

비동기 W-CDMA 시스템의 성능 개선에 관한 연구

A Study on the Performance Improvement of Asynchronous W-CDMA System

우병훈* · 소준영** · 강희조***

Byung-Hoon Woo* · Jun-Young So** · Heau-Jo Kang***

요약

본 논문에서는 3GPP에서 제안한 비동기 IMT-2000 시스템의 표준안을 기초로 시스템을 구성하고, 다중경로 페이딩에 의한 수신신호 지연으로 나타나는 자기 간섭을 제거한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능을 분석하였다. 또한 자기 간섭 제거를 위해 새로운 레이크 수신기를 제안하고 레일리 페이딩 채널과 라이시안 페이딩 채널에서 시스템의 성능을 수치 해석하였다. 제안된 레이크 수신기는 일반적인 레이크 수신기보다 약 1 [dB]~6 [dB]의 수신 성능 개선 효과를 얻을 수 있었으며, IMT-2000 성능 개선 방법으로 매우 효과적이고, 본 연구에서 얻어진 자료는 DS-CDMA 모뎀 설계에 유용할 것으로 생각된다.

Abstract

In this paper, system model is based on proposed standardization by 3GPP(Asynchronous IMT-2000 system), and we have analyzed the performance of the DS-CDMA/QPSK which cancelled self-interference, so that occurs when the received signal time is delay by multipath fading. We proposed the new scheme that designed for self-interference cancellation and the system performance is calculated in Rician fading and Rayleigh fading channel. The proposed rake receiver can be achieved a gain of about 1 [dB]~6 [dB] more than generally rake receiver, and will be a very effective method to improve the performance of IMT-2000, and these data can be available for modem design of DS-CDMA.

I. 서론

가까운 시일내에 IMT-2000 시스템으로 하나의 단말기를 이용하여 세계 어느 지역에서나 통화가 가능한 단말기의 이동성이 실현되고, 지능망인 UPT (Universal Personal Telecommunication) 서비스를 통해 언제 · 어디서 · 어떠한 단말도 이용할 수 있는

개인의 이동성이 실현될 것이다. IMT-2000의 고유 서비스로는 위치정보 서비스 · 무선호출 서비스 · 메시징 서비스 · 트래픽 및 항법 서비스 등이 있으며 초기의 IMT-2000 시스템은 셀룰러와 PCS가 공존하는 상태에서 서비스가 제공될 것으로 보이며, 본 궤도에 이르게 되면 최대 2 Mbps 이하의 육상 서비스와 16 Kbps의 위성 서비스가 제공될 것이다^{[1],[2]}.

† 이 논문은 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-3-30200-009-1)지원으로 수행되었음.

* 전주공업대학 정보통신과(Dept. of Information & Communication Eng., Jeonju Technical College)

** EASTEL SYSTEMS 중앙연구소 무선통신연구팀(Wireless R&D Team, EASTEL SYSTEMS Corporation)

*** 동신대학교 전기전자공학과(Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.)

· 논문번호 : 20010212-018

· 수정완료일자 : 2001년 5월 15일

IMT-2000과 같은 이동통신 시스템 성능과 수용 용량에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 다중 경로 페이딩과 다중 접속 간섭에 의한 성능 열화이다. 이동통신에서 전송로를 통과한 다중파는 다중경로 페이딩과 다중경로 간섭을 받게 되므로 수신전력 레벨이 불규칙적으로 변동하게 되어, 멀티미디어 디지털 전송 시스템 설계에 있어서 큰 문제가 된다. 다중 경로 페이딩 환경에서는 수신 전계 강도 레벨이 수신기의 열잡음 레벨 가까이 열화되고, 고속 디지털 전송시 지연시간이 길어져 전송대역에 주파수 선택성 페이딩이 발생되어 전송 특성이 열화된다. 따라서 고속, 고품질 디지털 전송을 실현하기 위해서는 수신 전계강도 레벨 저하에 대한 보상과 다중 경로 페이딩 대책이 요구되고 있다^[3].

