WCDMA 고속 데이터 패킷 액세스 시스템에 대한 시뮬레이터와 하이브리드 스케쥴러를 가진 다중화기의 성능평가

박수미 O, 권재균, 문성호, 성단근

한국과학기술원 전자전산학과

Simulator on the WCDMA High Speed Downlink Packet Access System and Performance Evaluation of a Multiplexing Scheme with Hybrid Schedulers

Soomee Park O, Jae Kyun Kwon, Sung Ho Moon, Dan Keun Sung

Department of Electrical Engineering and Computer Science, KAIST

smpark@cnr.kaist.ac.kr, jack@cnr.kaist.ac.kr, shmoon@cnr.kaist.ac.kr, dksung@ee.kaist.ac.kr

요 약

2 세대의 음성 위주의 이동 통신 시대를 지나, 3 세대 이동 통신에서는 인터넷의 지원이 중요해졌다. 무선에서 인터넷 통신을 위한 패킷 서비스에는 역방향 링크의 트래픽보다는 순방향 링크의 트래픽이 상대적으로 많을 것으로 예상된다. 따라서 순방향 링크에서 고속의 패킷 통신 지원이 필요하고, 이러한 요구를 수용하기 위하여 비동기식 WCDMA 시스템의 표준화 기구인 3GPP 는 HSDPA 라는 비동기식 WCDMA 시스템에 대한 고속 패킷 데이터 서비스를 위한 표준을 개발하였다. 본 논문에서는, 시스템 시뮬레이션을 통하여 HSDPA 시스템의 패킷 스케쥴링 기법에 따른 시스템의 성능 평가를 수행하고, 이에 선행하여 링크 시뮬레이션을 수행한다. 또한, 각 스케쥴링 기법의 단점을 극복하기 위해 두 가지 스케쥴링 기법을 부호축으로 다중화하는 방식을 이용한 스케쥴링 기법을 제안하고 성능을 비교 분석한다.

1. 서론

WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access)의 표준 제정을 담당한 3GPP(3rd Generation Partnership Project)는 최근 급증하고 있는 고속 패킷 데이터 서비스 요구에 부응하기 위하여 패킷 데이터 전송에 대한 표준 개발을 시작하였다. 이로부터 표준화가 이루어진 연구 항목이 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)이다. HSDPA 시스템은 AMC(Adaptive Modulation and Coding), H-ARQ(Hybrid Automatic Repeat Request), Fast Scheduling, MIMO(Multiple Input Multiple Output) 와 Fast Cell Selection 등의 기술을 통하여 고속과 낮은 지연을 갖는 순방향 패킷 서비스를 목표로 한다.

본 논문에서는 HSDPA 시스템의 성능 평가를 수행하기 위해 시스템 시뮬레이션과 이를 위한 링크 시뮬레이션을 수행한다. 우선 기존의 패킷 스케쥴링 방식을 적용하여 이에 따른 시스템의 성능 평가를 수행하고 각 스케쥴링 기법의 단점을 극복하기 위해 두 가지 스케쥴링 기법을 부호축으로 다중화하여 동시에 적용하는 기법을 사용함으로써 적용된 스케쥴링 기법들의 평균 성능보다 더 우수한 성능을 이끌어낼 수 있음을 보인다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2 장에서는 HSDPA 시스템의 개요에 대해 설명하고, 3 장에서 시뮬레이션의 개요 및 시스템 모델링을 다룬다. 4 장에서는 성능 평가가 이루어지고, 마지막으로 5 장에서 결론을 맺는다.

2. HSDPA 시스템 개요

본 논문에서 고려하는 HSDPA 시스템을 구성하는 구체적인 기술은 다음과 같다. AMC 는 단말들로부터 수신된 피드백 정보를 바탕으로 기지국이 변조 방식과 부호율에 따라 데이터율을 조절하는 채널 적응(Link Adaptation) 방식이다. 단말은 패킷의 ACK/NACK 을 기지국에게 알려주고, 재전송 경우에 오류가 발생한 패킷을 버리지 않고 재전송된 패킷

과 결합하는 H-ARQ 를 사용한다. 그리고 전송 시간마다 기지국이 수신 단말을 선택하는 Fast Scheduling 방식이 있다. HSDPA 시스템은 다중 코드(Multi-code)를 이용한 부호 축에 대한 다중화와 시간 축에 대한 다중화가 가능하다.

