

## NS-2 를 이용한 HSDPA 패킷 스케줄링 알고리즘 성능 측정\*

김정택<sup>1</sup>, 한찬규, 최형기

<sup>1</sup>성균관대학교 정보통신공학부 H.I.T. 연구실

[jtKim@hit.skku.edu](mailto:jtKim@hit.skku.edu), [ckhan@hit.skku.edu](mailto:ckhan@hit.skku.edu), [hkchoi@hit.skku.edu](mailto:hkchoi@hit.skku.edu)

## Performance of HSDPA Packet Scheduling Algorithms with NS-2

Jung-Taek Kim<sup>1</sup>, Chan-Kyu Han, Hyung-Ki Choi

<sup>1</sup>H.I.T. Lab, School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

### 요 약

UMTS release 5 에서 소개된 HSDPA 를 위해 도입된 새로운 기술 Adaptive Modulation and Coding, Hybrid Automatic Repeat reQuest, Fast Packet Scheduling 에 대해 알아보고 여기서 key role 이 되는 Fast Packet Scheduling 알고리즘 가운데 대표적인 세 가지 Round Robin(RR), Promotional Fairness(PF), Maximum Channel Quality Index(Max CQI) 알고리즘의 성능을 시스템 수율 과 공평성의 관점에서 분석해보았다. 시스템 수율에서는 Max CQI, PF, RR 알고리즘 순이었으며 공평성 측면에서는 RR, PF, Max CQI 알고리즘 순으로 나타났다. 같은 시스템, 같은 망 구조 내에서라면 알고리즘을 최적화 하여 QoS 와 성능을 극대화할 수 있도록 지속적인 연구가 필요하다.

### 1. 서 론

오늘 날의 이동통신기술은 1980년대 초, 첫 이동 전화기의 소개와 함께 시작되었다. 아날로그 인터페이스를 기반으로 한 이 시스템은 음성 서비스만을 제공하였다. 이러한 기술은 현재에도 부분적으로 사용되고 있으나 좁은 대역폭과 낮은 품질에 그 한계를 드러냈다. 셀룰러 폰에 대한 높은 수요와 품질 및 기능 개선의 필요성이 증가함에 따라 the second generation (2G) 이 발표되었다. 2G 는 음성 서비스에 중점을 두었지만 1.25 MHz 의 대역폭으로 제한적이거나 데이터 서비스를 제공하였다. 이어서 개발된 the third generation (3G) 은 시스템의 효율성, 서비스 품질 등에서 한 단계 발전한 모습을 갖추게 되었다. 3G 시스템[1]은 최대 2Mbps 의 전송률로 음성 서비스, 메시징, 인터넷과 같은 다양한 서비스를 제공한다. 하지만 사용자들의 멀티미디어 서비스에 대한 요구는 더욱 커져만 갔고 2Mbps 의 속도로는 이를 만족시키기 어려웠다. 특히 멀티미디어 서비스를 위해서는 downlink 에 대한 속도 개선이 중요했다. 이를 위해 개발된 것이 바로 High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)[2] 기술이

다. HSDPA 는 최대 14Mbps의 전송 속도를 제공하며 이는 기존의 3G WCDMA 시스템과 비교했을 때 약 7배 빠른 속도이다. HSDPA에서는 High Speed Downlink Shared Channel 이라 불리는 data channel 에 접속한 사용자간에 시분할 기법을 적용하여 고속의 패킷 전송이 가능하도록 하였다. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) 에 이미 downlink shared channel 은 포함되어 있었지만 더 높은 시스템 수율과 효율적인 자원 관리를 위해 HSDPA 에는 새로운 기술들이 도입되었다. 이러한 기술들 중에서도 Fast Packet Scheduling 은 중요한 역할을 한다. 어떤 알고리즘을 적용하느냐에 따라 무선 자원 할당 방식이 달라지기 때문에 사용자의 QoS 와 시스템의 전체적인 성능을 좌우 할 수 있기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 대표적 알고리즘인 Round Robin (RR), Promotional Fairness (PF), Maximum Channel Quality Index (Max CQI) 를 공개 소스 형태의 네트워크 시뮬레이션 툴인 NS-2 를 이용해 시뮬레이션하고 그 성능을 시스템 수율과 공평성 측면에서 분석해보고자 한다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 NS-2 를 이용한 HSDPA 기능 구현 및 시뮬레이션

Zhao Haichuan등은 참고 문헌[3]에서 NS-2 를 이용해 HSDPA 의 HS-DSCH 에서 전력소모에 대해 연구하였고

\* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음

NS-2 (EURANE) 를 이용한 시뮬레이션 모델과 구현에 대해 기술하고 있다.

