

# HSDPA시스템에서 수신 SIR기반의 유연한 채널 할당 방식의 공평한 스케줄링 기법에 관한 연구

준회원 이승환\*, 정회원 김성원\*, 박용완\*

## Fairness Scheduling Algorithm Using Adaptive Channel Assignment Based on SIR in HSDPA System

Seung-hwan Lee\* Associate Member, Sung won Kim\*, Yong Wan Park\* Regular Members

### 요 약

본 논문은 HSDPA시스템에서 높은 전송 수율을 내면서도 기존 알고리즘에 비해 높은 공평성을 보장하는 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 이 알고리즘은 할당하는 채널의 개수를 기지국에 수신된 SIR값에 매겨진 등급에 따라 다르게 할당하고 남은 채널을 다른 사용자에게 할당하여 전송 수율도 높으면서도 보다 많은 사용자에게 서비스를 하여 공평성도 향상시키는 기법이다. 실시간 및 비 실시간 데이터의 종류에 따라 전송 수율 및 공평성의 비율을 비교한 결과 기존의 알고리즘인 비례공정 알고리즘에 비해 높은 전송 수율을 보이고 MAX CIR과 유사한 전송 수율을 나타내고 MAX CIR 알고리즘에 비해 높은 공평성을 보여준다.

**Key Words** : Communication, HSDPA, Packet scheduling, Fairness, Channel assignment

### ABSTRACT

In this paper, a fairness scheme is proposed that assigns different number of HS-PDSCH to the service user according to the received SIR of CPICH. Assigned channel number is determined by the SIR level. The highest SIR user gets the number of channels based on the SIR table and the remained channels are assigned to the other SIR users. This scheme can serve the similar maximum service throughput and higher fairness than MAX CIR packet scheduling algorithm. This scheme can also serve the higher service throughput than Proportional Fairness scheme.

### I. 서론

최근 컴퓨터 기술의 급속한 발전으로 인해 기존의 텍스트 위주의 사용자 환경에서 벗어나 이미지, 오디오 및 비디오 데이터 등을 제공하는 멀티미디어 사용자 환경으로 변화하고 있다. 무선 통신 및 이동 통신 사용자의 보다 빠르고 우수한 성능의 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라, 통신 서비스 제공자(service provider)는 다양한 통신 시스템을 개발하게

되었고 WCDMA(wireless code division multiplex access)를 적용하기에 이르렀다. 서비스 성능이 향상되고 단말기의 처리속도 및 용량이 증가됨에 따라, 대용량 서비스에 대한 요구 또한 증가되었다. 서비스 사용자들이 잘 사용하지 않는 상향링크 통신에 비해 대용량 서비스를 위한 하향링크 통신 성능을 향상시킨 통신 시스템이 필요하게 되었고 WCDMA 시스템 기반의 HSDPA(high speed downlink packet access) 시스템이 개발되었다.

\* 영남대학교 정보통신공학과 (guten23@nate.com, swon@yu.ac.kr, ywpark@yu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-03-122, 접수일자 : 2007년 3월 8일, 최종논문접수일자 : 2006년 2월 10일

HSDPA 시스템은 하향링크로 많은 데이터를 신속하고 신뢰성 있게 전송하기 위해 기존의 RNC(radio network controller)에서 수행 하였던 무선 자원 관리(radio resource management)를 기지국과 비슷한 개념인 노드 B에서 수행한다. HSDPA 시스템에서는 사용자 단말기와 무선으로 직접 통신하는 노드 B에서 전력 제어, ACK/NACK, QoS(quality of service) 또는 사용자 단말기로부터 되먹임(feedback) 정보를 바탕으로 각 사용자의 채널환경을 측정한다. 따라서 노드 B에서 RNC로 정보가 전달된 후 처리가 되는 기존의 방식에 비해 사용자 단말기의 채널 상태에 대한 정보가 보다 빠르게 체크되므로 시스템의 무선자원 관리를 효율적으로 할 수 있다. 본 논문에서는 언급된 무선자원관리 기법 중 서비스를 받을 사용자를 선택하는 패킷 스케줄링을 중심으로 다룬다.

이미 소개되어있는 패킷 스케줄링 알고리즘은 시스템수율(throughput)과 다른 사용자들 간의 자원 할당의 공평성(fairness), 사용자들의 데이터 전송 지연 시간에 따른 QoS 보장을 기준으로 사용자를 할당하였다. 시스템 수율을 우선시 하는 대표적 알고리즘에는 Max CIR(maximum carrier to interference)이 있다<sup>[1]</sup>. 이 알고리즘은 상향링크의 CPICH(common pilot channel)를 통해 수신되는 모든 서비스 사용자들의 C/I를 측정하여 가장 높은 C/I를 가지고 있는 사용자에게만 스케줄러가 채널을 할당한다. 때문에 높은 전송 수율을 나타낸다. 공평성을 우선하는 대표적 알고리즘은 라운드로빈(round robin) 기법이 있다. 이 기법은 채널의 상태와 무관하게 사용자에게 동일한 무선자원을 할당하므로 모든 사용자에게 균등한서비스를 제공하기 때문에 공평성 측면에서는 최상의 성능을 보이지만 수율 측면에서는 낮은 성능을 보인다. 수율을 최대로 할 경우 공평성 측면에서 좋지 못하고 공평성 측면을 최대로 할 경우 수율 측면에서 낮은 성능을 보이는 MAX CIR과 라운드 로빈 기법의 문제점을 해결하기 위해 수율과 공평성을 동시에 보장하는 비례공정(proportional fairness) 기법이 제안되었다<sup>[2]</sup>. 이 기법은 1x EV-DO 시스템에서 사용 중인 기법으로 각 사용자의 채널 상태에 따라 요구되는 전송률을 평균 전송률로 나눈 값이 최대가 되는 사용자에게 자원을 할당하는 스케줄링 방식이다.

