

광대역 다중경로 채널환경에서 W-CDMA 시스템의 셀 탐색과 성능분석

박대식*, 김병학*, 우연식**, 김철성*

전남대학교 컴퓨터공학과*, RRC*, DXO텔레콤**

CELL SEARCH AND PERFORMANCE ANALYSIS OF W-CDMA SYSTEM IN REALISTIC MULTIPATH CHANNEL ENVIRONMENTS

Dae-Sik Park*, Byoung-Hak Kim*, Yeon-Sik Woo**, Cheol-Sung Kim*

Dept. of Computer Engineering*, RRC*, Chonnam National University*, DXO telecom**
chskim@chonnam.ac.kr

Abstract

In the W-CDMA system, cell search is one of the important functions of the mobile station searching for a cell and achieving spreading code and time synchronization to its downlink scrambling code. For the methods of cell search to optimize codes, three stages are considered: 1) slot synchronization, 2) frame synchronization, and 3) scrambling code identification. Channels for cell search are Primary Synchronization Channel (P-SCH), Secondary Synchronization Channel(S-SCH), and Common Pilot Channel (CPICH). In this paper, cell search is analyzed based on simulation.

Rake receiver provides improvement of performance as an increase of bandwidth because there are more available multipaths. In this paper, the performance of W-CDMA system employing RAKE receiver is evaluated by computer simulation over the types of ITU-R wideband channel model and spreading rate. The result shows that the performance of CDMA adapting RAKE receiver is improved by the increase of multipath components in equal level of the received power.

1. 서론

IMT-2000(International Mobile Telephony 2000)의 표준안은 미국중심의 3GPP2(동기식)과 유럽중심의 3GPP(비동기식)이 채택되었다. 국내에서는 IS-95를 기반으로 개발된 3GPP2 표준에 따른 동기식 시스템은 개발이 완료된 상태이고, 유럽의 GSM에 기반을 둔 유럽의 3GPP 표준에 근거한 비동기식 시스템은 개발이 진행되고 있다.[1]

3GPP2는 GPS와 같은 외부 시간 기준 장치를 이용해 모든 기지국의 Radio Frame의 경계를 일치시키는 기지국 동기식 시스템인 반면에, 현재 3GPP에서 개발 중인 비동기 W-CDMA의 가장 큰 특징은 모든 기지국의 10ms Radio frame 경계가 기지국 별로 독립적이고, 비동기 W-CDMA에서 정의되는 기지국 구분을 위한 PN 시퀀스의 개수는 512개로서 동기식의 PN 위상수와 동일하다.

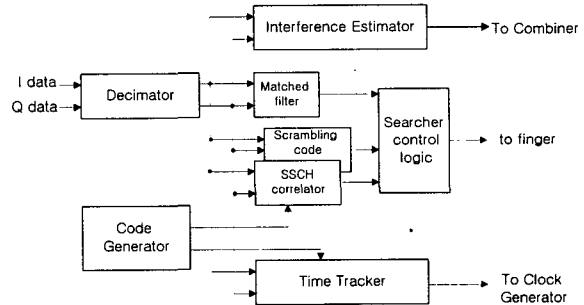
광대역 CDMA(W-CDMA) 표준에 따른 셀 탐색은 코드와 시간 동기 과정을 포함한다.

그리고, 무선 이동통신 시스템은 채널환경에 따라 시스템의 성능에 영향을 미치는 여러 요인이 존재한다. 특히 CDMA 시스템은 대역폭에 따라 채널의 다중경로 성분의 수와 다중경로 지연특성이 변화하고 레이크 수신기는 다중경로 성분을 활용하여 대역폭 증가에 따른 성능 향상을 제공한다.

본 논문에서는 1단계 셀탐색 방법을 matched filter의 최대값을 이용하여 Primary Synchronization Code(PSC) timing을 찾는 방법과 임계값을 이용하여 PSC timing을 찾는 두 가지 방법을 컴

퓨터 모의실험을 통하여 SNR에 따른 평균 셀 탐색시간과 임계치를 이용한 셀 탐색시간에 관한 성능을 분석하였다. 또한, 본 논문은 ITU-R 광대역 채널 모델에 대해 채널 환경과 확산이득에 따른 시스템의 성능을 모의실험으로 구하고 채널 환경과 확산이득에 따른 성능분석을 하였다.

