

# 3GPP 물리계층 시뮬레이터 설계를 이용한 W-CDMA 시스템 성능 분석

나인학\*, 윤성재\*, 김병기\*, 우연식\*\*, 김철성\*  
전남대학교 컴퓨터공학과\*, RRC\*, DXO텔레콤\*\*

## Performance Analysis of W-CDMA Systems Using 3GPP Physical-Layer Simulator design

In-Hak Na\*, Sung-Jae Yoon\*, Byung-Ki Kim\*, Yeon-Sik Woo\*\*, Cheol-Sung Kim\*  
Dept. of Computer Engineering\*, RRC\*, Chonnam National University\*, DXO Telecom\*\*

**Abstract** - The wideband DS-SS-CDMA (W-CDMA) system is one of the candidates for the next generation mobile communication system known as IMT-2000. The important concept of W-CDMA is the introduction of intercell asynchronous operation.

In this paper, we design and analyze the system level simulator for the International Mobile Telecommunication - 2000 (IMT-2000) 3-rd generation partnership project (3GPP) system. We confirm how the simulator works by BER over different  $E_b/N_0$ . This study will be expected to use as reference data in the development of asynchronous IMT-2000.

In this paper, we analyze a physical layer of W-CDMA system and design a transmitter and receiver by using ADS (Advanced Design System). Also, we simulated a link level performance in Rayleigh fading channel environment. This study will be useful in the analysis and design of W-CDMA system.

### 1. 서론

다음 세대 이동통신 시스템에 관한 여러 종류의 연구가 계속 진행되고 있다. 차세대 이동 통신 시스템의 목표는 누구에게나, 어디에서나, 언제나 매우 다양한 통신 서비스를 제공하는 것이다. GSM 과 Wideband CDMA의 결합에 대한 제안은 강한 설득력을 얻고 있다. Wide-band CDMA를 지지하는 몇 가지 제안들이 ITU와 IMT -2000에서 채택되었다. IMT -2000시스템은 고품질 음성서비스와 멀티미디어 서비스를 제공한다.

이 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 W-CDMA 시스템의 물리채널에 대해서 자세히 설명한다. III장에서는 모의 실험 환경인 광대역 다중경로 채널에 대해서 설명하고, Base-band에서 uplink상의 송수신 구조에 대해서 설명한다. IV장에서는 BER 시뮬레이션 결과를 설명한다. V장은 본 논문의 요약과 결론부분으로 구성되어 있다.

### 2. W-CDMA 물리 계층 규격

MS와 BS사이에는 다양한 data type들이 전송되어진다. 그리고 W-CDMA 물리채널은 크게 uplink channel

(UL) 과 downlink channel(DL)로 구분되어 진다.

UL 채널은 MS에서 BS까지의 채널을 의미하고, DL 채널은 BS에서 MS까지의 채널을 의미한다.

UL 채널은 Dedicated uplink physical channels과 Physical Random Access Channel(PRACH) 그리고 Physical Common Packet Channel(PCPCH)로 구성되어져 있다. Dedicated uplink physical channel(DPDCH/DPCCH)은 원하는 데이터의 전송을 위한 채널이고, 다른 채널들은 MS와 BS사이의 연결을 설정해 주는 채널이다. 그리고, DL채널은 Dedicated Downlink Physical Channels, Common Pilot Channel(CPICH), Common Control Physical Channel(CCPCH), Synchronization Channel(SCH), Physical Downlink Shared Channel(PDSCH), Acquisition Indicator Channel(AICH), CPCH Access Preamble Acquisition Indicator Channel(AP-AICH), CPCH Collision Detection/Channel Assignment Indicator Channel(CD/CA-ICH), Paging Indicator Channel(PICH), and CPCH Status Indicator Channel(CSICH).