본 논문에서는 HSDPA 시스템에 적합한 패킷 스케줄링 알고리즘을 제안하고자 한다. HSDPA 시스템은 하향링크에 최대 15개의 HS-PDSCH(high speed-primary downlink shared channel)를 사용자에게 모두 할당하여 전송 수율을 최대로 할 수 있는 특징

이 있다. 여기서 제안하는 알고리즘은 HSDPA 시스템에서 CPICH를 사용하여 측정된 신호 대 간섭 전력비(signal to interference ratio : SIR)를 바탕으로 스케줄러가 채널을 할당하게 된다. CPICH에서 측정된 최대 SIR을 가지는 사용자에게 채널을 할당하는 MAX CIR 알고리즘과 달리 측정된 SIR값의 등급에 따라 다른 수의 채널을 사용자에게 할당하여 남는 수의 채널을 두 번째 SIR을 가지는 사용자에게 할당하고 시스템의 공평성을 향상시키는 알고리즘이다. 이 알고리즘에서는 최대 SIR을 가지는 사용자라고 하여도 모든 채널을 할당 받을 수 없고 측정된 SIR 값에 따라 정해진T 채널을 할당 받을 수 있다는 특징이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존에 제안된 패킷 스케줄링 알고리즘의 종류와 특징 및 성능에 대해 알아보고 III장에서는 HSDPA 시스템 및 서비스별 트래픽 모델을 분석한다. IV장에서는 본 논문에서 제안하는 패킷 스케줄링 알고리즘에 대해 분석하고 그 성능 및 모의실험 결과를 V장에서 분석한다. 마지막으로 VI장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 기존 알고리즘 분석

MAX CIR 알고리즘은 가장 좋은 신호 대 간섭비를 가진 사용자에게 전송 서비스를 해줌으로써 시스템 전체 수율을 최대로 하는 알고리즘이다. 이 알고리즘은 서비스를 받기 원하는 사용자의 SIR값을 매 TTI(transmission timing interval)마다 계산하여 패킷 스케줄러가 가장 높은 SIR을 가지는 사용자에게 채널을 할당하여 서비스한다. 서비스를 받게 되는 사용자 i는 다음 식에 의해서 정해진다.

$$j = \arg \max_{1 \leq j \leq N} SIR_j \quad (1)$$

여기서  $SIR_j$ 는 서비스를 요청한 전체 사용자 N명 중 j번째 사용자의 SIR값이다. 이 값이 최대가 되는 j번째 사용자를 서비스 사용자로 선택한다. MAX CIR 알고리즘은 채널상태가 가장 좋은 사용자가 우선적으로 서비스를 받을 수 있는 기회를 제공받기 때문에 효율적인 변조 및 채널코딩을 통해 높은 데이터 전송률을 가질 수 있는 장점이 있다. 그러나 채널상태가 좋거나 기지국에 가까이 있는 사용자가 높은 SIR값을 가질 수 있기 때문에 독점적으로 서비스를 받고 기지국에서 멀리 있거나 채널상태가 좋지

못한 사용자의 경우 서비스를 받지 못하여 전송하려는 패킷이 계속 드롭(drop)되는 아사상태 (starvation)가 발생할 수 있다는 단점이 존재한다.

공평성을 최우선으로 하여 채널을 할당하는 라운드 로빈 알고리즘은 사용자들에게 순서대로  $P_i^{\max}$  만큼의 전력을 할당한다. 현재 타임 슬롯에서 스케줄러에 의해 서비스를 받는  $i$ 번째 사용자는  $P_i = \min(P_d^{\max}, P_i^{\max})$  만큼의 전력을 할당 받게 된다. 여기서의  $P_i^{\max}$  는  $i$ 번째 사용자가 할당받을 수 있는 최대 전력이고,  $P_d^{\max}$ 는 사용자에게 할당 가능한 잔여 전력량을 의미한다. 이때 할당할 수 있는 전력이 없을 경우  $P_{i+1} = \min(P_d^{\max} - P_i^{\max}, P_{i+1}^{\max})$  만큼의 전력을 다음 사용자에게 할당한다. 사용자에게 할당하고 남은 전력이 있을 경우 사용자의 요구 전송전력이  $P_d^{\max}$  보다 작거나 같을 경우 요구 전력만큼 할당하여 남은 전력이 요구 전력보다 작을 때까지 스케줄러는 사용자에게 전력을 할당한다. 이 때 전체 사용자  $N$ 명이 서비스를 받지 못한 가운데 할당 가능 전력이 없을 경우 이 사용자는 다음 타임 슬롯에서 전력을 할당 받아 서비스를 받게 된다. 모든 사용자가 공평하게 서비스를 받기 위해 동일한 전력만큼 전송가능하기 때문에 공평성은 향상되지만 MAX CIR 알고리즘에 비해 전송 수율의 성능이 낮다.

비례공정 알고리즘은 사용자의 현재 채널 상태 정보와 이미 서비스가 끝난 타임 슬롯의 채널 상태 정보를 모두 이용하여 다음 타임 슬롯에 서비스를 받을 사용자를 결정하는 방식이다. 식 (2)는 스케줄러에 의해 사용자가 선택되는 조건을 나타낸다. 이 알고리즘은 스케줄러가 서비스를 받을 사용자를 선택하기 위해 현재 채널 상태를 나타내는 전송률  $r_i$ 와 평균 채널 상태를 나타내는 평균 전송률  $R_i$ 의 비율을 이용하는데 이 비율이 최대가 되는 사용자를 선택하는 방식이다.

$$j = \arg \max_{1 \leq i \leq N} \frac{r_i}{R_i} \quad (2)$$

이때 현재 전송률과 평균 전송률의 비율이 모두 동일할 경우 전송될 사용자는 무작위로 선택된다. 단, 전송할 데이터가 없는 사용자는 해당되지 않는다. 평균 전송률은 다음 수식 3에 의해 결정된다.

