

HSDPA 시스템에서 요금 기반의 패킷 스케줄링 알고리즘에 관한 연구

준회원 손 주 희*, 정회원 박 세 권**, 박 용 완*, 이 경 락***, 장 재 성***, 문 순 주***

A Study on Packet Scheduling Algorithm Based on Pricing in HSDPA System

Ju-hee Son* *Associate Member*, Shi-quan Piao**, Yong-Wan Park*, Kyong-Lak Lee***,
Jae-Sung Chang***, Soon-Joo Moon*** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 이동통신사업자가 서비스 종류에 따라 서로 다른 트래픽 요금기준을 적용하는 점을 이용하여 시스템에서의 전체적인 요금을 최대화하는 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 스케줄링되는 각 사용자의 채널상태를 나타내는 SIR(signal to interference ratio)값과 각 사용자가 요청하는 서비스 종류에 근거하여 각 사용자의 요금 함수치를 산출하여 스케줄링한다. 제안하는 알고리즘의 성능을 측정하기 위하여 HSDPA 시스템에서 Max C/I, 비례공정 알고리즘, 라운드 로빈 알고리즘과 비교 분석한다. 성능 비교분석 결과 제안하는 알고리즘이 우수한 수율(throughput)을 유지하면서 이동통신 사업자의 수익(revenue)도 최대화됨을 보여준다.

Key Words : pricing, SIR, packet scheduling, HSDPA, revenue

ABSTRACT

In this paper, we propose a packet scheduling algorithm to maximize the required total price of the systems that is applied with a different traffic pricing criterion by the mobile service operator according to different kinds of the services. The proposed algorithm adopts a particular estimation method in scheduling using the value of pricing function, which is based on the required services and the value of SIR(signal to interference ratio) that indicate the channel condition of each user. We compare Max C/I, proportional fairness and round robin algorithm with the proposed algorithm on HSDPA in order to analyze the performance. The result shows that the proposed algorithm satisfies higher throughput and provides maximum the mobile service provider's revenue.

I. 서 론

HSDPA(high speed downlink packet access)는 WCDMA 시스템 기반의 고속 하향 패킷데이터 서비스를 위한 시스템으로 하향링크에서 많은 양의 데이터를 신뢰성 있게 전송하기 위하여 기존의

RNC(radio network controller)에서 수행하였던 무선자원관리들을 노드 B에서 수행한다. 노드 B에서는 전력 제어, ACK/NACK, QoS 또는 사용자 피드백 등에 기초하여 각각의 사용자들의 채널환경을 측정한다. 그러므로 사용자들의 채널 상태에 대한 정보가 빠르게 체크되어 자원관리를 효율적으로 할

* 영남대학교 정보통신공학과 이동통신연구실 (winiai@lycos.co.kr, ywpark@yu.ac.kr)

** 대구경북과학기술연구원(DGIST) SW연구팀 (sqpiao@dgist.ac.kr)

*** SK telecom Access 기술연구원 ({klee, jsjang, sjmoon}@sktelecom.com)

논문번호 : KICS2005-11-468, 접수일자 : 2005년 11월 18일, 최종논문접수일자 : 2006년 2월 20일

수 있다. 자원관리 기법들 중 패킷 스케줄링은 사용자들의 서비스 요구사항에 따라 구별된 패킷들의 전송 순서를 결정하는 방법으로 사용자들 간에 많은 양의 데이터 전송이 이루어지는 HSDPA 시스템의 경우 그 중요성은 커진다¹⁾.

기존의 패킷 스케줄링 알고리즘들은 시스템 전체 수율과 다른 사용자들 사이에 자원 할당의 공정성, 사용자들의 데이터 전송 지연시간에 따른 QoS 보장, 이 3가지 기준까지 어느 기준에 우선시 하는냐에 따라 시스템 성능을 달라지게 하였다. 먼저 수율을 우선하는 알고리즘으로는 가장 높은 C/I를 가지고 있는 사용자에게 전송 전력을 할당하는 Max C/I(maximum carrier to interference) 알고리즘이 대표적이다^{2, 3)}. 먼저 Max C/I 알고리즘은 채널 상태가 가장 좋은 사용자에게 우선적으로 패킷 전송 기회를 제공한다. 그러므로 효율적인 변조와 채널코딩을 통해 높은 데이터 전송률을 가짐으로써 다른 알고리즘에 비하여 높은 수율을 가진다. 그러나 채널 상태가 좋지 않은 사용자는 좀처럼 패킷 전송 기회를 갖지 못한다. 공정성을 우선시하는 알고리즘 중 대표적인 알고리즘으로는 라운드 로빈 알고리즘이 있다. 이 알고리즘은 채널의 상태와는 상관없이 사용자에게 동일한 무선 자원을 할당하므로 모든 사용자에게 균등한 서비스를 제공할 수 있지만 Max C/I 등 다른 알고리즘에 비하여 낮은 수율을 가진다³⁾. 수율과 공정성을 동시에 보장하는 알고리즘으로는 현재 1xEV-DO 시스템에서 사용 중인 비례공정(proportional fairness) 알고리즘이 있다⁴⁾. 이 알고리즘은 각 사용자들의 채널상태에 따라 요구되는 전송률을 평균 전송률로 나눈 값을 스케줄링 조건으로 사용하여, 이 값이 제일 큰 사용자에게 자원을 할당한다. 채널 상태가 좋은 사용자가 선택되어 계속해서 자원을 할당을 받아 데이터를 전송할 경우 그 사용자의 평균 전송률도 높아지므로 점차 스케줄링 조건의 값이 작아져 채널 상태가 상대적으로 좋은 사용자가 선택될 수 있다. 그러므로 Max C/I 보다는 낮은 수율을 가지지만 더 많은 사용자에게 전송 기회를 제공하며, 라운드 로빈 알고리즘에 비해 수율이 증대되는 장점을 갖는다. 마지막으로 QoS 보장을 우선하는 알고리즘으로는 M-LWDFS(modified largest weighted delay first)이 대표적이다. 이 알고리즘은 사용자가 실시간 패킷 사용자일 때, 지연시간이 가장 길어진 사용자에게 우선적으로 서비스하여 사용자의 QoS를 만족시킨다⁵⁾. 기존의 비례공정 알고리즘에 지연을 고려한 알고리즘이다.