HSDPA 를 지원하기 위하여 다음의 링크가 필요하다. HS-DPCCH(High Speed Dedicated Physical Control Channel)는 각 단말이 채널의 상황을 나타내는 CQI (Channel Quality Indicator)와 ACK/NACK 정보 전송에 사용되는 역방향 채널이다. HS-PDSCH(High Speed Physical Downlink Shared Channel)는 전송 데이터가 실리는 순방향 채널이다. HS-SCCH(High Speed Shared Control Channel)는 단말이 HS-PDSCH 를 수신하는데 필요한 정보와 기지국이 전송하는 제어 정보를 수신하기 위해 필요한 순방향 시그널링 채널이다.

HSDPA 시스템의 시뮬레이션은 3GPP 표준을 바탕으로 수행된다[1]-[5].

3. 시뮬레이션 개요 및 시스템 모델링

3.1 시뮬레이션 개요

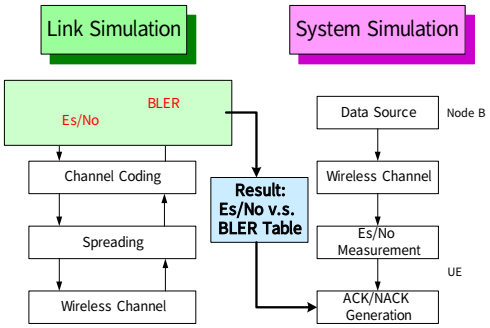

그림 1. 시뮬레이션 개요

시뮬레이션은 그림 1 과 같이 링크 시뮬레이션과 시스템 시뮬레이션으로 나뉘어 수행된다. 시뮬레이션은 성능을 측정할 셀의 기지국과 여러 단말에 대한 연결을 고려해야 한다. 각 단말에 대하여 기지국이 직접 전송 비트를 생성하고 터보 부호화(Turbo Coding)를 이용하여 채널 부호화한 후 무선 채널을 통해 전송하고, 이것을 단말이 복호화하여 전송 블록 ACK/NACK 을 판단하는 방식은 시뮬레이션 시간이 많이 소요된다. 이를 극복하기 위하여 두 단계의 시뮬레이션을 수행한다. 링크 시뮬레이션에서는 신호 대 잡음 비에 대한 블록 오율의 결과를 얻고, 시스템 시뮬레이션에서 이 결과를 이용하여 수신 블록의 ACK/NACK 을 결정하는 방식을 취한다.

3.2 링크 시뮬레이션

그림 2 는 링크 시뮬레이션의 구조도이다. 표 1 은 MCS(Modulation and Coding Scheme) 레벨별 부호율 및 변조 방식에 대한 전송 블록의 비트수를 나타낸다. 각 MCS 레벨과 다중 코드의 수를 고려한 시뮬레이션이 필요하다. 각 MCS 레벨에 대하여 단일 코드를 사용하는 경우와, 3GPP 의 터보 부호화의 최대 입력값인 5114 비트 이내에서 가장 긴 부호 블록을 형성하는 코드의 개수에 대한 다중 코드의 시뮬레이션을 수행한다. 다중 코드의 개수의 변화에 비하여 부호 블록의 길이에 따른 부호화 이득의 범위가 좁기 때문에, 이외의 다중 코드 개수에 대해서는 단일 코드를 사용하는 경우와 가장 긴 부호 블록을 형성하는 코드 개수에 대한 시뮬레이션 결과로부터 내삽을 통하여 얻는다.