### 2.2 HSDPA 엔드유저 성능 측면에서 바라본 단일 셀 시스템 상에서의 비실시간 서비스를 위한 다중 동시 접속의 영향

Jose Luis Pradas Adan은 참고 문헌[4]에서 HSDPA 를 기반으로한 비실시간 서비스에 대해 사용자 수에 따른 시스템 수율을 측정하였으며 전반적인 HSDPA 시스템의 구조와 시뮬레이션 방법 등에 대해 소개하고 있다.

## 3. 고속하향패킷접속 (HSDPA)

기존의 WCDMA 의 2Mbps 라는 속도로는 사용자들의 요구를 충족시키기 어려웠다. 멀티미디어 서비스를 효과적으로 지원하려면 충분한 전송속도를 지원해야했고 이를 개선하기 위해 HSDPA 에서는 크게 다섯 가지의 새로운 기술이 도입되었다.

### 3.1 HSDPA를 지원하는 새로운 채널

HSDPA 를 지원하기 위해서는 두 개의 논리 채널과 두 개의 물리 채널이 필요하다. 전달 계층에서의 논리 채널은 물리 계층에서 물리 채널로 매핑된다. 먼저 논리 채널로는

- High Speed Downlink Shared Channel (HS-DSCH)
- High Speed Shared Control Channel (HS-SCCH)

의 두 채널이 포함된다. HS-DSCH 는 Node-B 의 MAC-hs 에 위치하며 데이터 전송을 위한 논리적 전송 메커니즘을 제공한다. HS-SCCH 는 타이밍 정보와 코드 정보를 단말기에 제공하여 HS-DSCH 에 대한 적절한 복조를 수행 할 수 있도록 한다. 물리 채널로는

- High Speed Physical Downlink Shared Channel (HS-PDSCH)
- High Speed Dedicated Physical Control Channel (HS-DPCCH)

의 두 채널이 있다. HS-PDSCH 는 HS-DSCH 를 전송하기 위한 메커니즘이다. 반면 HS-DPCCH 는 해당 채널 상황에 적합한 변조와 부호화 정보를 피드백하는데 사용하는 상향 채널이다.

### 3.2 적응 변조 및 코딩 (AMC)

기존의 대표적인 링크 적응 기법이 전력 제어를 기반으로 한다면 HSDPA 에서는 전파 상태에 따라 변조 기법과 채널코딩 기법을 동적으로 변화시키기 위한 방법으로 AMC 가 도입되었다. 전력 제어 기법은 무선 링크에 따라 전력을 제어하여 전송 품질을 유지시키는 방법으로 음성과 같이 고정된 전송률 상황에서 링크의 품질을 보장하기 위한 시스템에 효율적인 방식이다. 반면, 멀티미디어 데이터는 서비스 종류에 따라 다양한 전송률, 다양한 전송 품질 등을 요구하므로 기존의 음성 위주 서비스 제공과는 다른 개념의 기법이 요구되었고 이를 위해 연구 개발된 것이 바로 AMC 기법이다. 전력 제어의 경우 일정한 신호 비율을 얻기 위해 전송 전력을 채널에 따라 변화시킨다면 AMC 는 채널의 특성에 따라 적절한 전송률을 결정하여 전송하므로 기본적으로 전송 전력은 고정된다. 전송률은 Modulation and Coding Selection (MCS) 레벨에 의해 결정되는데, MCS 는 미리 정의된 변조 및 채널 코딩 조합에 대한 레벨이다. HSDPA 에서는 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK), 16 Qadrature Amplitude modulation (QAM) 의 두 가지 변조 방식과 코드율 1/3 인 Turbo Code 를 효율적으로 처리하여 다양한 MCS 레벨을 지원한다. MCS 레벨은 수신 Signal to Interface Ration (SIR) 에 따라 결정되는데, SIR 에 따라 가장 높은 효율을 보이는 레벨이 선택되게 된다. AMC 의 지원을 위해서는 단말의 수신 SIR 에 대한 정보를 기지국이 알고 있어야 하며, 단말의 수신 품질을 송신 측에 전달하기 위해 Channel Quality Indicator (CQI)라는 인덱스를 사용한다.