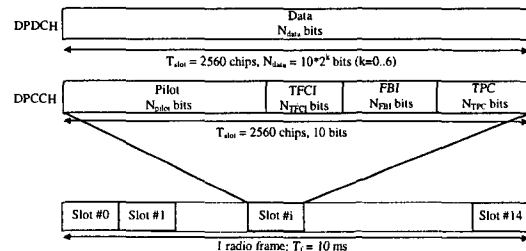


Fig. 1 Frame structure for uplink DPDCH/DPCCH

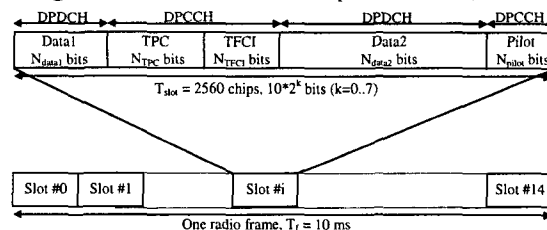


Fig. 2 Frame structure for downlink DPCH  
W-CDMA에서 심벌은 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)와 Direct Sequence CDMA (DS-

CDMA)를 사용하여 전송되어진다. Chip rate는 3.84 Mcps이고 각 채널은 Figure 1과 2에서 같이 각 slot에는 2560 chips를 갖고 15개 slot이 한 frame을 갖는 구조로 되어 있다. DL 채널에서 pilot 심벌들은 데이터 심벌들과 time multiplex 되어 있다. 모든 slot은 channel rate에 따라서 pilot 심벌들(2,3,8 or 16bits)의 그룹으로 시작한다. 그것은 동기화를 구현하고 채널 estimation에 사용되어진다. CPICH는 fixed rate(30kbps, spreading factor SF = 256)이다. Fig.3은 CPICH의 Frame 구조를 보여준다. 물리계층 채널의 세부적인 구조는 reference[1]을 참조하라.

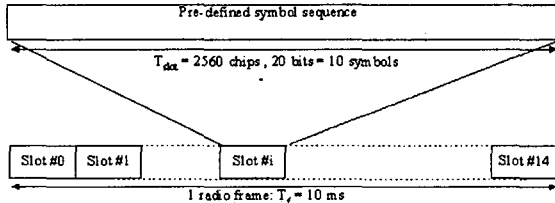


Fig. 3 Frame structure for Common Pilot Channel

### 3. Wideband Channel에서의 W-CDMA

일반적으로 Wideband Multipath Channel은 tapped delay 선형 필터로 모델화 되어진다. 다음 Fig.4와 eq.(1)로 표현되어진다.

$$h(t) = \sum_{l=0}^{L-1} a_l \delta(t - t_l) e^{j\theta_l} \quad (1)$$

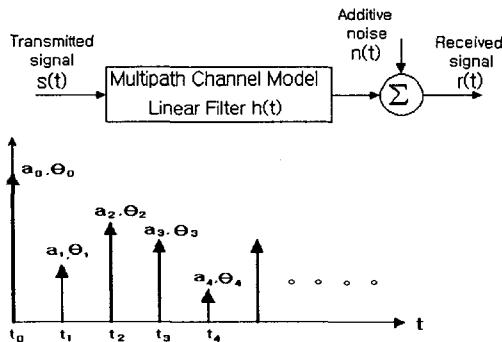


Fig. 4 Linear filter model

$a_l$ 은 path strength,  $t_l$ 은 time delay,  $\theta_l$ 은 phase shift이다. wideband multipath channel modeling을 위해서는 변수들에 대한 통계적 특성을 정의 해야한다 [13][14]. 다양한 path를 갖는 위상  $\theta_l$ 은 uniform 분포를 갖고 있으며,  $[0, 2\pi]$  상호 독립인 랜덤변수이다.

그러나, path delay( $t_l$ )와 path strength( $a_l$ )은 명확하지 않다. 이 논문에서 path strength( $a_l$ )은 Rayleigh 분포를 이룬다고 가정하였다.