다중 경로 페이딩에 의한 성능 보상 및 수용 용량은 수신 다이버시티를 이용한 기술, 스마트 안테나, 송신 다이버시티 및 다중 사용자 검출을 포함한 다양한 기술로 실현될 수 있으며 이에 대한 연구는 계속적으로 진행되어 왔다. 하지만, DS-SS 방식의 수신 시스템은 다중 사용자 간섭 신호에 의해 성능이 제한되고, 지원 가능한 데이터 전송속도에 한계가 있다는 단점이 있으므로 수십 kbps에 해당하는 저속 및 중속 데이터 전송에 이용되고 있다. 그러나 DS-SS 시스템이 멀티미디어 통신과 같은 고속 데이터 전송에 적용될 경우, 채널상의 지연 확산으로 인한 인접 심볼간 간섭(ISI : Inter Symbol Interference)이 증가되어 심각한 성능 저하를 초래한다^[4].

기존의 레이크 수신기에서는 시간 지연을 갖고 도달하는 각 반사파를 독립적으로 분리하여 핑거수에 대응하는 시간 다이버시티 효과를 얻을 수 있었다. 하지만, 각각 독립적으로 분리된 신호들은 각각의 다른 독립 신호에 간섭으로 작용하게 되는데 이러한 간섭의 제거에 대한 연구는 미비하였다. 본 논문에서는 다중 경로 페이딩에 의해 발생하는 시간 지연에 따른 지연 신호가 간섭 신호로 영향을 미치는 현상을 자기 간섭(self-interference)이라 정의하고 수신 성능을 분석하였다.

본 논문에서는 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 제안된 IMT-2000 시스템에 대한 표준안^[5]을 기초로 송수신 시스템을 구성하여 광대역 무선채널 환경 및 다양한 시스템 운용환경에서 DS-SS/

QPSK 시스템의 수신 성능을 분석하였다. 수신 성능 개선을 위하여 동일 채널 간섭(CCI : Co-Channel Interference)제거 기술을 기존의 레이크 수신기에 적용하여 기존의 레이크 수신기에서 제거할 수 없었던 자기 간섭을 제거하는 새로운 레이크 수신기를 제안하고 수신 성능을 분석하였다. 또한 제안된 레이크 수신기와 IMT-2000 시스템의 역방향 링크에서 사용되고 있는 부호율 1/3, 구속장 9인 컨벌루션 부호화 기법을 적용한 경우의 성능 분석을 행하였다. 마지막으로 동일 채널 간섭제거기와 개선된 레이크 수신기를 직렬로 채용한 수신기 구조를 제안하고, 제안된 수신기에 대한 수신성능을 다중 접속 간섭과 다중 경로 페이딩 환경하에서 분석하였다.

II. 해석모델

2-1 W-CDMA 모델

3GPP가 제안한 IMT-2000 시스템은 W-CDMA로 구분되며 그림 1과 같이 시스템 구조를 가진다. 이와 같은 구조는 무선 접속 방식으로 DS-SS 방식을 채택하는 시스템이 거의 동일하며 단지 일부분의 기능이나 방식에서 차이가 날 뿐이다^[6]. 본 논문에서는 W-CDMA 송수신 시스템을 구성하고 성능을 분석하였다.

2-2 해석 모델

일반적인 이동통신 시스템은 송신단에서 수신단으로 하나 이상의 다중 경로가 존재하는 통신채널로 이루어졌으며, 이것은 대기중의 반사, 회절 등과

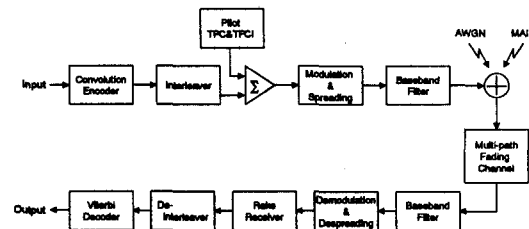


그림 1. W-CDMA 시스템
Fig. 1. W-CDMA System.