### 3.3 하이브리드 자동 재송 요구 (HARQ)

Automatic Repeat reQuest (ARQ) 는 수신 기지국이 데이터 패킷 수신에 대한 메시지(ACK, NAK)를 송신측에 보내는 방법을 뜻한다. 기지국은 checksum을 비교하여 패킷이 정확하게 수신되었는지를 판단하고 일치할 경우 ACK, 일치하지 않을 경우 NAK 을 전송하게된다. NAK 을 받은 기지국은 재전송을 하게 된다. ARQ 는 높은 시스템 신뢰도를 보장하고 낮은 redundancy 로 효율적인 전송이 가능하지만 채널 상황이 나빠질 경우 많은 시스템 재전송 요청으로 인해 시스템을 마비시킬 위험이 있다. 이를 극복하기 위해 Forward Error Correction (FEC) 와 ARQ 를 적절히 조합한 것이 바로 HARQ 이다. 재전송에 대하여 HARQ 기법은 다음과 같은 몇 가지 기법이 있다[5].

### 3.3.1 Type-I HARQ 스키마

수신측은 오류가 있는 패킷을 폐기하고 재전송 요청을 하면 송신측은 처음 전송 시와 같은 패킷을 송신한다. 이는 패킷을 폐기시킴으로써 시스템의 신뢰도 향상과 FEC 를 통한 성능 향상을 얻을 수 있다.

### 3.3.2 Type-I HARQ 스키마 (Chase Combining)

오류가 있는 패킷을 폐기하는 대신 재전송 받은 패킷과 결합하는 방향으로 이용하는 기법이다. 여러 패킷을 결합함으로써 결과적으로 신호전력을 높여주는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다.

### 3.3.3 Type-II HARQ 스키마 (Incremental redundancy)

불필요하게 높은 redundancy 의 부호를 전송하게 되는 경우를 방지하기 위한 기법으로 Type-I 의 Chase Combining 기법과 유사하나 이와는 달리 재전송 할 때마다 추가적인 redundant 정보를 패킷에 추가하여 에러율을 낮추는 기법이다.

## 3.4 고속 분산 매체 접근 제어 계층 (MAC-hs layer)

UMTS release 99 에서 release 5 로 발전되면서 중요한 기능들이 Node-B 로 이동했다. Medium Access Control-high speed (MAC-hs) 라고 불리는 새로운 sub-layer 가 Node-B 의 MAC layer 에 추가되었다. MAC-hs 는 흐름 제어, HS-DSCH 자원 분배, HARQ , AMC 메카니즘의 실행 및 구현, 적절한 전송 포맷의 선택 등을 담당한다. RNC 가 담당하던 이러한 기능들이 Node-B 의 MAC-hs layer 로 옮겨온 가장 큰 이유는 HARQ 과정에서의 재전송에 따른 지연 시간 단축을 위해서이다. 기존에 RNC 와 재전송 처리를 하던 것에 비해 무선 인터페이스와 가까운 곳에 위치하는 Node-B에서 재전송 과정을 담당하면서 신속한 처리가 가능하기 때문이다. 뿐만 아니라 적절한 변조 및 코딩 기법의 선택과 스케줄링을 결정하는 요소인 전파 상태를 신속하게 얻기 위해서이기도 하다[6].