$$R_i(t+1) = (1 - \frac{1}{t_c})R_i(t) + \frac{1}{t_c} \times r_i(t) \quad (3)$$

### III. 제안하는 기법

HSDPA 시스템에서는 사용자에게 할당할 채널을 선택하는 스케줄링 기법으로 전송 수율(throughput)을 최대화 시키는 MAX CIR 알고리즘과 공평성(fairness)을 최대화 시키는 라운드 로빈 알고리즘, 그리고 MAX CIR과 비슷한 전송 수율을 나타내면서 공평성을 향상시킨 비례공정 알고리즘이 소개되어 있다. MAX CIR 알고리즘은 전송 수율을 최대화 시키는 반면 기지국에 가까이 있거나 채널 상태가 좋은 사용자만 서비스를 받기 때문에 공평성 문제가 발생한다. 라운드 로빈 알고리즘의 경우 모든 사용자가 공평하게 서비스 받기 때문에 공평성 측면에서 최고의 성능을 보이는 반면 모든 사용자가 요구되는 파워로만 전송을 할 수 있기 때문에 시스템 수율 측면에서는 나쁜 성능을 보인다. MAX CIR의 단점인 공평성 문제와 라운드 로빈 알고리즘의 단점인 낮은 전송 수율 문제를 해결하기 위해 비례공정 알고리즘이 제안되어있다. 성능 비교 결과를 보면 비례공정 알고리즘의 공평성 성능이 MAX CIR 알고리즘에 비해 우수하지만, 채널의 상태가 급격하게 변하거나 사용자 단말기의 위치가 기지국에 빠르게 접근하지 않으면 공평성 성능이 크게 향상되지 않는 단점이 있다.

일반적으로 스케줄러가 사용자에게 채널을 할당할 때 사용자 파라미터를 기준으로 하나의 채널을 한 사용자에게 할당하는 방식을 사용하는 반면, HSDPA 시스템은 최대 15개의 HS-DSCH 채널을 서비스 사용자에게 할당하여 하향 링크에서의 데이터 전송률을 크게 향상시키는 방법을 옵션으로 채택하고 있다. 특정 시간 동안 얼마나 많은 사용자가 서비스를 받을 수 있는가로 공평성을 정의할 때 모든 채널을 한 사용자에게 할당하는 시스템에서는 MAX CIR 알고리즘과 비례공정 알고리즘은 뚜렷한 공평성 차이를 보이지 않는다. 이 문제를 해결하기 위해 스케줄러가 채널을 할당함에 있어서 수신되는 SIR의 등급에 따라 할당하는 채널의 숫자를 다르게 하는 스케줄링 기법을 제안한다. 제안하는 알고리즘의 경우 채널을 할당함에 있어서 사용하는 파라미터는 MAX CIR과 동일하게 수신되는 SIR을 사용한다. 그러나 SIR이 가장 높은 사용자에게 모든 채널을 할당하는 방식과 달리 SIR 등급(level)에 따라 정해진 개수의 채널을 할당하고 남은 채널은 다음으로 높은 SIR을 가지는 사용자에게 할당한다. 그림 1은 제안하는 알고리즘에서 각 타임 슬롯에 사용자가 채널을 할당 하는 방식을 도식화 한 것이다.

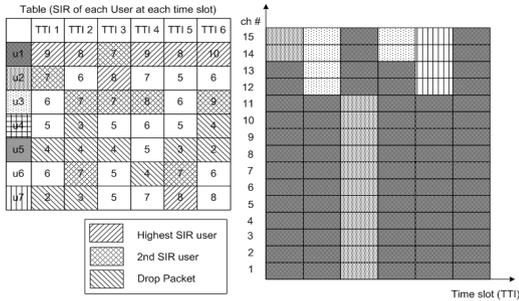


그림 1. 제안하는 알고리즘의 채널할당 방식

CPICH를 통해 기지국에 수신되는 사용자 신호의 SIR 등급을 확인하고 정의된 표에 따라 정해진 개수의 채널을 할당하는데 가장 높은 등급을 가지는 사용자가 최대 개수의 채널을 할당 받고 남은 채널이 존재할 경우 다음 등급의 사용자가 채널을 할당 받게 된다. 여기서의 SIR 등급은 할당 받을 수 있는 채널의 개수를 정의하기 위해 구분한 등급으로 실제 채널을 할당 받는 사용자는 가장 높은 SIR을 가지는 사용자가 된다.

그림 2와 같이 SIR Table은 1에서 4등급까지는 전송할 데이터가 존재하더라도 폐기되고 5에서 10 등급은 각각 다른 개수의 채널을 할당하게 된다. 예를 들어 최대 SIR 등급을 가지는 사용자는 15개의 채널 모두를 할당 받게 되는데 이 경우 더 이상의 채널 할당 없이 다음 타임 슬롯으로 넘어가게 된다. 그렇다고 항상 15개의 채널을 할당 받을 수 있는 것이 아니다. 10등급으로 구분되어있지만 최대 SIR을 가지는 사용자가 10등급으로 정의된 SIR을 가지지 않기 때문에 모든 채널을 할당 받을 수 없고 남은 채널은 다른 사용자에게 할당된다.

Assigned channel # based on Received SIR			
SIR Level	10	15	Assigned Channel Number
	9	13	
	8	11	
	7	9	
	6	7	
	5	5	

그림 2. 수신 SIR 기반의 채널 할당 값

기지국에 수신되는 사용자의 수신 SIR 값에 따라 등급이 정해지고 가장 큰 SIR을 가지는 사용자가 정해진 등급에 따라 채널을 할당 받는다. 이 때 할당 받은 채널 외 추가로 할당 가능한 남은 채널이 존재할 경우 두 번째 사용자에게 채널을 할당하고 더 이상 할당할 채널이 없을 때까지 이 과정을 반복하여

모든 채널을 사용자에게 할당한다. 만약 할당할 채널은 있는데 그 타임 슬롯에 더 이상 서비스를 받을 사용자가 없을 경우 최고 SIR을 가지는 사용자에게 남은 모든 채널을 할당하여 무선 자원 이용률을 증가시킨다.