위의 알고리즘들은 사용자 측면에서의 자원 할당을 목적으로 제안된 것으로 사업자 측면에서 가장 중요한 수익적인 측면이 고려되지 않았다. 서비스를 제공하는 이동통신 사업자들의 목표는 수익을 최대화 하는 것이므로 이를 만족시키기 위한 알고리즘이 필요하다⁶⁾.

본 논문에서는 실제적으로 이동통신 사업자가 제공하는 서비스별 고정된 트래픽 요금기준을 고려하여 스케줄링함으로써 수익을 최대화 시킬 수 있는 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안하고자 한다. 제안하는 알고리즘은 HSDPA 시스템에서 각 사용자들이 제공받고자 하는 트래픽 서비스들에 대하여 서비스별 트래픽 요금기준을 적용하고, CPICH(common pilot channel)을 통해 기저국에 수신된 신호대 간섭 전력 비(signal to interference power ratio: SIR)에 결정되는 데이터 전송률을 기반으로 사용자의 요금을 계산한다. 높은 요금을 갖는 사용자들을 우선적으로 전송함으로써 시스템에서 획득하는 전체요금을 최대화 시킨다. 즉, 동일한 시간 동안에 기존의 알고리즘에 비하여 이동통신 사업자의 요금이 최대화 되는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 HSDPA 시스템 모델을 분석하며, 3장에서는 요금에 기반한 제안하는 패킷 스케줄링 알고리즘에 대하여 자세하게 소개한다. 4장에서는 시뮬레이션환경 및 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘의 결과에 대한 성능분석에 대하여 기술한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1 High speed downlink packet access

HSDPA는 3GPP Release 5의 주요 기능인 고속 하향 패킷 전송을 위해 새로운 전송 채널을 정의하며 이를 HS-DSCH(high speed downlink shared channel) 채널이라 한다. 또한 5MHz 대역폭을 사용하여 HS-DSCH를 통해 최대 10Mbps 전송률을 제공한다^{1, 3, 10, 11)}. HSDPA 시스템은 전송효율의 증대를 위해 채널 상태가 좋지 않으면 낮은 차수의 변조를 하고, 채널 상태가 좋으면 높은 차수의 변조를 함으로써 데이터 전송률을 증대시키는 AMC(adaptive modulation and coding) 기법과 ARQ(automatic repeat request)와 전진 오류 정정(forward error correction)을 복합한 H-ARQ(Hybrid-ARQ) 기법을 적용하고 있다. 두 기법 모두 채널 상황의 변

표 1. MCS 레벨

MCS Level	Coding Rate	Modulation	Data rate
1	1/4	QPSK	1.2 Mbps
2	1/2	QPSK	2.4 Mbps
3	3/4	QPSK	3.6 Mbps
4	3/4	8PSK	5.4 Mbps
5	1/2	16QAM	4.8 Mbps
6	3/4	16QAM	7.2 Mbps
7	3/4	64QAM	10.8 Mbps

화를 보강하기 위하여 전송파라미터들을 조절하는 link adaptation 기법이다. AMC 기법은 채널 상황에 따라 전송 전력을 변화시키지 않고 링크 상황에 따라서 변복조 방식과 코딩 방식을 달리하여 시스템의 간섭 변화를 줄인다. 또 채널 상태가 좋은 사용자들은 채널로 인한 손실이 적으므로 높은 데이터 전송률을 사용하게 함으로써 수율도 높인다^[7]. HSDPA에서 사용되는 변조 방식은 QPSK, 16QAM, 64QAM이며, 부호율은 1/4, 1/2, 3/4이다. 이에 따른 전송률에 따라 레벨을 나누며 각 레벨은 표 1과 같다.