전체 수신된 신호는 K-DS waveforms(사용자)로 구성되어 있다. k번째 전송된 신호는 eq(2)와 같이 표현된다.

$$s_k(t) = m_k(t) c_k(t) \exp(j\omega_0 t) \quad (2)$$

$m_k(t)$ 는 데이터이고  $c_k(t)$ 는 k번째 사용자 spreading sequence이다. 전체 수신된 신호  $r(t)$ 는 eq.(3)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} a_{k,l} m_k(t - \tau_{k,l}) c_k(t - \tau_{k,l}) \exp[j\{\omega_0(t - \tau_{k,l}) + \theta_{k,l}\}] + n(t) \quad (3)$$

K는 전체 사용자수이며, L은 전체 multipath 개수이고,  $n(t)$ 는 additive Gaussian noise이다.

$k=0$ 은 원하는 사용자 신호를 나타내며,  $k=1, 2, \dots, K-1$ 은 원하지 않는 사용자 신호를 나타낸다.  $l=0$ 은 첫 번째 도착한 신호를 나타내고  $l=1, 2, \dots, L-1$ 은 두 번째, 세 번째, ..., L번째 도착한 멀티패스 신호를 나타낸다.  $\tau_{k,l}$ 은 k번째와 l번째 indexed signal의 time delay를 나타낸다. 반면,  $\theta_{k,l}$ 은 impulse response에 의해 발생하는 k번째와 l번째 indexed signal의 phase shift를 나타낸다.  $t = T$ 에서 correlation 수신기의 표준 출력은 eq.(4)와 같다.

$$\begin{aligned} Z &= \text{Re} \left[ \int_0^T 2r(t) c_0(t) \exp(-j(\omega_0 t + \theta_0)) dt \right] \\ &= \text{Re} \left[ \int_0^T 2\{s_0(t) + s_i(t) + n(t)\} c_0(t) \exp(-j(\omega_0 t + \theta_0)) dt \right] \\ &\equiv S + I + N \end{aligned} \quad (4)$$

$Z(T)$ 의 통계적 특성을 파악하기 위해 S, I, N 각 요소의 통계적 특성을 분석해야 한다. 원하는 사용자 신호 S의 통계적 특성을 살펴보면, S를 다음과 같이 쓸 수 있다[15].

$$S = \left| \sum_{l=0}^{L-1} \tilde{a}_{0,l} \exp(j\tilde{\theta}_{0,l}) R_c(\tau_{0,l}) \right| \quad (5)$$

path strength  $a_{0,l}$ 이 Rayleigh 분포를 갖는다고 가정하면,  $a_{0,l}$ 대신에 signal strength  $a_{0,l} A e^{-\delta}$ 로 표현 가능하다.

$$S = \left| \sum_{l=0}^{L-1} \tilde{a}_{0,l} A e^{-\delta} \exp(j\tilde{\theta}_{0,l}) R_c(\tau_{0,l}) \right| \quad (6)$$

$a_{0,l}$ : Rayleigh 분포 랜덤 변수, A:  $a_{0,l}$ 의 평균값

$\delta$ : decreasing slope, eq.(5)와 eq.(6)에서 tilde( $\tilde{\cdot}$ )는 랜덤변수의 notation이다. 랜덤 변수 S에 대한 보다 세부적인 내용은 reference [15]에서 다루고 있다.

multipath component를 이용하기 위해 maximal ratio combining (MRC) diversity를 갖는 RAKE receiver를 사용하였다. receiver의 출력은 eq.(7)로 표현 가능하다.

$$Z_T = S_T + I_T + N_T \quad (7)$$

그리고,  $S_T$ 의 통계적 특성은 다음과 같이 수정된다.

$$S_T = \sum_{i=1}^M G_i S_i \quad (8)$$

$G_i$ 는 i번째 브랜치의 gain값이다. gain  $G_i$ 는 신호의 전압과 noise와 interference power의 비율이다. 그리고 다음 eq.(9)와 같이 표현된다.[16][17]

$$G_i = K \frac{S_i}{N} \quad (9)$$

보통, multiple access interference(MAI)는 Gaussian으로 noise는 additive Gaussian noise로 모델 되어진다. eq.(6)에서, 만약 L이 크면, S는 랜덤변수의 복소합의 절대값이 된다. PDF S의 이론적인 유추 대신에 random number generator에 의한 S의 발생으로 P(S)를 갖게 되는데 이것은 fading coefficient가 된다.

simulator의 설계를 위해서 base-band bandwidth에서 송수신기를 모델화 한다. simulation tool HP ADS ver 1.3을 사용하였다. uplink model은 transmitter, channel, receiver로 구성되어 있다.