## 3.5 고속 패킷 스케줄링

HSDPA 의 중요한 기능 중 하나가 바로 패킷 스케줄링이

다. 패킷 스케줄링 은 사용자의 QoS 를 만족함과 동시에 시스템 수율을 극대화 하는 것이 목적으로 대표적으로 세 가지 알고리즘이 존재한다. Round Robin (RR) 스케줄러는 HSDPA 사용자들이 현재의 채널 상태와 상관없이 같은 확률로 스케줄 되는 방식이다. Maximum Channel Quality Index (Max CQI) 스케줄러 는 HSDPA 의 셀 수율을 최대화하는 것을 목적으로 설계된 것으로, 이 방식에서는 채널 상태가 좋은 사용자들 일부가 자원을 독점하는 방식으로서 셀 끝부분에 있는 사용자들은 제대로 된 서비스를 받지 못하는 단점이 있다. 따라서, 전체 사용자들 간에 좀 더 공정한 자원 배분을 위하여 Proportional Fair (PF) 알고리즘이 자주 고려된다. PF 알고리즘은 사용자들 사이의 자원 배분의 공정성과 도달 가능한 HSDPA 셀 수율 사이에 적절한 trade-off 를 제공함으로써 상당한 커버리지 증대 효과를 제공하게 된다. 이러한 관계는 셀 내 각각 통화자들은 각자의 전파 상태가 빠르게 변화하고 있을 때, 전파 상태가 좋을 때 즉 페이딩의 꼭대기에서 스케줄 이 되어 자원을 할당받게 된다고 할 수 있다. 즉 자신의 평균적인 전파 상태 보다 지금의 전파 상태가 더 좋은 순간에 바로 서비스를 받을 수 있다. 한편, 어떤 사용자가 자원을 아주 적게 할당받았다면 시간이 지남에 따라 이 사용자의 우선순위가 높아지게 되어 있다. 이 알고리즘에 대한 자세한 내용은 참고 문헌[7]에 자세히 연구되어 있다.

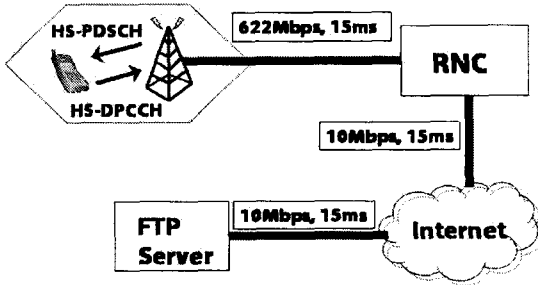
## 4. NS-2(EURANE) 를 이용한 시뮬레이션

이미 소개했던 세 가지 스케줄링 기법 RR, Max CQI, PF 에 대해서 수율과 공정성 측면에서 어떠한 성능을 내는지 알아보기 위해 오픈 소스 시뮬레이션 툴인 NS-2 를 이용해 시뮬레이션 한다. NS-2 는 기본적으로 여러 가지 topology 와 protocol 을 제공하지만 UMTS 와 HSDPA 는 지원하지 않는다. 따라서 이를 위해 확장형 코드인 Enhanced UMTS Radio Access Network Extension (EURANE)을 설치해야한다. 뿐만 아니라 PF 알고리즘을 위해 NS-2 코드 일부(hsdpalink.h 와 hsdpalink.cc)를 수정해야한다. hsdpalink.h 코드 내에는 스케줄링 기법을 선택할 수 있도록 선언되어있다.

*Mac/HSDPA set scheduler\_type\_i (i = 1, 2, 3)*

여기서 1번은 RR, 2번은 Max CQI, 3번은 Fair Channel Dependent Scheduling (FCDS) 을 의미한다. 따라서 추가로 4번에 PF 알고리즘을 선택할 수 있도록 하고 hsdpalink.cc 에서 스케줄링 부분에 실제 알고리즘을 구현하도록하였다. NS-2 와 EURANE 에 대한 설명은 참고 문헌[8][9]에 자세하게 기록되어 있다.

4.1 시뮬레이션 모델



<그림 1. 시뮬레이션 모델>

시뮬레이션 환경은 아래 <그림 1>과 같다. 사용자는 셀 내부에 위치한 Node-B 와 HS-PDSCH 채널과 HS-DPCCH 채널을 통해 연결된다. Node-B 는 RNC 와 622Mbps 의 대역폭, 15ms delay 의 duplex link 를 통해 연결되고 RNC 는 대역폭 10Mbps 로 인터넷과 연결된다. 또한 FTP server 는 10Mbps 의 대역폭, 15ms delay 를 갖는 duplex link 를 통해 연결된다.