그리고 H-ARQ 기법을 사용하여 AMC기법에 따른 전송물로 전송된 데이터들을 단말에서 오류 발생을 체크하여 HS-SCCH 채널을 통해 에러 발생 유무를 기지국에 전송한다. 오류가 발생하여 재전송이 요구 될 경우 오류가 발생한 패킷을 버퍼에 저장하여, 재전송되어 온 패킷과 결합하는 chase combining 알고리즘을 사용한다. 또한 HSDPA에서는 시스템의 성능을 높이기 위하여 FCS(fast cell selection) 기법도 사용한다. FCS는 하향 링크에서 연결할 최적의 셀을 상향 링크의 신호를 통하여 단말기가 선택하는 기법이다. 즉, 활성화 된 셀 안의 여러 개의 셀 중에서 좋은 채널 상황을 갖는 하나의 셀을 시간적으로 선택하여, 선택된 하나의 셀만이 전송하게 함으로써 간섭을 줄이고, 시스템의 용량을 증대하는 장점이 있다.

본 논문에서 사용된 HSDPA 시스템의 모델과 그와 관련된 가정은 다음과 같다. 그림 1과 같이 배열된 동일 크기의 육각형 셀 K 개 안의 3개 섹터를 서비스 영역으로 간주하며, 기지국은 각 셀의 중심에 위치한다. 단말의 경우 이동성은 고려하지 않으며 각 셀 내에서 균일하게 분포하는 것으로 가정한다. 시스템에 접속을 시도하는 단말은 FCS를 통해 결정된 셀을 홈셀로 결정한다.

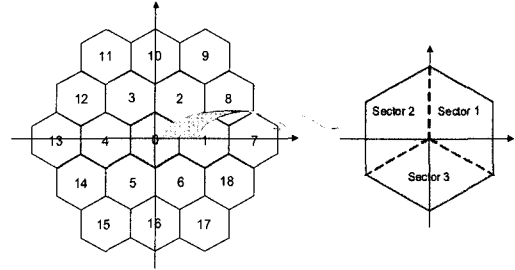


그림 1. 시뮬레이션에서 셀 레이아웃

2.2 전파 환경

HSDPA 시스템의 사용자는 같은 주파수 대역을 사용하므로 다른 사용자에게 간섭으로 작용한다. 그러므로 간섭은 HSDPA 시스템에서 고려되는 중요한 파라미터이다^[2]. 사용자가 갖는 간섭을 이용하여 기지국은 각 사용자의 채널 상태를 알 수 있는데 이를 SIR이라 하며, 이는 다른 모든 단말들로부터의 전력의 합에 대한 서비스 대상 단말 전력의 비율이다. 시스템에서 K 개의 셀을 가지고, 한 셀에 N 개의 단말기가 서비스를 받기 원한다고 가정하면, 셀 i 에서 서비스를 제공받기 원하는 사용자 n 의 SIR은 (1)과 같이 얻어진다^[3].

$$SIR(i,n) = \frac{P_{in} \cdot H_{in}}{\beta \left(\sum_{m=1}^{N_i} P_{im} \right) H_{in} + \sum_{j=1, j \neq i}^B \left(\sum_{m=1}^{N_j} P_{jm} \cdot H_{jm} \right)} \quad (1)$$

여기서 N_i 는 i 번째 기지국의 총 사용자 수이고, B 는 시스템 내에 있는 기지국의 수를 나타내며, β 는 하향링크 직교계수이다. 또한 P_{in} 은 사용자의 하향 링크 송신전력이며, H_{in} 은 사용자의 전파 환경에 따른 채널 이득으로 거리에 따른 경로 손실, 쉐도잉, 다중 경로 페이딩 세 가지 요소의 영향을 받는다.

III. 제안하는 스케줄링 알고리즘

시스템에서 제공되는 다양한 서비스들은 트래픽 특성에 따라 이동통신 시스템에서 적용되는 트래픽 요금기준이 차이가 난다. 제안하는 스케줄링 알고리즘은 트래픽 요금기준이 높은 데이터 서비스를 제공하고자 하는 사용자를 우선적으로 고려함으로써 이동통신 사업자의 수익을 최대화 시킨다. i 번째 사용자의 트래픽 서비스 종류에 따른 요금을 p_i , 채널 상태에 따라 결정되는 전송률을 R_i 라 가정하면, i 번째 사용자가 갖는 요금 함수 f_i 는 다음과 같이

정의된다.

$$f_i = R_i \times p_i \quad (2)$$

f 는 시스템 분석을 위한 새로운 파라미터인 요금에 관한 함수로 매 타임 슬롯 사용자들의 트래픽이 갖는 요금이다. 제안된 알고리즘에서 우선권을 갖는 식은 다음과 같다.

$$j = \arg(\max_{i \in N}(f_i)) = \arg\left(\max_{i \in N}(R_i \times p_i)\right) \quad (3)$$

총 사용자 수를 N 이라고 하면, N 명의 사용자 중에서 가장 높은 $R_i \times p_i$ 를 갖는 사용자 j 에게 우선권이 주어진다. 하지만 HSDPA 시스템에서는 각 채널 상태에 따라 데이터 전송률이 결정되므로 채널이 비슷한 환경을 가지면서 동일한 서비스를 제공하는 사용자가 생길 수 있다. 즉, 동일한 f 를 갖는 사용자들의 수가 M 명이라고 가정하면 ($M < N$), 이 경우 각 사용자의 SIR값을 비교하여 높은 SIR값을 갖는 즉, 채널 상태가 좋은 사용자를 선택한다.

