인터넷 시스템에서의 패킷 스케줄링 방법 평가를 위한 시뮬레이터 개발”, 한국산학기술학회논문지, 7(6) : 1149-1154, 2006.

[5] 한국시뮬레이션학회 홈페이지; <http://society.kisti.kr/~simul/>.

[6] Beyer, W. H.; *CRC Handbook of Tables for Probability and Statistics*, Chemical Rubber Co., Cleveland, 1968.

[7] Choi, S. H. and Kim, Y. D.; “A traffic control algorithm for Clos network type ATM switches,” *Journal of the Operational Research Society*, 53 : 783-791, 2002.

[8] Kitti, Wonthavarawat and Aura Ganz; “Packet scheduling for QoS support in IEEE 802.16 broadband wireless access systems,” *International Journal of Communication Systems*, 16 : 81-96, 2003.

[9] Pritsker, A. A. B, O'Reilly, J. J., and Laval, D. K.; *Simulation with Visual SLAM and AweSim.*, John Wiley&Sons, New York, 1997.

[10] Walpole R .E. and Myers R. H.; *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, Macmillan Publishing Company, New York, 1989.