시뮬레이션은 ITU (International Telecommunication Union) 에서 권고되었던[10] 보행중인 사용자와 이동중인 사용자에 대해 위 세 가지 알고리즘의 성능 비교를 수행하도록 한다.

4.2 성능 평가 요소

세 가지 알고리즘에 대한 성능 평가 요소는 시스템 수율과 공평성을 중점으로 한다. 시스템 수율은 사용자들이 수신에 성공한 데이터를 bytes 단위로 계산하여 그 평균을 통해 측정한다. 공평성은 사용자들의 평균적인 데이터 수신율을 고려하여 각 알고리즘에 따른 데이터 수신율의 차이를 통해 비교 평가하도록 한다.

4.3 시뮬레이션 파라미터

시뮬레이션 파라미터 세팅은 다음 표와 같다.

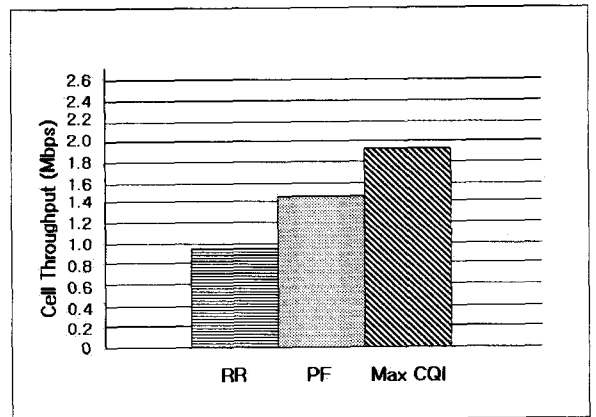
<표 1. Simulation parameter>

Parameter	Value
총 시뮬레이션 시간	200s
시뮬레이션 된 트래픽	FTP session
사용자별 FTP session 수	1
보행자 A 의 이동 속도	3 Km/h
이동수단 A 의 이동 속도	50 Km/h
Cell diameter for Pedestrian A	250 m
Cell diameter for Vehicle A	1000 m
기지국 전송 전력	38 dBm
1Km 당 데이터 손실율	1.374e02
HARQ 반복 주기	6
TTI in CQI	3
Minimum CQI	0
Maximum CQI	30
기지국 버퍼 크기	30 Mbps
HS-DSCH codes	10

4.4 시뮬레이션 결과 분석

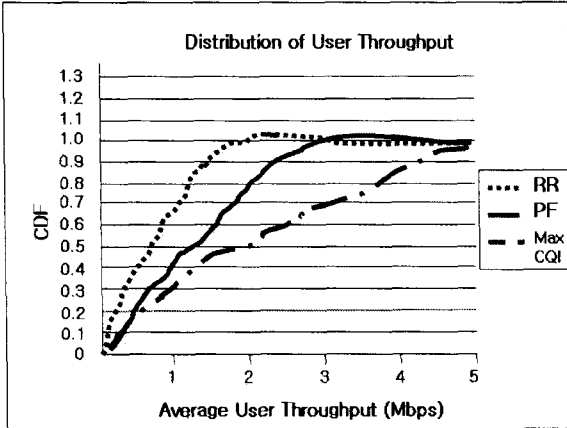
시뮬레이션은 두 가지 Case 로 진행하도록 한다. 이미 언급한 바와 같이 사용자가 보행 중일 경우와 이동 수단을 타고 일정 속도로 이동 중인 경우를 고려하도록 한다. 사용자의 20 명의 수율을 평균치로 환산하여 각 알고리즘별로 그래프 모양으로 나타내었다.