채널을 할당하기 위해 사용자를 정렬할 때 사용하는 스케줄링 방법은 MAX CIR과 동일하기 때문에 가장 좋은 SIR값을 가지는 사용자가 우선적으로 서비스를 받는다. 이 때 사용자 SIR의 MCS(modulation and coding scheme) 등급에 따라 효율적인 채널 코딩과 변조를 사용할 수 있어서 높은 데이터 전송 수율을 나타낸다. 비록 가장 높은 SIR 값을 가지지만 SIR의 등급이 10등급이 되지 않으면 모든 채널을 할당 받을 수 없기 때문에 사용자의 전송 수율은 최대가 될 수 없다. 그러나 남은 채널 없이 모든 채널을 사용자에게 할당 할 수 있기 때문에 시스템 전체의 전송 수율은 최대가 될 수 있고 남은 채널이 있을 경우 다음 사용자에게 할당해 주기 때문에 모든 채널을 한 명의 사용자에게 할당하는 MAX CIR에 비해 좋은 공평성을 나타낸다. 특히 사용자들의 SIR 값이 낮을 경우에는 MAX CIR에서는 서비스를 받을 수 있지만 제안하는 알고리즘에서는 서비스를 받을 수 없는 사용자도 SIR의 등급을 정의할 때 측정SIR 값의 범위를 확장할 경우, 서비스를 받을 수 있기 때문에 공평성 성능이 향상 될 수 있다.

#### IV. 모의실험 환경

##### 4.1 HSDPA 시스템 환경

HSDPA에서 사용자들이 전송하고자 하는 데이터들은 기지국에서 각 사용자들의 단말로부터 전송되는 되먹임 정보를 바탕으로 전송 변조 방식과 부호율이 달라진다. 사용되는 변조 방식은 QPSK, 16 QAM, 64 QAM이며, 부호율은 1/4, 1/2, 3/4 이다. 이를 바탕으로 전송률이 달라진다. 또한, H-ARQ (hybrid-ARQ) 기법을 사용하여 AMC(adaptive modulation and coding)기법에 따른 전송률로 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 체이스-컴바인(chase combining) 기법을 사용한다. FCS(fast cell selection) 기법은 하향 링크에서 연결할 최적의 셀을 상향 링크의 신호를 통하여 단말기가 선택하는 기법으로 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<sup>[4][5][6]</sup>.

본 논문에서 사용된 HSDPA 시스템의 모델과 그와 관련된 가정은 다음과 같다. 그림 3과 같이 배열된 동일 크기의 육각형 셀 k개 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 홈 셀로 결정한다.

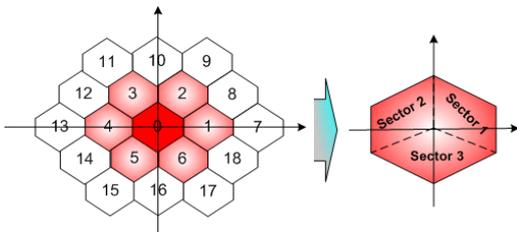


그림 3. 제한하는 알고리즘의 채널할당 방식

표 1. 시뮬레이션 환경

Item	Value
Cell layout	19 cells, 3sectors/cell
User distribution	Uniform
Cell radius	1 [Km]
BS total Tx power	17 [W]
Standard deviation of shadowing	8 [dB]
Correlation between cells	0.5
Correlation between sectors	1.0
Number of paths	12
Hybrid ARQ	Chase combining
Carrier frequency	2 [GHz]
Number of users	Fixed
Pathloss model	128.1 + 37.6log(R)

표 2. 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	1/4	16QAM	4.8 Mbps
6	3/4	16QAM	7.2 Mbps
7	3/4	64QAM	10.8 Mbps

HSDPA 시스템의 시뮬레이션 환경은 3GPP 표준을

바탕으로 수행된다. 셀의 모양은 육각형이며 셀의 반경은 1Km로 3번째 층(tier)까지 총 19개의 기지국을 고려하며, 각 기지국은 3개의 섹터를 가진다. 기지국에서 데이터 전송을 위해 할당하는 전력은 총 셀 전력의 80%이며, 나머지 20%는 정보비트들을 전송하기 위하여 할당된다. 셀 내의 건물 및 지형들의 분포는 섹터별로 동일하다고 가정하므로 섹터들 간의 상관도는 1이며, 셀과 이웃 셀 사이의 상관도는 0.5로 둔다. 이동국들은 셀 내에 균등하게 분포하며, 처음 시뮬레이션이 실행되면 고정된 위치를 가진다. 또한 사용자는 SIR 값이 가장 좋은 셀을 3개 택하여 활성화 상태로 둔다. 표 1은 시스템 환경 파라미터를 나타낸다.

AMC 단계는 총 4개로 고려하였으며 표 3의 MCS 2, MCS 5, MCS 6 그리고 MCS 7을 사용한다. 각 단계의 한계(threshold)는 각각 자신의 신호 대 다른 사용자들의 간섭 비인  $I_0r/I_0c$ 의 값이 3.0, 9.0, 14.0(dB)이다[2]. 이 경우는 비실시간 사용자들의 경우 적용되며 실시간 사용자의 경우 비실시간 사용자의 경우보다 낮은 데이터 율을 가지므로 한계 값을 변경하여 낮은 데이터 율을 표현하였다. 각각의 값은 임의의 값인 6.0, 12.0, 14.0(dB)를 사용하였다.