$$i = \max_{i \in M}(SIR_i) \quad (4)$$

또한 식(3)에 따르면 p 는 사용자들의 데이터가 전송되기 위하여 버퍼에 도착했을 시 패킷 전송 순서를 결정짓는 요인으로 p 의 최대값과 최소값의 차이가 전송 순서 결정에 영향을 미치며 p 의 최대값과 최소값 자체는 스케줄링에 영향을 미치지 않는다. 수익(r)은 다음과 같이 총 시뮬레이션 시간 중에 제안된 스케줄링 알고리즘을 사용하여 선택된 사용자들의 요금(f)의 합으로 이루어진다. L 은 총 타임 슬롯의 개수이다.

$$r = \sum_{i=1}^L f_i \quad (5)$$

그림 2는 제안하는 알고리즘의 순서도(flow chart)를 보여주고 있다. 먼저 각각의 사용자들을 트래픽 서비스에 따라 p 를 할당한다. 할당된 p 를 이용하여 사용자들 각각의 요금이 계산되며 계산된 값을 바탕으로 패킷 스케줄러는 가장 높은 요금을 가지는 사용자에게 전송기회를 제공한다. 만약 동일한 요금을 가지는 사용자가 존재한다면 채널 상태를 비교하여 SIR값이 높은 사용자에게 우선권 할당한다.

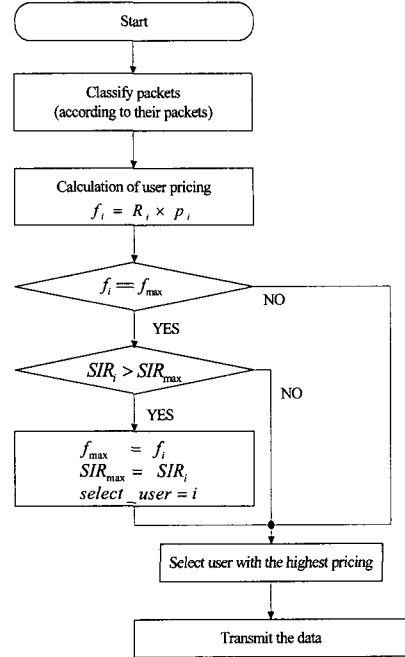


그림 2. 순서도

IV. 시뮬레이션 환경 및 성능 분석

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문에서의 시뮬레이션은 3GPP 표준을 바탕으로 수행되었으며 시뮬레이션 환경을 위한 각 파라미터들은 표 2에서와 같다. 기지국에서 데이터 전송을 위해 할당하는 전력은 셀의 총전력의 70%이며, 나머지 30%는 ACK/NACK정보비트들을 전송하기 위하여 할당된다. 셀 내의 건물 및 지형들의 분포는 섹터별로 동일하다고 가정하므로 섹터들간의 상관도는 1, 셀과 이웃 셀 사이의 상관도는 0.5로 둔다. 사용자들은 셀 내에 균등하게 분포하며, 처음 시뮬레이션이 실행되면 고정된 위치를 가진다. 기지국과 단말간의 경로 손실 모델은 $128.1 + 37.6 \log(R)$ 을 사용하였으며, 이때 R 의 단위는 km이다. 웨도잉은 8dB의 표준편차를 갖는 로그-노말(log-normal)분포를 따르도록 시뮬레이션에 적용시켰다. 또한 다중경로는 총 12개를 고려하였으며, 각각의 경로는 경로 지연이 일어남에 따라 1dB씩 감소된다. 즉, 자신의 위치에 따라 다른 사용자들과는 서로 다른 채널 환경을 갖는다. 그리고 백색잡음의 경우 간섭에 비하여 상당히 작기 때문에 고려하지 않았다. 또한 HSDPA 시스템의 link adaption 기법들 중 AMC기법의 경우 MCS level은 7단계 중 mcs2, mcs5, mcs6 그리고 mcs7를 고려하며 FCS의 경우 사용자

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Cell layout	19 cells, 3 sectors/cell
User distribution	Uniform
Cell radius	1 Km
BS total Tx power	17 W
Standard deviation of shadowing	8dB
Correlation between sectors	1.0
Correlation between cells	0.5
Number of paths	12 paths
Hybrid ARQ scheme	Chase combining
Carrier frequency	2000MHz
The number of users	Fixed

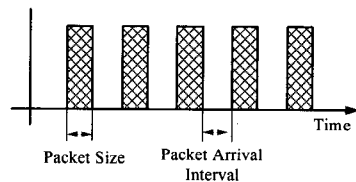
는 SIR값이 가장 높은 셀을 3개 택하여 active set 으로 두고 그 중 가장 높은 값을 갖는 셀을 선택한다. 그러므로 각 셀에서 서비스 되는 사용자 수는 달라진다.