4.4.1 Case 1: 보행자 A



<그림 2. Case 1에서의 알고리즘별 셀 수율>

<그림 2>에서 20명의 사용자에게 대한 세 가지 알고리즘의 셀 수율을 보여주고 있다. 위 그림에서 나타나듯이 셀 수율은 Max CQI 알고리즘을 적용했을 때 2.097 Mbps로 가장 높은 수치를 보였고 RR 은 948 Kbps로 절반 정도에 해당하는 수치를 보였다. 이러한 결과가 나온 이유는 전송 시의 채널 상태와 전송률이 영향을 미친 것이라고 볼 수 있다. Max CQI의 경우 CQI 값이 가장 좋은 사용자에게 자원을 할당하고 Node-B 는 그만큼 높은 전송률로 데이터를 전송하는 것이 가능하기 때문에 전체적인 수율이 높아지게 되는 것이다. PF 알고리즘의 경우 1.44Mbps 로 Max CQI 와 RR 의 중간 정도의 수치가 나왔다. PF 는 CQI 뿐만 아니라 평균적인 수율도 고려를 하기 때문에 이와 같은 결과가 나왔다고 할 수 있다.

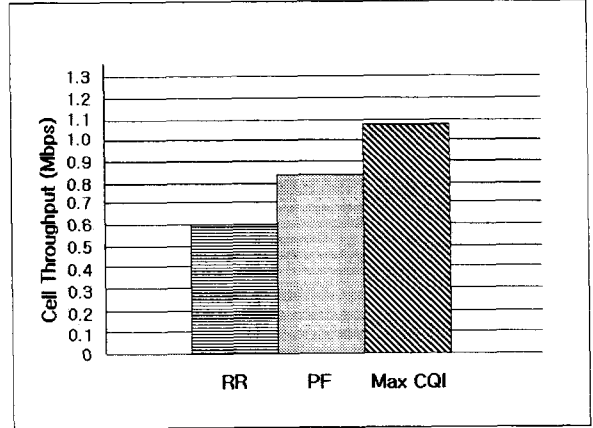


<그림 3. Case 1에서 알고리즘별 평균 수율에 대한 CDF>

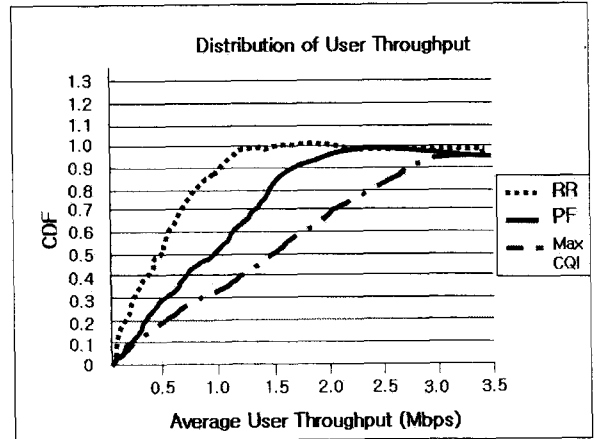
<그림 3>은 같은 환경 하에서 각 알고리즘별 공평성을 보여주는 CDF(Cumulative Density Function)이다. 그림에서 각 그래프의 기울기가 알고리즘의 공평성을 나타낸다. 기울기가 완만할수록 사용자에게 분산이 잘 되어있는 것이므로 경사가 제일 완만한 RR, PF, Max CQI 순으로 공평하다는 것을 알 수 있다.

4.4.2 Case 2: 이동수단 A

<그림 4>는 Case 1 의 경우와 마찬가지로 알고리즘별 셀 수율을 보여준다. parameter 값이 몇 가지(셀 크기, 이동 속도) 다르기는 하나 결과적인 측면에서는 크게 차이는 없었다. RR이 606.4 Kbps, PF가 848.8 Kbps, Max CQI가 1173.5 Kbps로 셀 수율은 Case 1 의 경우와 같은 순서를 보였다.



<그림 4. Case 2에서의 알고리즘별 셀 수율>



<그림 5. Case 2에서 알고리즘별 평균 수율에 대한 CDF>

<그림 5>에서는 알고리즘별 공평성을 보여주고 있는데 사용자별 수율은 낮은 결과를 보이지만 전체적인 결과는 Case 1 과 마찬가지로 RR, PF, Max CQI 의 순으로 나타났다.