2. Cell Search



[그림 1] 셀 탐색기 구조

단말기가 기지국으로부터 송신된 신호를 수신하기 위하여 자신이 포함된 기지국의 확산코드를 획득하는 과정을 셀 탐색과정이라 한다. 이런 셀 탐색과정은 다음과 같은 과정을 실행한다. 이는 1단계 슬롯 동기 탐색과정, 2단계 프레임 동기 및 코드 그룹 탐색 과정, 3단계 확산코드 탐색 과정으로 구성된다.[2][3][4]

1단계로, 슬롯 동기 탐색 과정은 위 블록도의 matched filter에서 실행되며 동기채널(SCH)중에서 주 동기 채널(Primary SCH)을 이용하여 2560chip마다 반복되는 슬롯의 동기를 탐색하게 된다. 주 동기 채널에 이용되는 코드는 Generalized Hierarchical Golay 시퀀스로서, 자기 상관 특성이 우수하며 단말기의 복잡도를 줄일 수 있는 코드이다.

2단계로, 프레임 동기 및 코드 그룹 탐색과정은 위 블록도의 부 동기 채널(Secondary SCH) correlator에서 수행된다. 프레임 동기 및 코드 그룹 탐색과정은 슬롯 동기 탐색 과정에서 획득한 슬롯에 타이밍 동기를 맞추고, 하나의 프레임동안 전송되는 부 동기 채널(Secondary SCH)의 시퀀스를 탐색한다. 이 탐색 과정에서 하나의 코드 그룹과 해당 코드 그룹의 시퀀스 천이 양을 얻게 되는데, 하나의 코드 그룹은 8개의 셀로 이루어져 있으므로 탐색해야 할 셀이 전체 512개의 셀 중에서 8개의 셀로 줄어들게 되며, 또한 코드 그룹의 시퀀스 천이 양을 보정한 시각이 프레임 동기가 된다.[5]

3단계로, 확산코드 탐색과정은 위 블록도의 Scrambling code

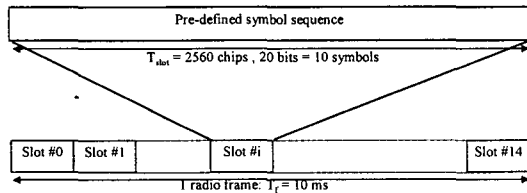
correlator 에서 수행되며, 2 단계에서의 프레임 동기 timing을 맞추고, 해당 셀의 파일럿 채널(CPICH)에 전송되는 scrambling code 와 8개 셀의 확산코드의 symbol-by-symbol correlation를 통해 해당 셀의 scrambling code를 탐색한다. 여기에서 사용되는 파일럿 채널은 Pre-defined symbol sequence에 OVVSF($C_{ch,2560}$: all '1')와 scrambling code가 곱해지고, 변조되어 보내진다. 따라서 수신측에서 Pre-defined symbol sequence는 이미 알고, OVVSF는 모두 1이므로 symbol-by-symbol correlation 을 취하면 scrambling code를 알 수 있다.[6]

이상과 같은 과정을 통해 단말기는 셀을 탐색하고, 방송채널(BCH)의 전송 다이버시티 여부를 획득하고 난 후에 방송채널을 수신하여 시스템 파라미터를 얻어 통화를 시도하거나 혹은 대기 상태에 머무르게 된다.

3GPP에서 cell search와 관련된 채널(CPICH, P-SCH, S-SCH)에 대한 타이밍 관계와 구조를 살펴보면 다음과 같다.[7]

1) Common Pilot Channel (CPICH)

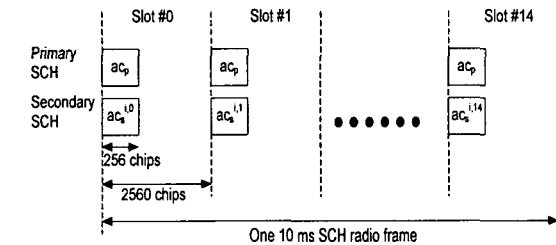
CPICH는 pre-defined bit/symbol sequence를 전송하는 fixed rate (30 kbps, SF=256) downlink physical channel이다.