4.2 트래픽 모델

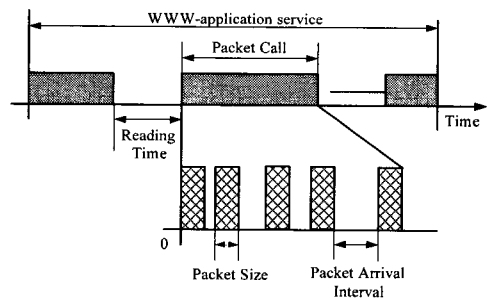
멀티미디어 서비스 환경을 시뮬레이션하기 위하여 일반적으로 WAP 브라우저의 페이지 등의 텍스트 트래픽, 배경화면 이미지 또는 벨소리 다운로드 서비스 등의 멀티미디어 트래픽과 마지막으로 비디오 폰 서비스인 VOD 트래픽을 비교하여 분석한다. VOD의 경우 버퍼링 윈도우를 가짐으로써 윈도우 크기만큼의 시간 지연이 발생하므로 실제적으로 실시간 서비스라고 할수 없다. 그렇지만 실시간 서비스에 가까운 서비스이므로 본 논문에서는 실시간 서비스라고 가정하고 384Kbps로 일정한 데이터율을 가지며 패킷이 도착하는 스트리밍 서비스 모델^[14]을 수정하여 적용시켜 그림 3(a)와 같이 패킷을 생성하였다. 비실시간 데이터 서비스인 텍스트 트래픽과 멀티미디어 트래픽은 그림 3(b)와 같이 수정된 WWW(world wide web) 트래픽 모델을 이용하여 트래픽을 생성하였다. 수정된 WWW 트래픽 모델은 기존 모델의 서로 다른 패킷 크기를 동일한 패킷 크기를 가지도록 수정한 것이다³⁾. 수정된 WWW 트래픽 모델의 모든 패킷 세션은 웹 다운로드나 이와 비슷한 활동으로 표현되는 여러 개의 패킷 호로 구성되어 있다^{2, 15, 16)}. 각각의 패킷호크기는 평균이 25Kbytes 인 절단된 파레토 분포를 따르는 랜덤변수의 값을 가지고 모델링 되었다. 파레토분포의 확률밀도함수 $f_p(x)$ 는 식(6)과 같다.

$$f_p(x) = \begin{cases} \frac{\alpha \cdot k}{x^{\alpha+1}}, & k \leq x \leq m \\ \beta, & x = m \end{cases}, \beta = \left(\frac{k}{m}\right)^\alpha \quad (6)$$

이때 확률 밀도 함수의 형태를 뜻하는 α 는 1.1, 최소값 k 는 4.5Kbytes, 최대값 m 은 2Mbytes를 가진다. 각각의 패킷 호는 reading time으로 구분되며 reading time은 평균이 5초인 기하분포(geometric distribution)를 따른다. reading time은 웹 문서를 읽는 동안 요구되는 시간으로 사용자가 전체 패킷 호를 다 수신 받았을 경우부터 측정된다. 각각의 패킷 호는 여러 개의 패킷들로 세분화된다. 각 패킷 사이의시간은 기하분포를 따르는데 이 분포의 평균값은 전송 가능한 최대의 데이터양을 채널을 통해 최대 전송 속도로 나눈 값이다. 세부 파라미터는 표 3과 같다.



(a) 스트리밍 서비스 모델 - 실시간 데이터트래픽 모델



(b)수정된 WWW 트래픽 모델 - 비실시간 데이터트래픽 모델
그림 3. 트래픽 모델의 종류

표 3. 트래픽 모델 파라미터

	Distribution	Parameters
Packet Calls Size	Pareto with cutoff	$\alpha=1.1, k=4.5\text{Kbytes}, m=2\text{Mbytes}$ average 25Kbytes
Reading time	Geometric	average 5 sec (text) average 0.6 sec (multimedia)
Packet size		12Kbit
Packet inter-arrival time	Geometric	average 6 msec

4.2 성능 평가 기준

성능 평가를 위해 서비스 수율(service throughput)과 수익을 사용하였다. 서비스 수율은 시뮬레이션 시간동안 전송되는 평균 데이터로 식(7)과 같이 평가된다.

$$Service_throughput = \frac{1}{N_{cells}} \sum_{k=1}^{N_{cells}} Service(k) \quad (7)$$

N_{cells} 는 총 셀 수를 의미하고, $Service(k)$ 는 k 번째 셀에서 TTI마다 성공적으로 전송되는 데이터의 평균으로 식(8)과 같다.

$$Service(k) = \frac{1}{N_{seconds}} \sum_{i=1}^{N_{seconds}} N_{good_bits}(i) \quad (8)$$

$N_{goodbits}$ 는 셀에서 i 번째 TTI에서 성공적으로 전송되는 데이터 수를 의미하며, $N_{seconds}$ 는 전체 데이터 전송시간으로 선택된 사용자가 데이터가 없을 경우에도 전송시간은 계산된다. 수익의 경우 3장에서 이미 설명되었다.

4.3 트래픽 요금기준

현재 이동통신망에서 서비스 되고 있는 트래픽은 VOD, 텍스트, 멀티미디어 세 종류로¹⁷⁾ 이동통신 사업자는 각 트래픽 서비스에 대하여 표 4에서 나타난 것과 같이 0.5kB당 VOD는 1.3원, 텍스트는 6.5원, 멀티미디어는 2.5원 서로 다른 요금을 적용시킨다. 각각의 트래픽 서비스들은 트래픽 특성에 따라 많은 양의 데이터를 가지고 있는 트래픽이 있는 반면에 적은 양의 데이터를 가지고 있는 트래픽도 있다. 예를 들어 텍스트와 VOD파일을 비교해보았을 경우 일반적으로 한 번에 제공되는 텍스트의 데이터양이 VOD파일에 비해서는 적은 양의 데이터를 가진다. 즉, 사용자들이 동일한 시간동안 같은 트래픽 양의 서비스를 제공받는다면 요금이 높은 트래픽을 전송 받는 것이 수익을 최대화한다.