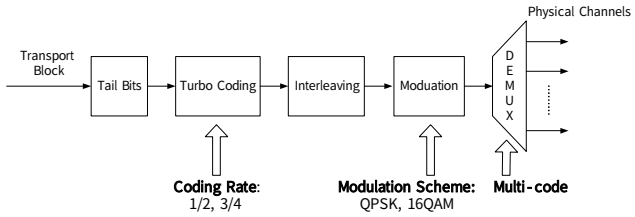

그림 2. 링크 시뮬레이션 블록도

표 1. MCS 레벨

MCS Level	Coding Rate	Modulation
1	¾	QPSK
2	½	QPSK
3	¾	16QAM
4	½	16QAM

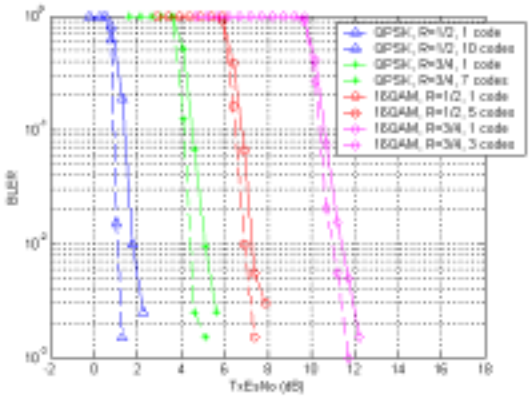

그림 3. 링크 시뮬레이션 결과

시스템 시뮬레이션은 저속의 단말에 대한 제이크스 페이딩 채널 환경을 고려한다. HS-PDSCH 의 무선 프레임 길이(TTI: Transmission Time Interval)는 2 msec 로 1 TTI 내에서 수신 신호 크기의 페이딩 변화가 거의 무시될 수 있다. 또한 시스템 시뮬레이션에 쓰일 블록 오류율을 얻기 위해서는 수신 신호의 고정된 신호 대 간섭비에 대한 블록 오류를 검출해야 하므로, 저속 제이크스 페이딩 채널에서의 수신 신호 대 간섭비에 대한 결과는 그림 3 의 AWGN 채널의 송신 신호 대 간섭비에 대한 링크 시뮬레이션 결과를 이용할 수 있다.

3.3 시스템 시뮬레이션

표 2 는 시스템 시뮬레이션 환경 파라메터를 정리한 것이다.

표 2. 시뮬레이션 환경

Parameters	**Value**	**Comment**
Cell structure	Hexagonal grid, 7 cells	Cell radius = 1 km
UE distribution	Uniform distribution	Fixed position
Determining home cell	Node B to minimize path loss	Propagation loss and shadowing
Propagation loss	$-10\mu \log_{10} d$	$\mu = 4$
Shadowing	Log-normal distribution	Standard deviation = 8.9 dB
Correlation of Node B	0.5	
Fast fading	Jakes' fading	3 km/h

트래픽 모델링은 웹 트래픽을 대상으로 하며 참고 문헌 [6],[7]을 바탕으로 한다. 단말의 데이터율은 384kbps 이고 채널의 활성도는 10%로 한다.

다음은 채널 모델링이다. HS-SCCH 에 대한 정보는 단말이 안다고 가정하고 별도의 시그널링을 모델링 하지 않는다. 기지국에서 송신 시 전송 블록의 MCS 레벨을 결정하기 위하여 단말은 CPICH (Common Pilot Channel)로부터 채널의 상태를 추정하여 CQI 를 기지국으로 피드백한다. CQI 정보로 CPICH 의 신호 대 간섭비를 이용한다. 또한 CPICH 의 측정을 통하여 수신 받은 HS-PDSCH 의 신호 대 간섭비를 얻는다. CPICH 는 매 TTI 마다 추정되고 CQI 는 2 TTI 의 지연을 겪는다. 기지국은 송신시 채널의 상태에 적합한 MCS 레벨로 전송 블록을 생성하고, 이를 1 TTI 길이로 HS-PDSCH 를 통하여 전송한다. 단말에 수신된 전송 블록으로부터 HS-PDSCH 의 수신 신호 대 간섭비를 결정한다. 이 값과 링크 시뮬레이션의 결과를 이용하여 확률적으로 ACK/NACK 을 생성하여 기지국으로 전송한다. 이때 ACK/NACK 신호의 지연은 5 TTI 로 가정한다.

기지국은 전송 시점마다 Fast Scheduling 방식을 통하여 어느 단말에게 전송할지 결정한다. 본 논문에서 성능 평가를 위해 고려하는 스케쥴러는 다음과 같다. Round Robin 스케쥴러는 전송할 대상이 되는 단말에게 돌아가며 한 번씩 전송을 하는 방식이다. Max. C/I 스케쥴러는 전송 블록 전송 시점에 가장 좋은 무선 채널 상태를 갖는 단말에게 전송 블록을 전송하는 방식이다. Proportionally Fair 스케쥴러[8]는 Max. C/I 와 같이 무선 채널 상태에 대한 고려와 동시에 효율이 낮은 단말에게 가중치를 두는 방식이다. 마지막으로 Relatively Best 스케쥴러[9]는 경로 손실을 제외한 빠른 페이딩의 상태를 관측하여 전송 시점에 가장 좋은 페이딩 상태를 갖는 단말에게 전송 블록을 전송한다.