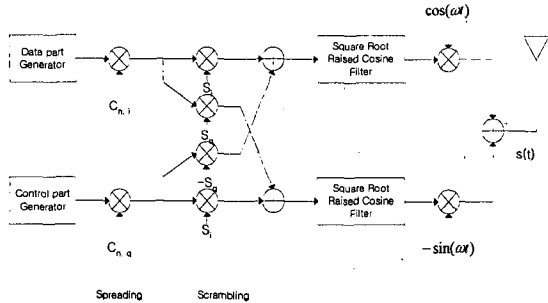


Fig. 5 Uplink Transmitter

송신기는 data channel과 control channel로 구분되어진다. data channel은 원하는 message의 전송을 위해 사용되어지고 control channel은 control 정보를 전송하는데 사용되어진다. control information은 coherent detection, transmit power-control (TPC) commands, feedback information(FBI), optional transport-format combination indicator (TFCI) 등의 channel estimation을 지원하는 known pilot bits로 구성되어 있다. 각 채널은 각 radio frame 내에서 I/Q 코드 다중화 되어 있다. 각 신호는 OVFSF의 orthogonal 특성에 의해 분리될 수 있고, OVFSF코드의 곱에 의해 확장 될 수 있다. 이 확장 sequence는 가변 scramble 코드를 곱해서 전송한다.

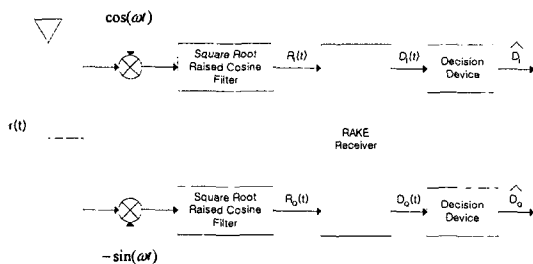


Fig. 6 Uplink Receiver

일반적으로 W-CDMA 시스템은 멀티패스 성분 component에 의한 수신된 신호의 강도를 증가시키기 위해 Rake Receiver를 사용한다. 이 논문에서는 Rake Receiver를 사용한다. receiver의 구조는 Fig.6에 보여진다.

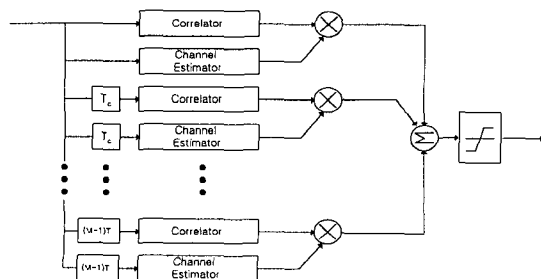


Fig. 7 RAKE receiver

Receiver는 correlator, estimator, combiner로 구성되어 있다. Fig.7 Rake Receiver의 구조를 보여준다. multipath channel을 통해 전송된 수신된 신호는 Rake Receiver branch들에서 하나의 chip duration으로 분리된 후 MRC combining이 사용되어진다.

#### 4. simulation

성능 분석을 위해 도시지역의 복잡한 traffic과 시골 지역의 낮은 traffic 환경을 고려해야 한다. 채널 환경은 다음과 같이 가정된다. excess delay  $\Delta = 2.6[\mu\text{sec}]$ 와 slope는  $\delta = 0.2$ (도시지역),  $\delta = 1$ (시골지역). chip rate는 3.84 Mcps, spreading factor(SF)는 256, 64, 16이다. perfect carrier와 bit synchronization과 perfect power control을 가정한다.