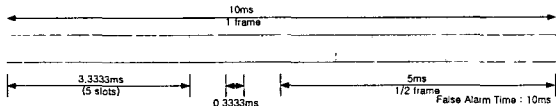
[그림 2] 공통 파일럿 채널(CPICH)의 구조

2) Synchronisation Channel (SCH)

SCH는 cell search를 위해서 사용되는 downlink signal이다. Primary SCH는 길이가 256 chip인 Primary Synchronisation Code (PSC)로 변조된 code로 이루어져 있다. PSC는 system의 모든 cell에서 같다. Secondary SCH는 길이가 256 chip인 16개의 code를 이용하여 64개의 code 그룹을 구분한다.



[그림 3] 동기 채널(SCH)의 구조



[그림 4] 셀 탐색 과정에 따른 소요 시간

본 논문에서는 slot 동기를 찾기 위해서 먼저 5 slots를 관찰하고 여기서 임계값이나 최대값을 찾아 slot 동기를 맞추거나 어떤 임계값을 넘었을 때 slot의 동기를 맞추는 두가지 방법을 고려하고, 그 다음 한 프레임을 관찰하여 프레임 동기를 맞춘다. 그런 다음 5 slots를 관찰하여 최종 셀 탐색을 확인한다. 물론 이런 과정들이 한번에 성공하면 최소시간은 $3.3333(\text{random value}) + 0.3333 \times 10 + 5 + 3.3333 = 21.9999\text{ms}$ 가 된다. 이렇게 정확하게 찾을 때까지 반복하여 셀을 찾게 되는 것이다. 그러나 한번에 찾지 못할 때마다, false

alarm을 포함하여 31.6666ms의 시간이 추가로 드는 것을 알 수 있다. 여기서 processing time은 고려하지 않은 상태이다. [그림 4]는 각 과정에 따른 소요시간을 보여주고 있다.

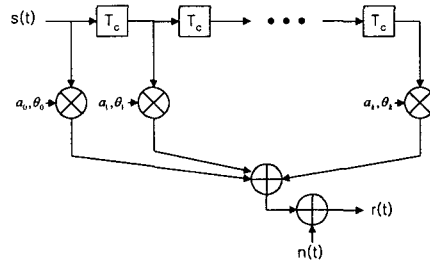
3. 성능 분석을 위한 채널 모델

일반적으로 광대역 다중경로 채널은 식(1)과 같이 이산 선형 필터로 표현된다.

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

여기서 a_l 은 경로세기, τ_l 은 시간지연, 그리고 θ_l 은 위상천이를 나타낸다[8].

본 논문에서 보다 더 실제적인 채널 모델을 공급하기 위해 광대역 다중 경로 채널 모델로 IMT-2000 제안 시스템 평가를 위한 ITU-R 추천 모델을 적용하였다.



[그림 5] 탭-지연 선형필터 모델

ITU-R 모델은 [그림 5]와 같은 tapped-delay line 모델에 기반하여 주어진다. 그 환경은 실내, 실외-실내 보행자, 실외 차량 상황으로 구분되어 있고 rms 지연 시간에 따라 빈번히 발생하는 짧은 지연 시간을 가지는 전력지연 프로파일과 시스템의 성능에 주요한 영향을 미치지 않지만 가끔 발생하는 긴 지연 시간을 갖는 전력지연 프로파일로 구분되어 있다. 채널 A는 짧은 지연시간을 갖는 전력지연 프로파일이고, 채널 B는 긴 지연시간을 전력지연 프로파일이다.[9]

표 1. 실외 차량환경의 전력지연 파라미터

	Channel A		Channel B	
	Relative delay(ns)	평균전력 (dB)	Relative delay(ns)	평균전력 (dB)
1	0	0.0	0	-2.5
2	310	-1.0	300	0
3	710	-9.0	8900	-12.8
4	1090	-10.0	12900	-10.0
5	1730	-15.0	17100	-25.2
6	2510	-20.0	20000	-16.0

표 2. 수정된 실외 차량환경의 전력지연 파라미터

	Channel A		Channel B	
	Relative delay(ns)	평균전력 (dB)	Relative delay(ns)	평균전력 (dB)
1	0	0.0	0	-1.8
2	260	-1.9	260	0
3	520	-7.3	520	-7.4
4	780	-10.4	8840	-13.2
5	1040	-10.9	9100	-18.4
6	1300	-17.2	12740	-13.4
7	1560	-19.6	13000	-11.4

표 1은 한 예로써 실외 차량 환경에 대한 파라미터를 보이고 있

다. 그리고 이 전력지연 프로파일은 시스템의 chip rate에 따른 샘플율에 맞춰 채널 임펄스 응답 파라미터를 수정하여 [표 2]와 같이 사용 가능하다. 여기에서 레이크 수신기에서 취해지는 다중경로 성분은 -10dB를 기준으로 그 이상의 전력을 가지는 다중경로 성분을 레이크 수신기에서 이용하는 것으로 가정하였다.