5. 결론

UMTS 의 목적은 효율적인 멀티미디어 서비스를 지원하기 위함이 가장 크다. 물론 하드웨어적인 성능향상이나 기반 시스템의 확장 등을 통해서 사용자 QoS 를 만족시켜주는 것도 가능하다. 하지만 더 좋은 하드웨어나 시스템이 개발되면 될수록 사용자들의 서비스에 대한 기대치는 높아지게 될 것이다. 같은 하드웨어, 같은 시스템 상에서 더 좋은 성능을 내는

것은 어떻게 더 효율적으로 최적화 하느냐에 달려있다. release 99 를 거쳐 release 5, 6, 7 까지 지속적으로 연구 개발되어 온 결과 현재 14.4 Mbps 의 높은 전송 속도를 구현 하는 것까지 가능하다고 소개되고 있다. HSDPA 는 새로운 기술들 - AMC, HARQ, Fast Physical Layer, Fast Packet Scheduling - 이 도입되어 상용화 단계를 거치고 있다.

이러한 신기술 중에서도 패킷 스케줄링은 사용자 입장에서 가장 중요한 역할을 맡고 있다고 할 수 있다. 어떤 스케줄링 알고리즘이 적용되느냐에 따라 전체적인 시스템 수율, QoS 등이 달라질 수 있기 때문이다. 수율면에서는 Max CQI, 공평성면에서는 RR 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보였지만 이 두 가지를 모두 만족하는 측면에서는 PF 기법이 가장 훌륭하다. 이러한 이유로 현재 PF 알고리즘을 기반으로 성능을 개선한 알고리즘에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히 참고 문헌 [11]에서는 스케줄링 절차를 간단히 수정하여 모든 사용자들에게 동일한 평균 수율을 제공하도록 변경할 수 있음을 보여 주고 있다. 또한 이보다 더 발전된 QoS 차별화가 필요한 경우를 위하여, 참고 문헌 [12]에서는 min-GBR (minimum Guaranteed Bit Rate) 스케줄러를 소개하고 있다. 그리고, PF 알고리즘 원리를 기반으로 하여 개발된 최대 시간지연 스케줄링 기법[13]에서는 패킷 시간지연이 최대 허용 시간지연 조건에 근접할 경우에 스케줄링 우선순위를 높여줌으로써 패킷 시간지연 요구 조건을 만족하는 것을 목적으로 하고 있다. 이외에도 많은 연구가 이루어지고 있지만 이러한 알고리즘들을 수정 보완하여 최적화할 수 있도록 연구 개발이 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

## 6. 참고 문헌

- [1] <http://www.3gpp.org/>
- [2] <http://www.umtsworld.com/technology/hsdpa.htm>
- [3] Zhao Haichuan, Wu Jianqiu, "Implementation and simulation of HSDPA functionality with ns-2", Master Thesis, Linkoping University, Mar 2005.
- [4] Jose Luis Pradas Adan, "Effect of multiple simultaneous HSDPA users on HSDPA end-user performance for non-real time services in one cell system", Master Thesis, Helsinki University, Aug 2006.
- [5] J. Pablo, G. Ameigeiras, "Packet Scheduling And Quality of Service in HSDPA", PH.D. Thesis, Aalborg University, Oct 2003.
- [6] 3GPP TS 25.308 v7.3.0, "High Speed Downlink Packet Access: overall description", Release 7, Jul 2007.
- [7] J. M. Holtzman (2000), Asymptotic analysis of proportional fair algorithm, *IEEE Proc. Personal Indoor and Mobile Radio Communications, September*, pp. F33-F37
- [8] Jae Chung, Mark Claypool, "NS by Example", <http://perform.wpi.edu/NS/index.html>
- [9] Deliverable D3.2v2, "End-to-end Network Model for Enhanced UMTS", Oct 2003, <http://www.ti-wmc.nl/eurane/>
- [10] Recommendation ITU-R M.1225, "Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000", 1997.
- [11] G. Barriac and J. Holtzman (2002), Introducing delay sensitivity into the proportional fair algorithm for CDMA downlink scheduling, *IEEE Proc. International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, Sep, pp. 652-656.
- [12] P.A. Hosein (2002), QoS control for WCDMA high speed packet data, *IEEE Proc. Vehicular Technology Conference*.
- [13] M. Andrews, K. Kumaran, K. Ramanan, A. Stolyar, and P. Whiting (2001), Providing quality of service over a shared wireless link, *IEEE Communications Magazine*, 150-154, Feb.