표 4. 트래픽 요금기준(traffic pricing criterion)

트래픽 서비스	VOD	텍스트	멀티미디어
요금 기준(p)	1.3원/0.5kB	6.5원/0.5kB	2.5원/0.5kB

4.4 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

VOD, 텍스트 그리고 멀티미디어의 경우 시스템에서 각 데이터들을 사용하는 사용자의 비율은

4:93:3으로 예를 들면 총 100명의 사용자가 시스템에서 데이터 서비스를 이용한다고 하면 VOD 사용자 4명, 텍스트 사용자 93명, 멀티미디어 사용자 3명이다. 또한 이들 사용자들이 점유하고 있는 데이터 비율은 각각 VOD는 48%, 텍스트는 22%, 멀티미디어는 30%로 간단히 VOD 4명의 사용자가 전체 데이터양을 100으로 봤을 때 48%의 데이터가 VOD라는 의미이다. 그러므로 시스템에서 텍스트 사용자의 트래픽 비율을 1이라고 둔다면 나머지 트래픽 비율은 각각 VOD는 51, 멀티미디어는 42를 차지한다. 표 5는 멀티서비스 데이터의 파라미터들을 정리해놓은 것이다.

표 5. 멀티서비스 데이터 파라미터

데이터 서비스	VOD	텍스트	멀티미디어
데이터양 비율	48%	22%	30%
사용자 비율	4%	93%	3%

VOD의 경우 표 6과 같이 허용 지연이 경우에 따라 다른 값을 가지므로 그 중에서 150ms, 400ms 값을 고려하여 시뮬레이션 하였다.

표 6. 서비스 별 허용 지연¹⁷⁾

service	Key performance parameters and target values
VOD (Video)	< 150 msec preferred <400 msec limit
Text (Web-browsing)	< 4 sec /page
Multimedia (Streaming Data)	< 10 sec

a. VOD delay가 150ms 경우

그림 4는 각 셀에서 서비스를 제공받는 사용자 수를 100, 200, 300, 400, 500으로 가정할 경우 서비스 수율을 각 알고리즘 별로 비교한 것으로 PF로 표기된 그래프는 비례공정 알고리즘의 결과값을 나타낸 것이다. 사용자 수가 많으면 많을수록 사용자 다이버시티를 효과적으로 이용하는 알고리즘의 이득이 크다. 시스템에서 채널 상태에 따라 데이터 전송률을 할당하므로 채널 상태가 가장 좋은 사용자에게 우선적으로 전송하는 Max C/I의 경우 사용자 수가 증가할수록 채널 상태가 좋은 사용자가 증가하여 다이버시티의 이득이 큰 반면에 라운드 로빈 알고리즘은 채널 상태와 관계없이 순서대로 우선권을 할당하므로 이득이 크지 않다. 또한 사용자 수가

적을수록 사용자 다이버시티 이득을 크게 얻지 못한다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 Max C/I, PF, Proposed, 라운드 로빈 알고리즘의 순으로 서비스 수율이 우수함을 볼 수 있다. 제안한 알고리즘의 경우 스케줄링을 할 때 트래픽 요금기준을 우선시하여 사용자를 선택하지만 또한 채널 상태도 동시에 고려하므로 PF와 비슷한 성능을 보인다.

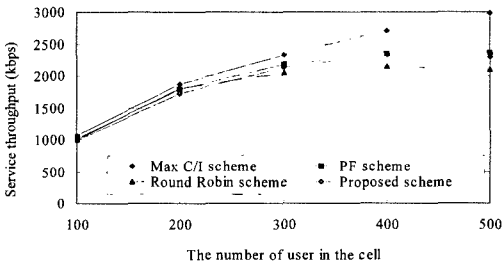


그림 4. VOD delay가 150ms 경우 알고리즘 별 서비스 수율

그림 5의 경우 사용자수가 증가함에 따라 이동통신 수익을 알고리즘 별로 비교한 것이다. 사용자 수가 많아짐에 따라 높은 트래픽 요금기준을 가지며 또한 채널 상태에 따라 전송되는 높은 데이터 전송률을 가진 사용자들이 확률적으로 증가하므로 수익은 커진다. 제안하는 알고리즘의 성능이 가장 우수하며, 500명일 경우 Max C/I의 수익보다 약 13% 정도 높다. 수익은 사용자의 전송률에 비례하므로 서비스 수율이 가장 좋은 Max C/I 역시 높은 성능을 보인다.