그리고, 각 스케쥴링 기법의 단점을 극복하는 방식으로 두 가지 스케쥴링 기법을 부호축으로 다중화하는 방식을 제안한다. 성능 평가를 위하여 예로써 Max. C/I 와 Relatively Best 스케쥴러를 선택한다. Max. C/I 방식은 데이터율은 최대로 하고 Relatively Best 방식은 평균적으로 단말의 수신 기회를 동등하게 하므로 서로 보완이 될 것이다. 이렇게 선택된 두 가지 스케쥴링에 대하여 기지국은 전송 시점마다 두 가지 스케쥴링 방식에 대해 단말을 각각 독립적으로 선택하여 전송한다.

4. 성능 평가

성능 평가 지표는 다음과 같다. 셀의 효율은 셀 내의 전체 단말에 대해 얻어지며, 다음의 식으로 결정된다.

$$Throughput = \frac{\sum_{ALL\_UEs}\left(\sum_{All\_Good\_Rx\_Packets} Packet\_Size\right)}{Simulation\_Time}$$

각 단말에 대한 효율은 다음과 같다.

$$Throughput = \frac{\sum_{All\_Good\_Rx\_Packets} Packet\_Size}{Simulation\_Time}$$

공평성(Fairness)은 단말의 평균 부하를 기준으로 단말의 수신 패킷의 효율이 30% 이하인 단말의 비율과 5% 이하인 단말의 비율로 평가한다. 수신 패킷의 효율이 30% 이하인 단말은 불공평함을 느낄 정도라고 보고, 5% 이하의 수신은 단말이 패킷을 거의 수신받지 못하는 상황이라고 볼 수 있다.

지연은 패킷이 기지국에 전달된 시점부터 패킷을 이루는 전송 블록이 모두 ACK 을 받는 시점까지로 한다.

그림 4 에서 그림 7 은 위의 지표에 따른 결과를 나타낸다. 그림 4 에서는 채널 환경을 직접적으로 고려하는 스케쥴링 방식이 좋은 효율을 나타냄을 알 수 있다. 그림 5 와 6 은 공평성을 평가한다. Max. C/I 스케쥴러는 좋은 채널 환경을 갖는 단말에게 송신을 하는 방식이므로 단말의 수신 기회가 균등하지 못하지만, Proportionally Fair 스케쥴러는 단말의 효율도 고려하므로 어느 정도 전구간에 걸쳐 공평성을 보장할 수 있다. Round Robin 스케쥴러는 채널 상황에 상관없이 단말에게 균등한 전송 기회를 주므로 패킷 손실의 위험을 가지는 경향을 나타낸다. Relatively Best 스케쥴러는 상대적으로 좋은 상태의 페이딩 채널을 갖는 단말을 선택함으로써 평균적으로 단말이 패킷을 수신할 수 있는 기회가 균등하여 패킷의 손실을 어느 정도 막는 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 그림 7 에서는 Max. C/I 스케쥴러와 Proportionally Fair 스케쥴러의 경우 효율이 우수한 특성을 갖고 채널 환경이 상대적으로 좋은 단말을 선택하기 때문에 재전송이 일어날 확률이 적으므로 지연에 대한 우수한 성능을 보인다.