#### 4.2 전파환경

WCDMA의 개량형 시스템인 HSDPA 시스템의 사용자는 같은 주파수 대역을 사용하여 통신하게 되는데 이것은 다른 사용자에게 간섭으로 작용하기 때문에 HSDPA 시스템에서의 간섭은 WCDMA 시스템과 마찬가지로 중요하게 고려되는 파라미터이다. 기지국은 사용자가 다른 사용자로부터 받는 간섭 신호를 이용하여 사용자 신호세기 대 간섭신호 세기 비율인 SIR(signal to interference ratio)를 채널 상태를 알기 위한 수단으로 사용한다. 여기서의 사용자 신호세기는 서비스를 받는 사용자의 신호 강도를 의미하고 간섭 신호는 서비스 사용자의 신호에게 간섭으로 작용할 수 있는 다른 사용자 단말기의 전력의 합을 의미한다. 시스템에서 K개의 셀을 가지고, 한 셀에 N개의 사용자 단말기가 서비스를 받기 위해 대기하고 있다고 가정하면, 셀 i에서 서비스를 제공받기 원하는 사용자 n의 SIR은 식 (4)와 같이 얻을 수 있다.

$$SIR(i, n) = \frac{P_{in} \cdot H_{in}}{\beta \left( \sum_{m=1}^{N_i} P_{im} \right) H_{in} + \sum_{j=1, j \neq i}^B \left( \sum_{m=1}^{N_j} P_{jm} \cdot H_{jm} \right)} \quad (4)$$

여기서  $N_i$ 는  $i$ 번째 기지국의 총 사용자 수이고,  $B$ 는 시스템 내 기지국 총 수를 의미하며,  $\beta$ 는 하향 링크의 직교 계수이다.  $P_m$ 은 사용자 단말기의 하향 링크 전송 시 송신 전력이고,  $H_m$ 은 사용자 단말기가 기지국과 통신을 할 때 거리에 의한 경로손실(path-loss), 새도잉(shadowing), 다중경로에 의한 페이딩(multi-path fading)과 같은 3가지 요소에 영향을 받는 채널이득을 의미한다.

### 4.3 트래픽 생성 모델

본 논문에서는 실시간 서비스 데이터를 분석한다. 트래픽 생성 모델에 의해 데이터를 생성하는 사용자는 각 섹터에 존재하는 사용자 중 띄어송 분포를 통해 서비스 받을 순간을 정의한 사용자이다. 즉, 모든 사용자가 서비스를 받을 수 있는 것이 아니라 정의된 순간에 데이터를 생성할 수 있다. 실시간 데이터 서비스의 트래픽 생성 모델은 그림 4의 스트리밍(Streaming) 방식이다.

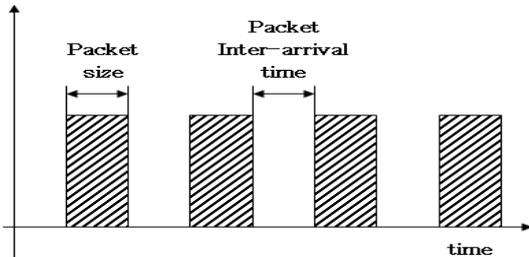


그림 4. 스트리밍(Streaming) 트래픽 모델

표 3. 트래픽 모델 파라미터

Parameter	Distribution	Value
Packet calls size	Pareto with cutoff	$\alpha=1.1, k=4.5\text{Kbytes}, m=2\text{ Mbytes}, \text{Average } 25\text{ Kbytes}$
Reading time	Geometric	Avg. 5s(text) Avg. 0.6s(multimedia)
Packet size	Fixed	12Kbits
Packet call start time	Geometric	Random start
Packet inter-arrival time	Geometric	Average 6ms
Maximum delay time	Fixed	RT 72Frames
		NRT 2000 Frames

모든 패킷 세션은 웹 다운로드나 이와 비슷한 활동으로 표현되는 여러 개의 패킷 호로 구성되어있다. 각각의 패킷 호 크기는 평균이 25Kbyte인 절단된 파레토 분포를 따르는 랜덤변수의 값을 가지고 모델링 되었다.

각각의 패킷 호를 구분하는 읽기시간(reading time)은 평균이 5초인 기하분포를 따르고 사용자가 패킷 호를 다 수신 받았을 경우부터 측정된다. 각각의 패킷 호는 여러 개의 패킷들로 세분화된다. 각 패킷 사이의 시간은 기하분포를 따르는데 이 분포의 평균값은 전송 가능한 최대의 데이터 량을 채널을 통해 최대 전송 속도로 나눈 값이다. 세부 파라미터는 표 3과 같다.

### 4.4. 성능 평가 기준

성능 평가를 위해 서비스 수율(service throughput)과 패킷 호 수율(packet call throughput)을 사용하였고 사용자간의 공평성 측정을 위해 사용자의 패킷 호 수율의 CDF(cumulative density function)값을 사용하였다. 서비스 수율은 하나의 섹터에서 1초의 시간 동안 서비스되는 전송량을 의미한다. 섹터 내의 모든 사용자의 수율을 합친 결과이기 때문에 사용자 수가 증가함에 따라 서비스 수율 역시 증가한다. 서비스 수율은 다음 식에 의해 얻어진다.

$$Service\_throughput = \frac{1}{N_{cells}} \sum_{k=1}^{N_{cells}} Service(k)$$

$$Service(k) = \frac{1}{N_{seconds}} \sum_{i=1}^{N_{seconds}} N_{good\_bits}(i) \quad (5)$$

$Service(k)$ : the number of good bits in k-th sector

$N_{cell}$ : the number of considered cells

$N_{good\_bits}$ : the number of completely received bits

$N_{seconds}$ : seconds interval(for any user)

패킷 호 수율은 서비스된 패킷 호의 첫 번째 패킷이 전송되고 마지막 패킷이 전송될 때까지의 시간차를 이용한 패킷 호의 전송률로 모든 패킷 호에 대해 실제 전송된 시간 동안에 서비스 된 평균 전송률을 나타낸다. 사용자의 수가 증가할수록 전송되는 패킷 호의 패킷 중 서비스를 받지 못하고 폐기되는 비율이 증가하기 때문에 패킷 호 수율은 감소한다. 패킷 호 수율은 식 (6)으로 정의된다.

$$PktCall(k) = \frac{\#bits\ in\ pktcall\ k}{t_{end} - t_{arrival\ k}}$$

$$PacketCall = \frac{\sum_{m=1}^{N_{pktcalls}} PktCall(m)}{N_{PktCalls}} \quad (6)$$

(Averaged using all users' packet calls)

공평성은 모의실험 시간 동안 서비스를 받은 사용자의 패킷 호 수율이 32, 64, 128, 384, 1000 Kbps를 나타낼 때 각 수율의 범위에서의 사용자 비율을 누적한 값으로 나타내고 각 수율에 따른 단계별로 다음과 같이 정의한다.