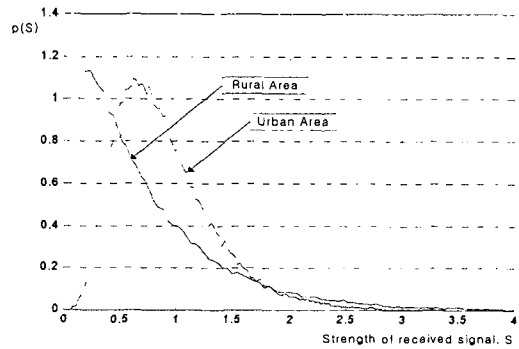


Fig. 8 PDFs of received signal (uplink, SF=256)

eq.(6)을 사용하여 S를 랜덤변수로 하는 CDMA 신호들의 확률밀도 함수 P(s)를 생성한다. 이것은 Fig.8와 Fig.10에 보여지는 것 과 같다. S는 unit power를 갖도록 정규화 되어있다. Fig.8는 Spreading Factor (SF)가 256인 도시지역과 시골지역에서 상향 링크 수신 신호의 일반화된 확률 밀도 함수를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 멀티패스 성분이 많이 존재하는 도시지역 환경에서 수신신호의 크기가 큰 부분에 더 높은 확률 밀도 함수 값을 나타냄을 알 수 있다. 이는 Rake Receiver에서 multipath 성분들을 결합하여 수신신호의 크기를 키워 줬음을 알 수 있다.

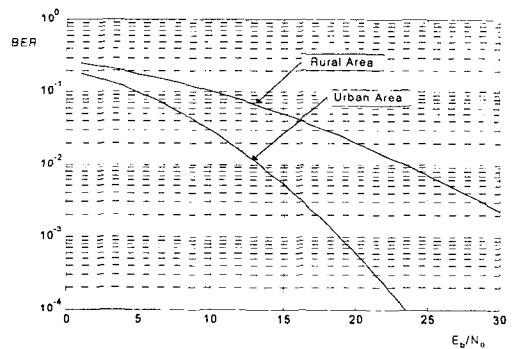


Fig. 9 BER (uplink, SF=256)

Fig.9 은 SF가 256에서  $E_b/N_0$ 에 따른 BER 곡선을 나타낸다. 확률 밀도 함수에서 수신 신호의 크기가 큰 부분에서 좀 더 높은 확률밀도 값을 갖는 도시지역 채널 환경이 더 나은 성능을 보였다.

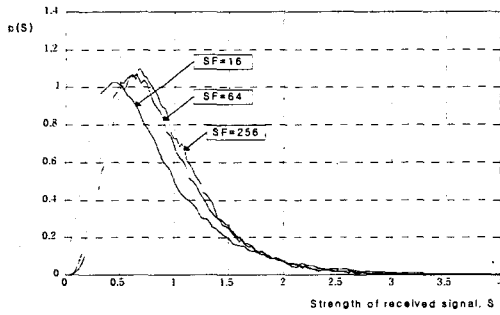


Fig. 10 Normalized PDFs of received signal (urban area)

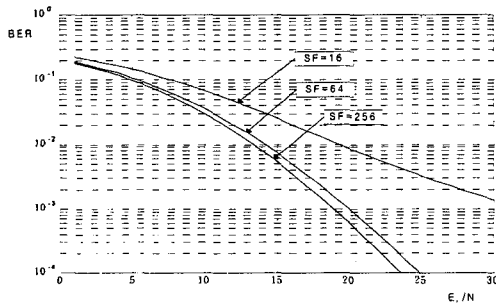


Fig. 11 BER without coding (uplink, urban)

Fig. 10은 도심 지역채널의 uplink에서의 Spreading Factor가 256,64,16일 경우의 수신된 신호의 정규화된 PDF를 보여주고 있다. 그리고 Fig.11는 BER의 결과를 보여준다. 본 연구 결과 음성 통화의 Quality of service (QoS)를 만족하기 위해 BER이  $10^{-3}$  정도 되어야 하는데 레이크 수신기를 적용했음에도 높은  $E_b/N_0$ 에서도 이를 만족하지 못함을 알 수 있었다. 그래서 보다 좋은 성능향상을 위해서 채널 코딩, 송신 다이버시티, 스마트 안테나 등의 성능 개선 기법이 필요할 것이다. 시뮬레이션 결과에 따라 Spreading Factor가 높음에 따라 보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 그리고 많은 멀티패스 성분이 존재하는 도심 지역은 시골 지역보다 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다.