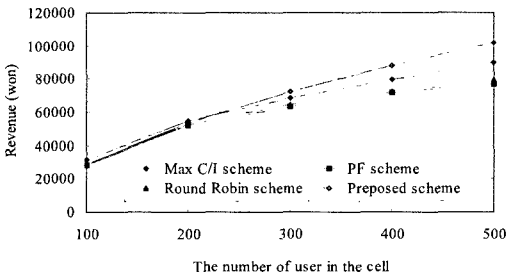


그림 5. VOD delay가 150ms 경우 알고리즘 별 수익

b. VOD delay가 400ms 경우

그림 6은 VOD delay가 400ms일 경우 알고리즘 별 서비스 수율이다. 서비스 수율은 채널 상태에 따른 전송률에 의해 결정되므로 VOD delay가 150ms일 경우와 성능적 차이가 없다. 100명일 경우 각 알고리즘은 1.1kbps 이내의 값을 가지며 차이를 보

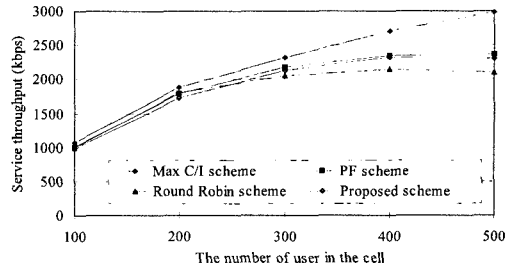


그림 6. VOD delay가 400ms 경우 알고리즘 별 서비스 수율

이지 않지만 사용자 수가 500인 경우를 살펴보면 최대값을 갖는 Max C/I는 가장 낮은 성능을 보여주는 라운드 로빈보다 약 43% 더 우수한 성능을 보이며, 제안하는 알고리즘과 PF의 경우 라운드 로빈보다 약 33% 높은 이득값을 가진다.

그림 7은 VOD delay가 400ms일 경우 알고리즘 별 수익이다. 수익의 경우 사용자들의 요금에 따라 결정되므로 요구되는 서비스가 VOD일 경우 트래픽 요금 기준이 가장 낮으므로 VOD delay에 따른 파라미터의 변화가 성능에 영향을 미치지 않는다. 그렇기 때문에 서비스 수율과 마찬가지로 VOD 지연이 150ms일 경우와 성능적 차이가 없다.

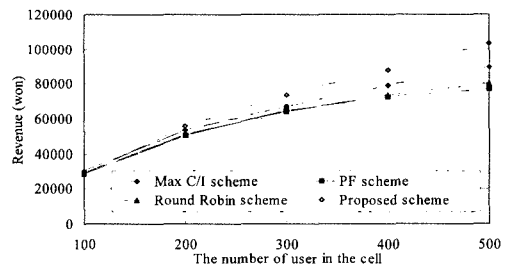


그림 7. VOD delay가 400ms 경우 알고리즘 별 수익

표 7은 각 성능 평가 기준에 따라 여러 알고리즘들 중 최대 성능을 가진 알고리즘을 보여준다.

표 7. 성능 평가기준에 따른 성능 분석

성능 평가기준	최대 알고리즘
Delay 150 서비스 수율	Max C/I
Delay 150 수익	Proposed
Delay 400 서비스 수율	Max C/I
Delay 150 수익	Proposed

V. 결론

제안된 스케줄링 알고리즘은 이동통신 무선 환경의 채널환경에서의 값을 이용하여 요구되는 각 패킷 서비스들의 종류에 따라 사용자들에게 자원을 할당함으로써 동일한 시간에 이동통신 사업자의 수익이 최대화되는 알고리즘을 제시하였다. 또한 VOD, 텍스트, 멀티미디어 서비스를 고려하여 데이터 서비스를 다양화하였으며, VOD 서비스의 지연 파라미터를 150ms, 400ms를 고려하여 시뮬레이션하여 패킷 스케줄링 성능 분석에 신뢰성을 높였다. 성능 분석을 하기 위해 서비스 수율과 수익을 산정하여 Max C/I, 비례공정 알고리즘, 라운드 로빈 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통하여 비교하였다. 스케줄링 성능 분석 결과 각 알고리즘들은 고려되는 사용자 수가 증가할수록 뚜렷한 성능 차이를 보인다. 제안하는 알고리즘의 경우 VOD delay 150ms이고 셀에 사용자수가 500명일 경우 수익이 Max C/I보다 13% 정도 높으며, 서비스 수율도 라운드 로빈보다 약 33% 높은 성능 가치를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 즉, 제안된 알고리즘의 경우 우수한 서비스 수율을 유지하면서 이동통신 사업자의 수익도 최대화된다.

참 고 문 헌

[1] Harri Holma, Antti Toskala, *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons, LTD, 2002.

[2] Y.Ofuji, A.Morimoto, S.Abeta and M. Sawahashi, "Comparison of packet scheduling algorithms focusing on user throughput in high speed downlink packet access", in Proc. of IEEE *PIMRC'02*, vol. 3, pp. 1462-1466, Sept. 2002.

[3] 3GPP, 3G TR 25.848, "Physical Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access."

[4] Airlink Overview, 1x EVolution IS-856 TTA/EIA Standard, available from http://www.cdg.org/technology/3g/resource/1xEV_Airlink_Overview_110701.pdf

[5] Matthew Andrews et al., "Providing Quality of Service over a Shared Wireless Link," *IEEE Commun.Mag.*, Feb. 2001.