$$CDF(i) = \frac{\text{Number of user achieving data rate}(i)}{\text{Number of total packet}} \quad (7)$$

## V. 모의실험 시나리오 및 결과

### 5.1 모의실험 시나리오

모의실험에서는 모든 사용자가 트래픽을 가지는 경우에 대해 제안하는 알고리즘의 성능을 MAX CIR 알고리즘 및 비례공정 알고리즘과 비교하였다. CPICH를 통해 측정된 사용자 SIR값을 기준으로 SIR 등급을 지정하는데 각 SIR등급의 실제 측정 SIR 값의 범위에 따라 두 가지 경우로 구분하였다. 경우를 구분하기위한 값으로 계수 (coefficient)를 지정하였는데 ‘coef’ 라는 변수를 사용하며 단위는 dB이다. 예를 들어 coef가 4라면 각 SIR 등급의 실제 SIR 값 차이가 4 dB인 모의실험이라는 의미이다. 계수가 증가한다는 것은 채널을 할당함에 있어 낮은 SIR을 가지는 사용자도 서비스를 받을 수 있는 확률이 증가함을 의미한다.

모의실험에서 4dB와 7dB의 계수 값을 가지는 두 가지 경우에 제안하는 알고리즘을 기존 알고리즘과 비교한다. 여기서 사용되는 SIR 등급은 그림 5와 같다. 계수 값이 증가함에 따라 채널을 할당 받을 수 있는 최소 SIR 값이 낮아지게 된다. 그러므로 전송할 데이터는 가지고 있지만 SIR이 낮아서 서비스를 받지 못하던 사용자들도 서비스를 받을 수 있게 된다.

Proposed coef = 4			Proposed coef = 7		
Level	SIR Range	SIR[dB]	Level	SIR Range	SIR[dB]
10	4	Over 35	10	7	Over 35
9	4	31-34	9	7	28-34
8	4	27-30	8	7	21-27
7	4	23-26	7	7	14-20
6	4	19-22	6	7	7-13
5	4	15-18	5	7	0-6
4	0	Below 15	4	0	Below 0
3					
2					
1					

그림 5. ‘coef’의 값에 따른 SIR등급과 SIR값 테이블

그림 6은 그림 5의 계수에 따라 사용자의 SIR값에

따른 채널할당 정도를 보여주는 예시이다. 그림 6의 예제 1과 예제 2는 동일한 SIR 값을 가지는 경우 변수 ‘coef’값에 따라 많은 사용자가 할당 받을 수 있고 그에 따라 공평성이 증가한다는 것을 예측할 수 있다는 것을 보여준다.

Example 1					
User # with data	SIR	Proposed coef = 4		Proposed coef = 7	
		Level	# of channel	Level	# of channel
1	15.5	5	5 + 10	7	9
2	10.3	Drop		6	6
3	3.2	Drop		Drop	
		...			
n	-2.1	Drop		Drop	

Example 2					
User # with data	SIR	Proposed coef = 4		Proposed coef = 7	
		Level	# of channel	Level	# of channel
1	10.8	Drop	0 + 15	6	6
2	10.3	Drop		6	6
3	3.2	Drop		5	3
		...			
n	-2.1	Drop		Drop	

그림 6. ‘coef’에 따른 공평성 비교 예제

### 5.2 모의실험 결과

모의실험에서는 모든 사용자가 실시간 데이터라고 가정하고 제안하는 알고리즘을 기존 알고리즘인 MAX CIR 알고리즘 및 비례공정 알고리즘과 비교한다. 이때 최대 사용자 수를 달리하여 이미 언급된 ‘coef’의 값에 따른 시스템의 서비스 수율, 패킷 호 수율, 공평성 및 패킷 손실률을 기존 알고리즘과 비교하여 결과를 확인한다. 각 섹터의 최대 사용자 수는 12, 37, 56, 75, 100, 200, 300, 400, 500 명으로 설정하여 모의실험을 한다.

#### 5.2.1 서비스 수율 성능비교

서비스 수율은 1초 동안 섹터에서 서비스 되는 모든 사용자의 비트의 양으로 정의되는데 섹터에 전체 사용자의 수에 따라 100명 이하인 경우와 100명 이상인 경우로 나누어 결과를 비교하였다. 일반적으로 서비스 사용자 수가 100명 이상이 될 경우 서비스 받으려고 요구하는 사용자가 많아지기 때문에 섹터 내에서 전송되는 비트 수를 나타내는 서비스 수율은 증가하며 사용자 수에 따라 전송 수율의 차이가 크게 나타난다. 반면 100명 이하인 경우 서비스를 요구하는 사용자 수가 적기 때문에 알고리즘의 영향을 받지 않고 비슷한 결과를 나타낸다.

그림 7과 그림 8은 서비스 수율을 나타내는데 전체 사용자의 수에 따른 전송 수율을 나타낸다. 전체

사용자 수가 100명 이하인 경우 서비스를 원하는 사용자 수가 전체 사용자 수에 비해 낮기 때문에 서비스를 원할 경우 모두 서비스를 받을 수 있기 때문에 알고리즘에 따른 수율 차이가 나타나지 않는다. 반면 100명 이상의 사용자가 존재할 경우 서비스를 원하는 사용자 수는 증가하는 반면 서비스를 받을 수 있는 사용자 수는 한정되어있기 때문에 알고리즘에 따라 차이가 나타난다. 제안하는 알고리즘의 경우 MAX CIR 알고리즘과 거의 동일한 수율을 나타내고 비례공정 알고리즘에 비해 높은 수율을 나타냄을 알 수 있다. 특히 제안하는 알고리즘의 경우 'coef'값에 따라 차이가 나타나는데 'coef'가 클 경우 나쁜 채널 상태의 사용자도 서비스를 받을 수 있지만 이 경우 MCS에 의해 낮은 전송률을 할당 받기 때문에 낮은 수율을 나타낸다. 때문에 낮은 'coef'값을 가지는 알고리즘의 경우 MAX CIR 알고리즘의 결과에 근접한 높은 수율을 나타낸다.