### 5. 결론

본 논문에서는 비동기 방식 IMT-2000 시스템 (3GPP)의 물리 계층 규격을 분석하고 이를 바탕으로 시뮬레이션 툴인 ADS를 이용하여 송수신부를 설계하였다. 수신부에서는 수신 신호의 크기를 키우기 위해서 MRC 결합 방법을 이용한 레이크 수신기를 설계하였고 설계의 검증을 위해서 수신 신호의 정규화된 확률 밀도 함수와  $E_b/N_0$ 에 대한 BER 곡선을 구하여 성능 분석을 하였다. 성능분석을 위해서 수신신호의 평균 크기가 지수적으로 감소하는 이론적인 채널 모델을 사용하였다. 위 시뮬레이션의 결과에 따라 Spreading Factor가 높음에 따라 보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 그리고 많은 multipath 성분이 존재하는 도심 지역은 시골 지역보다 더 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다. 결과적으로 Rake Receiver의 성능은 Rayleigh Fading Channel에서 보다 향상되었음을 알 수 있으나 기대할 만한 정도의 수준은 아니

다. 그러므로 W-CDMA 시스템의 성능 향상을 위한 Error Correction Coding, 송신 다이버시티, Smart Antenna와 같은 다양한 기술들이 필요하다. 비동기 방식의 IMT-2000시스템의 구현을 위해 이러한 결과가 유용한 기본 자료로서 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

### Reference

- [1] 3GPP Technical Specification 25.101, UE Radio transmission and reception (FDD)
- [2] 3GPP Technical Specification 25.104, UTRA (BS) FDD ; Radio transmission and reception.
- [3] 3GPP Technical Specification 25.211, Physical Channels and Mapping of transport Channels onto Physical Channels (FDD)
- [4] 3GPP Technical Specification 25.212, Multiplexing and channel coding (FDD)
- [5] 3GPP Technical Specification 25.213, Spreading and modulation (FDD)
- [6] 3GPP Technical Specification 25.214, Physical layer procedures (FDD)
- [7] Harri Holma, Antti Toskala, W-CDMA for UMTS, Wiley, 2000
- [8] Ziemer, Tranter, Principles of Communications, Wiley, 1995
- [9] Edward A. Lee, Digital Communication, KAP, 1994
- [10] Rappaport, Wireless Communications, IEEE Press, 1996
- [11] Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic process, McGraw-Hill, 1991
- [12] Roger L. Peterson, Rodger E. Ziemmer, Introduction to spread spectrum Communications, Prentice Hall, 1995
- [13] G. L. Turin et al., "A statistical model of urban radio propagation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol VT-21, pp. 1-9, Feb. 1972.
- [14] H. Suzuki, A statistical model for urban radio propagation, *IEEE Trans. Commun.*, vol COM-25, no. 7, pp. 673-680. July 1997.
- [15] Cheol-Sung Kim, Hoon Jeong and Dong-Jin Oh, "Comparison W-CDMA and N-CDMA systems over wideband Rayleigh channel," *Proc. of 10th PIMRC'99*, pp. 1007-1011 Osaka, Japan, Sep. 1999.
- [16] M. D. Yacoub, "Foundations of Mobile Radio Engineering," CRC Press, 1993.
- [17] J. G. Proakis, Digital Communication, 3rd ed., McGraw-Hill, 1995.

한국 과학재단 지정 전남대학교 고품질 전기 전자 부품 및 시스템 연구센터의 연구비지원에 의해 연구되었음