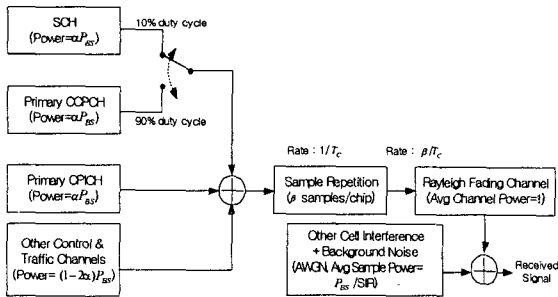
4. 컴퓨터 모의 실험

1) 셀 탐색(cell search)에 대한 모의실험

모의실험은 SNR 변화에 와 임계치 변화에 따른 셀탐색 시간을 계산하는 두가지 방법을 실행하였다.

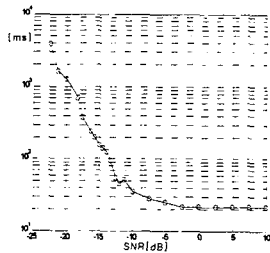
[그림 6]은 셀 탐색 모의실험 모델을 보여주고 있다. 셀 탐색을 위한 모의실험 환경은 다음과 같은 조건을 따른다.

- (1) Chip rate : 3.84 Mcps (2) 완벽한 carrier 동기 (3) 채널: 레일리 분포 (4) 수신신호 : 칩당 2 샘플($\beta=2$) (5) 전력 할당 비율: 파일럿 채널과 공통 제어 채널에 10% 할당 (6) 간섭 신호; 복소 가우시안 랜덤 프로세스

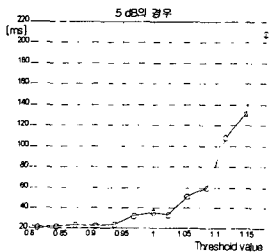


[그림 6] 셀 탐색 모의실험 모델

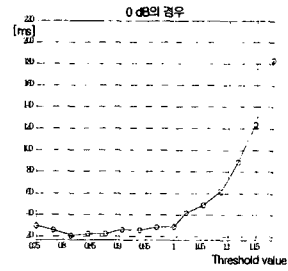
신호대 잡음비는 신호전력을 $\alpha=1$ 에 대해 잡음 전력을 다른 셀의 간섭신호와 배경 잡음으로 산정하였다. 그리고 완벽한 반송파 동기를 가정하였다. 펄스 성형 필터의 roll-off factor γ 는 0.22로 가정하였다. [그림 7]은 셀탐색 과정의 1 단계로 SNR에 따른 평균 셀탐색 시간을 보여준다.



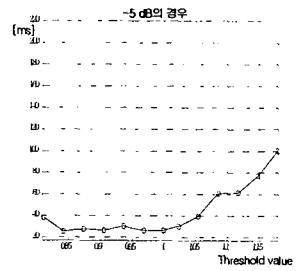
[그림 7] SNR에 따른 평균 셀 탐색시간



[그림 8] 5dB 경우 임계값 모의실험



[그림 9] 0dB 경우 임계값 모의실험



[그림 10] -5dB 경우 임계값 모의실험

[그림 8, 9, 10]는 셀 탐색 모의실험의 두 번째로 SNR를 5dB, 0dB, -5dB로 고정된 후 임계값에 따른 평균 셀탐색 시간의 결과를 보여주고 있다.

그림에서 보면 알 수 있듯이 수신 신호의 SNR이 클수록 최적 임계값이 작아짐을 알 수 있는데, 5 dB에서 약 0.80, 0 dB에서 약 0.82, -5 dB에서 약 0.98이 적절한 임계값임을 알 수 있다. 여기에서 표현된 임계값은 256 chip에 대해 정규화된 값이다.