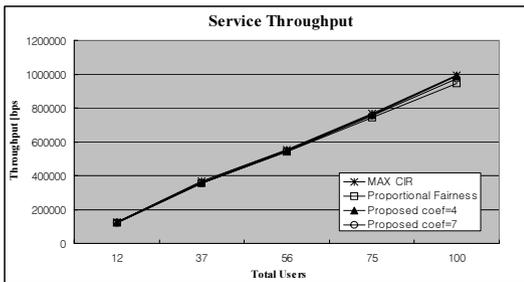


그림 7. 100명 이하에서 사용자의 서비스 수율 비교

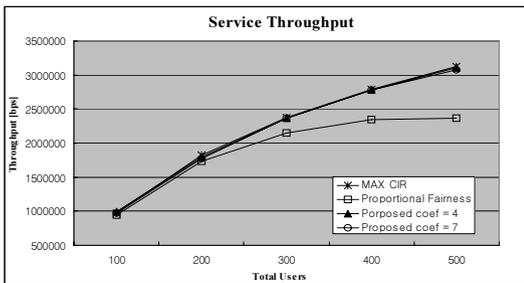


그림 8. 100명 이상에서 사용자의 서비스 수율 비교

### 5.2.2 패킷 호 수율 성능비교

그림 9와 그림 10은 실시간 사용자 환경에서 전체 사용자 수에 따른 패킷 호 수율을 비교한 결과이다. 패킷 호 수율은 서비스 된 패킷 호의 평균 전송률을 나타내는데 사용자 수가 증가할수록 패킷 호의 패킷의 손실률이 증가하기 때문에 패킷 호 수율이 감소하는 결과를 나타낸다. 특히, 100명 이하의 사용자의

경우 서비스를 요구 사용자가 적기 때문에 알고리즘에 따른 성능 차이가 적게 나타나지만 서비스 수율에 비해 확연하게 구분할 수 있을 정도로 나타난다. 100명 이상의 경우 사용자 수가 증가함에 따라 알고리즘 별 차이가 두드러지게 나타나는데 제안하는 알고리즘 중 'coef'가 4인 경우 MAX CIR 알고리즘에 비해 약간 낮은 성능을 나타내고 비례공정 알고리즘에 비해 높은 성능을 보인다.

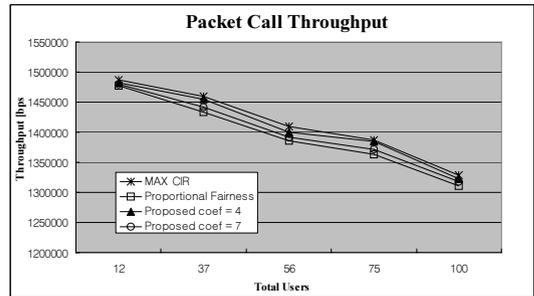


그림 9. 100명 이하에서 사용자 패킷 호 수율 비교

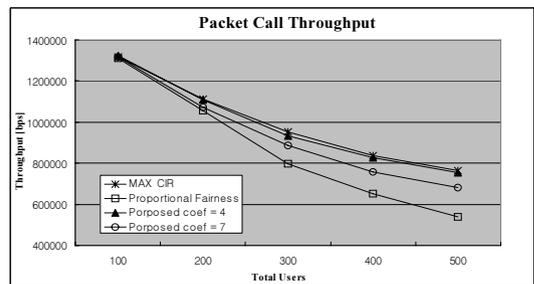


그림 10. 100명 이상에서 사용자 패킷 호 수율 비교

### 5.2.3 공평성 성능비교

그림 11은 사용자가 전송을 요구하는 환경에서 제

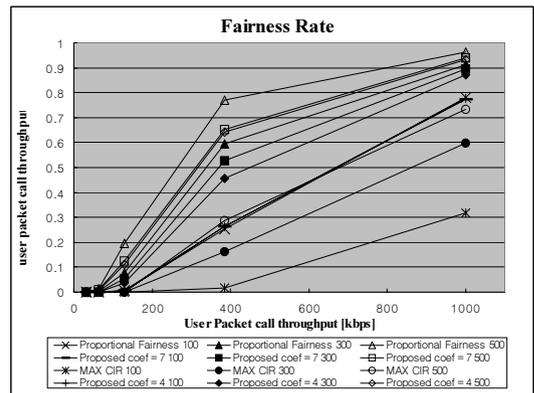


그림 11. 사용자 수에 따른 공평성 비교

안하는 알고리즘과 기존의 알고리즘의 공평성을 비교한 것이다. 여기에서의 공평성은 실제로 데이터를 전송하여 서비스를 받는 시간 동안의 수율을 나타내는 패킷 호 수율을 이용한 것으로 서비스를 받은 사용자의 패킷 호 수율이 32k, 64k, 128k, 384k, 1Mbps 이하를 가지는 사용자의 누적 비율을 나타낸다. 예를 들어 64k bps까지의 사용자 패킷 호 수율을 가지는 사용자 비율이 0.3일 경우 그 이상이 되는 사용자의 비율이 0.7이다. 이 때 제안하는 알고리즘과 기존 알고리즘간의 비율을 비교함으로써 채널의 할당 비율을 알고 이를 통해 공평성을 비교할 수 있다.

그림 11을 보면 MAX CIR 알고리즘은 1Mbps 이상의 사용자 패킷 호 수율에서 가장 높은 비율을 나타내고 있는데 이것은 채널 상태가 좋은 사용자가 높은 전송속도로 우선적으로 서비스를 받기 때문에 나타나는 결과이다. 제안하는 알고리즘의 경우 1Mbps의 패킷 호 수율을 나타내는 경우가 MAX CIR에 비해 낮지만 비례공정 알고리즘에 비해 높으며 1Mbps 이하의 서비스율에서도 MAX CIR과 비례공정 알고리즘의 중간에 위치하여 전송률의 분배가 MAX CIR에 비해 우수하다는 것을 보여준다. 또한 제안하는 알고리즘의 경우 'coef'에 따른 공평성 차이가 크게 나타나지 않는다. 제안하는 알고리즘의 사용자 선택 기준이 MAX CIR과 동일하기 때문에 나타나는 결과이다.