[6] E.Wallenius, Y.Joutsensalo, and T.Hamalainen,

"Revenue and delay control in 3G service network", Vehicular Technology Conference, *VTC2004-Fall*, vol.6, pp.4390-4394, Sept. 2004.

[7] L.Badia, M.Lindstrom, J.Zander, and M. Zorzi, "Demand and pricing effects on the radio resource allocation of multimedia communication systems", Global Telecommunications Conference, *GLOBECOM '03*, vol.7, pp.4116-4121, Dec. 2003.

[8] T.Hamalainen, M.Paakkonen, J.Joutsensalo, A.Sayenko, and M.Ketola, "QoS-and revenue aware adaptive scheduling algorithm", Proc. IEEE International Conference, *ICECS 2003*, vol.3, pp.1030-1033, Dec. 2003.

[9] A.Sayenko, T.Hamalainen, J.Joutsensalo, and J.Siltanen, "On providing bandwidth and delay guarantees using the revenue criterion based adaptive WFQ", *APCC 2003*, vol.2, pp.745-750, Sept. 2003.

[10] C.J.Ong, Peter H.J.Chong, and Raymond Kwan, "Effects of various packet scheduling algorithms on the performance of high speed downlink shared channel in a WCDMA network", IEEE Pacific Rim Conference, *PACRIM 2003*, vol.2, pp.935- 938, Aug. 2003.

[11] 최호규, "IMT-2000 고속 패킷데이터 전송시스템(1xEV-DV,HSDPA)", 한국정보통신기술협회, *TTA저널*, 제82호, pp.80~90, Aug. 2002.

[12] Zhao Liu, M.El Zarki, "SIR-based call admission control for DS-CDMA cellular systems", *IEEE Journal*, vol.12, pp.638-644, May 1994.

[13] Third Generation Partnership Project 2(3GPP2), "1xEV-DV Evaluation Methodology Addendum (V6)", TSG-C, WG5 Evaluation AHG, July 25, 2001.

[14] 백장현, 김동희, "차세대 이동통신시스템을 위한 패킷 스케줄링 알고리즘과 효율적인 프레임 구성 방법 및 성능 분석", 한국경영과학회, *한국경영 과학회지*, 제30권 2호, 2005.6.

[15] 백천현, 정용주, 김후곤, "멀티미디어 데이터 트래픽 특성 및 모델링 방법 조사연구", SK Telecom, *TR 12* 권 6호, pp.931-946, 2002.12

[16] ETSI, UMTS TR 101 112, "Selection proce-

dures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS.”

[17] 3GPP, 3G TR 22.105, “services and service capabilities.”

손 주 희 (Ju-hee Son)

준회원



2003년 2월 영남대학교 정보통신공학과 졸업
2004년 3월~현재 영남대학교 정보통신공학과 석사과정
<관심분야> 무선통신, Packet scheduling

박 세 권 (Shi-quan Piao)

정회원



1999년 7월 북경대학교 전자공학과 졸업
2002년 2월 영남대학교 정보통신공학과 석사
2005년 6월 영남대학교 정보통신공학과 박사수료
2005년 6월~현재 대구경북과학기술연구원(DGIST) 연구원

기술연구원(DGIST) 연구원

<관심분야> 무선통신, 호 수락제어, 스케줄링

박 용 완 (Yong-Wan Park)

정회원



1982년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
1984년 4월 경북대학교 전자공학과 석사
1989년 2월 뉴욕주립대 전자공학과 석사
1992년 2월 뉴욕주립대 전자공학과 박사

학과 박사

1992년 10월~1993년 12월 캘리포니아 공과대학 Research Fellow

1994년 1월~1996년 8월 SKT 기술연구 부장

1996년 9월~현재 영남대학교 전자정보공학부 교수

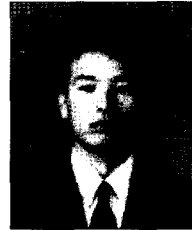
2000년 1월~2000년 2월 NTT DoCoMo 연구소 초빙교수

2003년 1월~2004년 1월 UC Irvine 방문교수

<관심분야> 차세대 무선접속기술, RF Engineering

이 경 락 (Kyong-Lak Lee)

정회원



1998년 2월 경북대학교 전자공학과 학사

1998년 1월~현재 SK telecom Access기술연구원, 과장

<관심분야> WCDMA/HSDPA/HSUPA 커버리지, 용량, 망설계, 성능 시뮬레이션

장 재 성 (Jae-Sung Chang)

정회원



2003년 2월 서울대학교 산업공학과 학사

2005년 2월 서울대학교 산업공학과 석사

2005년 2월~현재 SK telecom Access기술연구원, 연구원

<관심분야> Packet scheduling, WCDMA/HSDPA 성능분석, Network system 모델링

문 순 주 (Soon-Joo Moon)

정회원



1991년 2월 서울대학교 산업공학과 학사

1993년 2월 서울대학교 산업공학과 석사

1993년 2월~1997년 1월 고등기술연구원, 주임연구원

1997년 2월~현재 SK telecom Access기술연구원, 차장

<관심분야> Access망 엔지니어링, Beyond 3G 시스템, 무선데이터 트래픽 모델링