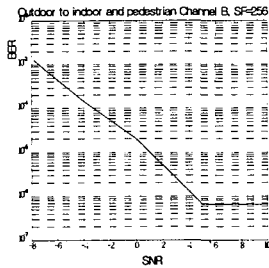
첫 번째 최대값을 선택하는 모의실험에서 5, 0, -5dB에서 평균 셀 탐색시간은 각각 약 21, 21, 25ms임을 알 수 있고, 두 번째 Threshold value에 따른 모의실험에서 5, 0, -5dB에 대한 최적의 임계값은 각각 0.80, 0.82, 0.98이고, 셀 탐색시간은 각각 약 21, 20, 26[msec] 정도임을 알 수 있다.

2) 시스템 성능분석을 위한 모의실험

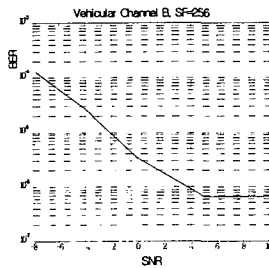
시스템의 성능평가 척도인 BER을 구하기 위해 모의실험은 두 가지 전송율 15ksps(확산률 256), 120ksps(확산률 32)에 대해서 수행하였다. 채널 환경은 ITU-R 채널 모델을 적용하여 실내와 실내 보행자, 실외 차량 환경 등 2가지 경우를 고려하였고, 각 환경에 대해 긴 지연시간을 갖는 전력지연 프로파일(type B)을 사용하였다. 다른 모의실험 조건은 전력제어 및 동기는 이상적인 경우로 가정하였다. CDMA 시스템의 성능을 좌우하는 간섭 신호는 확산률이 큰 경우이므로 가우시안 분포로 가정하였고 신호대 잡음비(SNR)를 정할 때 잡음전력과 간섭전력을 합하여 고려하였다.

채널 환경과 프로파일 형태에 따른 BER을 비교해 보면 일정한 수신신호전력에서 다중경로 성분이 많고 상대적으로 긴 지연시간을 갖는 프로파일을 갖는 채널에서 좋은 성능을 보여주고 있다. 이는 높은 확산율에 의해 다중경로 성분을 레이크 수신기에서 적은 간섭으로 활용할 수 있기 때문에 짧은 지연시간을 갖고 다중경로 성분이 적은 채널의 경우보다 상대적으로 긴 지연시간을 갖고 다중경로 성분이 많은 채널 환경에서 레이크 수신기의 다이버시티 효과를 활용할 수 있기 때문으로 생각된다. [그림 11]에서 [그림 14]은 확산률 256과 32에서 실내/실외의 보행자 환경과 실외의 차량 환경에서 BER을 보여주고 있다. 신호대 잡음비(SNR)는 수신기의 역확산 전단에서의 신호대 잡음비를 의미한다. 따라서 일반적으로 많이 사용되는 수신기 최종단에서의 신호대 잡음비는 역확산 전

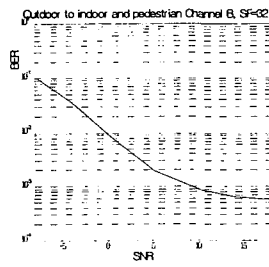
단에서의 신호대 잡음비에 확산이득을 더한 값이다.



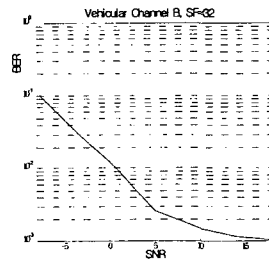
[그림 11] 실내/실외의 보행자 환경 (채널B, 확산율256)에서 BER



[그림 12] 실외 차량환경(채널B, 확산율256)에서 BER



[그림 13] 실내/실외의 보행자 환경 (채널B, 확산율32)에서 BER



[그림 14] 실외 차량환경(채널B, 확산율 32)에서 BER

확산율 32와 256의 이득은 9dB 차이가 난다. 모의실험 결과에서 BER 10^{-3} 을 기준으로 요구되는 수신기 최종단 신호대 잡음비를 비교해 보면 실외 차량환경 채널 B의 경우 확산율 256일때 -9dB 에 24dB 확산이득을 더하면 15dB이고 확산율 32일때 16dB에 15dB 이득을 더하면 31dB 이므로 그차이가 15dB 차이가 난다. 따라서 긴 지연시간을 갖는 채널에서는 확산이득이 적을 경우 성능의 열화가 커진다는 것을 확인할 수 있다. 반면, 실내 환경에서는 BER 10^{-3} 을 기준으로 요구되는 신호대 잡음비는 확산율이 256 일 경우와 확산율이 32일 경우 차이가 거의 없다.