5.2.4 패킷 손실률 성능비교

그림 12는 사용자 수에 따른 패킷 손실률을 나타낸다. 사용자 수가 증가함에 따라 서비스를 받지 못하는 사용자 또한 증가하게 되고 특히 실시간 서비스의 경우 한계선(deadline)에 의해 폐기되는 패킷 또한 증가한다. 채널 환경이 좋지 않은 경우 채널을 통해 전송되는 중 손실되는 패킷의 양 또한 증가하게 된다.

제안하는 알고리즘의 경우 MAX CIR 알고리즘과 동일한 성능의 패킷 손실률을 나타내지만 비례공정 알고리즘에 비해 우수한 손실률을 나타낸다. 이것은 나쁜 채널 상태에서도 채널상태의 향상에 따라 서비스 받을 기회가 높아지는 비례공정 알고리즘의 경우 패킷 손실률이 높다는 것을 나타낸다. 제안하는 알고리즘의 경우 MAX CIR 알고리즘과 동일한 성능의 패킷 손실률을 나타내지만 비례공정 알고리즘에 비해 낮은 손실률을 나타낸다. 이것은 나쁜 채널 상태에서도 채널 상태의 향상에 따라 서비스 받을 기회가 높아지는 비례공정 알고리즘의 경우 패킷 손실률이

높다는 것을 나타낸다.

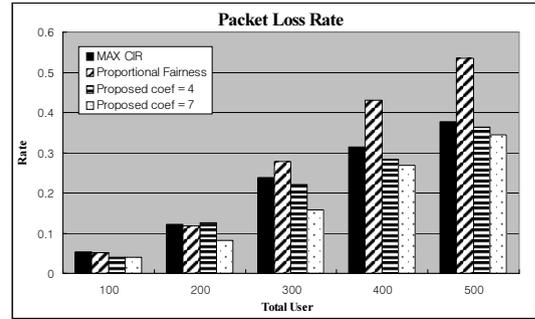


그림 12. 사용자 수에 따른 패킷 손실률 비교

VI. 결론

본 논문은 한정된 무선자원을 효율적으로 사용자에게 배분하여 시스템 성능을 향상 시키는 무선자원 관리 기법 중 패킷 스케줄링 기법으로 높은 전송 수율을 내면서도 향상된 공평성을 보장하는 알고리즘을 제안한다.

제안되는 알고리즘은 실시간 환경에서 HSDPA 시스템에서 제안한 패킷 스케줄링 기법인 시스템 전송 속도를 최대로 하는 MAX CIR 알고리즘, 공평성을 최대로 하는 라운드 로빈 알고리즘, 그리고 MAX CIR 알고리즘과 라운드 로빈 알고리즘의 단점을 보완하기 위한 비례공정 알고리즘과 서비스 수율, 패킷 호 수율 및 공평성 성능을 비교한다.

제안하는 알고리즘은 할당하는 채널의 개수를 기지국에 수신된 SIR값에 매겨진 등급에 따라 다르게 할당하고 남은 채널을 다른 사용자에게 할당하여 전송 수율이 높으면서도 보다 많은 사용자에게 서비스를 하여 공평성도 향상시키는 기법이다. 실시간 데이터 환경일 때 전송 수율 및 공평성의 비율을 비교하여 분석하였다. 기존의 알고리즘인 MAX CIR과 유사한 전송 수율을 나타내고 MAX CIR에 비해 높은 공평성을 보여준다.

참고 문헌

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

- [2] 3GPP, 3G TR 25.848, "Physicla Layer Aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access."
- [3] Airlink Overview, 1x Evolution IS-856 ITA/EIA Standard, available from [http://www.cdg.org/technology/3g/resource/1xEV\\_AirlinkOverview\\_110701.pdf](http://www.cdg.org/technology/3g/resource/1xEV_AirlinkOverview_110701.pdf)
- [4] 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, PACRIM2003, vol.2, pp.935 - 938, Aug. 2003
- [5] 최호규, "IMT-2000 고속 패킷데이터 전송시스템 (1xEV-DV, HSDPA)", 한국정보통신기술협회, TTA저널, 제 82호, pp. 80-90, Aug. 2002
- [6] Harri Holma, Antti Toskala, WCDMA for UMTS, John Wiley & Sons, LTD, 2002
- [7] 손주희, 이승환, 박세권, 박용완, 강찬구, 이세정, 이성재, "HSDPA 시스템에서 성능 향상을 위해 강화된 FCS(fast cell selection) 기법을 사용한 멀티서비스 환경에서의 패킷 스케줄링", 2005년도 추계종합학술대회, vol. 32, pp. 101, Nov. 2005
- [8] 손주희, 박세권, 박용완, 이경락, 장재성, 문순주, "HSDPA 시스템에서 요금 기반의 패킷 스케줄링 알고리즘에 관한 연구". 한국통신학회, 한국통신학회논문지, 제 31권, 제 3C호, pp. 219-227, Mar. 2006

**이 승 환** (Seung-hwan Lee)

준회원



2005년 2월 영남대학교 정보통신공학과 졸업  
2007년 2월 영남대학교 정보통신공학과 석사  
<관심분야> 이동통신, 통신공학, HSDPA

**김 성 원** (Sung won Kim)

정회원



1990년 2월 서울대학교 제어계측공학과 졸업  
1992년 2월 서울대학교 제어계측공학과 석사  
2002년 8월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사  
2005년 2월~현재 영남대학교 정

보통신공학전공 교수  
<관심분야> Wireless networks, Mobile networks, Embedded system

**박 용 완** (Yong Wan Park)

정회원



1984년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업  
1989년 2월 뉴욕주립대학교 전자 및 전자공학 석사  
1992년 6월 뉴욕주립대학교 전자 및 전자공학 박사  
1996년 9월 영남대학교 정보통신

공학전공 교수  
<관심분야> 이동통신, 무선통신, LBS