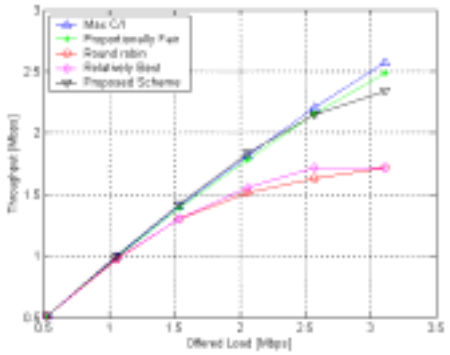

그림 4. 셀의 효율

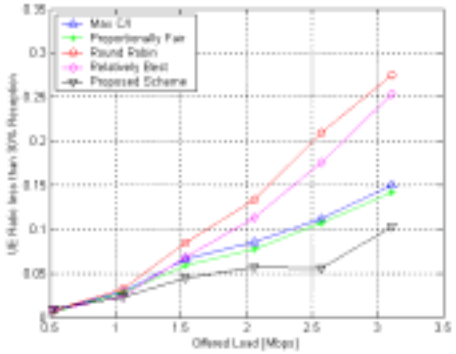

그림 5. 단말별 평균 부하의 30% 이하 효율의 단말 비율

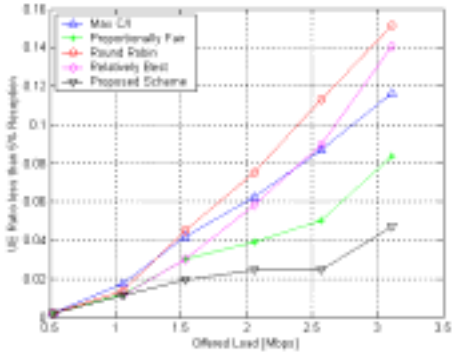

그림 6. 단말별 평균 부하의 5% 이하 효율의 단말 비율

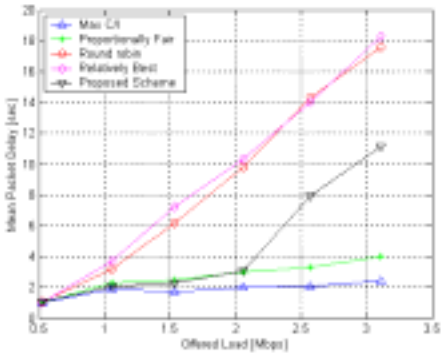

그림 7. 패킷의 평균 지연

5. 결론

본 논문에서는 HSDPA 시스템의 성능 평가를 수행하기 위하여 링크 시뮬레이션 및 시스템 시뮬레이션을 수행하였다. Max. C/I 스케쥴러는 효율 및 지연에서 가장 우수한 성능을 보이지만 공평성 측면에서 단점을 보인다. Proportionally Fair 방식은 Max. C/I 의 효율 및 지연에 대한 장점을 거의 가지며 공평성도 보장하는 스케쥴러로 평가할 수 있다. Round Robin 스케쥴러는 단말별 채널 환경이 다르고 단말의 이동에 의해 채널 환경이 변하는 무선 환경에서 좋은 성능을 내기 어려운 방식으로 보인다. Relatively Best 스케쥴러는 본 시뮬레이션과 같은 저속의 환경에서는 예상한 좋은 성능을 얻지 못하는 결과를 보인다. 따라서 앞으로 고속의 환경에서 시스템 성능 측정 및 상호 비교가 이루어져야 할 것이다.

Max. C/I 스케쥴러와 Relatively Best 스케쥴러를 이용한 부호축 다중화 방식을 이용하는 제안한 방식을 사용하는 경우 공평성 측면에서 우수한 성능을 보임을 확인하였고, 시스템이 과부하 상태에 들어가기 전까지는 효율 측면에서도 약간의 이득이 발생했으며, 지연 면에서는 두 방식의 평균보다는 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

6. 참고 문헌

[1] 3GPP, *Physical layer aspects of UTRA High Speed Downlink Packet Access*, TR 25.848, v4.0.0, March, 2002.

[2] 3GPP, *High Speed Downlink Packet Access: Physical layer aspects*, TR 25.858, v5.0.0, March, 2002.

[3] 3GPP, *Physical Channel and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)*, TS 25.211, v4.3.0, Dec, 2001.

[4] 3GPP, *Multiplexing and channel coding (FDD)*, TS 25.212, v4.3.0, Dec, 2001.

[5] 3GPP, Spreading and modulation (FDD), TS 25.213, v4.2.0, Dec, 2001.

[6] UMTS, *Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS*, TR 101 112, v3.2.0, April, 1998.

[7] Motorola, *Evaluation Methods for High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)*, TSGR1#14(00)909, July 4th, 2000.

[8] Jack M. Holtzman, " Asymptotic Analysis of Proportional Fair Algorithm," *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2001 12th IEEE International Symposium on*, Vol 2, pp. F-33 – F-37, 2001.

[9] Jae Kyun Kwon, Suwon Park, Dan Keun Sung, and Mun Geon Kyeong, " Performance Comparison of Orthogonal Code Hopping Multiplexing(OCHM) and HDR Schemes in Synchronous Downlink," *Proceeding of WCNC 2002*, Orlando, U.S.A., pp. 200-205, Mar. 2002.