위의 결과로부터 확산율이 높은 경우 다중경로 성분의 증가는 시스템 성능에 기여하고 확산율이 낮은 경우는 간섭신호의 증가를 가져와 요구되는 신호대 잡음비를 증가시킬 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 비동기 방식 IMT-2000 시스템(3GPP)의 가장 중요한 기능중 하나인 셀탐색 과정과 채널환경과 SF에 따른 시스템에 대한 성능분석을 하였다.

그림에서 보면 알 수 있듯이 수신 신호의 SNR이 클수록 최적 임계값이 작아짐을 알 수 있는데, 5 dB 에서 약 0.80, -5 dB 에서 약 0.98, -10 dB 에서 약 1.05이 적절한 임계값임을 알 수 있다.

또 실험 결과를 보면 신호대 잡음비에서 간섭신호는 포함되지 않는 조건에 대해 긴 지연 시간을 갖는 실외 차량 환경에서 확산율 256의 경우 BER 10^{-3} 을 만족하는 신호대 잡음비는 15dB 정도이며 확산율 32의 경우는 31dB이다. 실외 보행자 환경에서는 BER 10^{-3} 을 만족하는 신호대 잡음비는 확산율 256 일 경우 17dB 정도이며 확산율 32일 경우 25dB 이다. 위의 결과로부터 확산율(확산이득)이 큰 경우 레이크 수신기의 효과에 의해 다중경로 성분의 증가는 시스템 성능의 향상에 기여함을 알 수 있다. 그러나 확산율의 감소에 따라 다중경로 성분이 많이 존재하는 도심지역 채널에서 다중경로 성분이 간섭신호로 작용하여 성능이 저하됨을 알 수 있었다. 이를 통해 고속 전송(낮은 확산율)을 지원하는 W-CDMA 시스템의 동작을 위해서는 성능 향상 기술이 반드시 필요함을 알 수 있다. 이러한 기술로는 오류 정정 부호, 송신 안테나 다이버시티, 스마트 안테나, MIMO(space time diversity)등이 고려되어야 할 것이다. 따라서 향후에 성능 향상 기술등을 고려한 성능분석 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 앞으로 상용화를 앞둔 비동기 방식 IMT-2000 시스템의 테스트에서 성능 분석시 중요한 참고 자료로 활용될 수 있을 것이며, 이와 같이 실질적인 환경에 근거한 분석결과는 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

6. Reference

- [1] harri Holma, Antti 쉐나림, W-CDMA for UMTS, Wiley, 2000
- [2] Byoung-Hoon Kim, Byeong-Kook Jeong, And Byeong-Gi Lee, Application of Correlation-Aided DSA(CDSA) Technique to Fast Cell Search in IMT-200 W-CDMA Systems, Journal Of Communication And Networks, VOL.2, NO.1, March 2000.
- [3] Yi-Pin Eric Wang, Tony Ottosson, "Cell Search in W-CDMA", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREA IN COMMUNICATIONS, VOL.18, NO.8, August 2000.
- [4] Kenichi HIGUCHI, Mamoru SAWAHASHI, and Fumiyuki ADACHI, "Experiments on Fast Cell Search Algorithm Using Scrambling Code Masking for Inter-Cell Asynchronous W-CDMA System", IEICE TRANS. FUNDAMENTAL, VOL.E83-A, NO.11 November 2000.
- [5] Young-joon Song, "Frame Synchronization Confirmation Technique Using Pilot Pattern", JOURNAL OF COMMUNICATION AND NETWORKS, VOL.2, NO.1, March 2000.
- [6] 3GPP Technical Specification Group/RAN "Spreading And Modulation (FDD)" TS 25.213, V3.2.0, March 2000.
- [7] 3GPP Technical Specification Group/RAN "Physical Channels And Mapping of Transport Channels onto Physical Channels (FDD)", TS 25.211, V3.2.0, March 2000.
- [8] Rappaport, Wireless Communications, IEEE Press, 1996
- [9] Recommendation ITU-R M1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000.

Acknowledgement

본 논문은 한국과학재단 지정 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.