건물이나 물체에 의한 반사로 인하여 나타나는 다중경로 페이딩으로 해석되어진다. 이러한 다중경로 페이딩은 직접파의 유무에 의해 라이시안 및 레일리 페이딩 환경으로 모델링된다^[7]. 본 연구에서는 차세대 이동통신 시스템의 변조 방식인 QPSK 방식을 모델링하였으며 AWGN 환경에서 QPSK 통신 시스템의 에러 확률은 다음과 같다^[8].

$$P_{e1} = \text{erfc}\left(\sqrt{\gamma} \cdot \sin \frac{\pi}{M - ary}\right), \quad (1)$$

$$\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} \exp(-u^2) du,$$

여기서, γ 는 신호 대 잡음비(SNR :signal to noise ratio)이다.

2-2-1 지연 확산에 의한 자기 간섭 모델

주파수 선택성 페이딩 채널에서는 송신된 신호가 반사, 회절, 산란 등의 과정을 거쳐 수신될 때 다중 경로에 의해 지연확산이 발생한다. 즉, 임펄스 또는 매우 짧은 폭을 갖는 펄스를 송신하여 채널의 응답을 얻으면 분산된 펄스의 열을 얻을 수 있는데 이러한 시간분산성 특성을 나타내는 파라미터를 지연확산이라 하며 초기 응답시간으로부터 어떤 특정 레벨 이상의 크기를 갖는 응답이 지속되는 시간을 나타낸다^[9]. 이를 수식으로 나타내면

$$h(t) = \sum_{k=1}^n a_k \delta(t - T_k) \quad (2)$$

이고 여기서 n 은 다중경로수, a_i 는 i 번째 수신된 신호세기, T_i 는 i 번째 경로의 지연시간을 의미한다.

지연확산이 크면 서로 다른 다중경로를 통한 수신 신호의 위상변화가 크게 다르므로 신호의 상관성이 작아지며, 통상 경로 길이가 길어질수록 수신 신호의 세기는 줄어들고 지연시간은 길어진다는 것이다. 또한, 채널은 지역에 따라 서로 다른 지연 프로파일(delay power profile)을 가지며 이러한 다중경로에 의한 지연확산 성분은 지연 정도가 시스템의 1칩(chips) 이상일 때는 간섭신호가 되어 수신잡음레벨을 크게 높게 된다. 하지만, 광대역을 사용하는 시스템의 레이크 수신기는 주파수 선택성 페이딩하의 지연성분을 잡음전력에서 신호전력으로 바꾸는 역할을 하므로 수

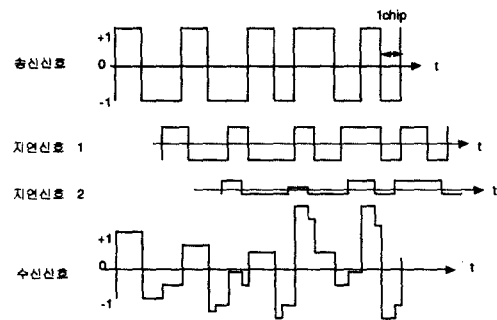


그림 2. 다중 경로에 의한 시간 지연 신호
Fig. 2. Time Delay Signal by Multi-path.

신 성능을 크게 향상시키는 것이 가능해진다.

하지만, 각각 독립적으로 분리된 신호들은 각각의 다른 독립 신호에 간섭으로 작용하게 되는데 이러한 간섭 제거에 대한 연구는 극히 미비하였다. 본 논문에서는 이러한 독립된 신호의 상호간섭을 자기 간섭이라 정의하고, 수신 성능의 개선을 위하여 동일 채널 간섭 제거 기술을 기존의 레이크 수신기에 적용하여 기존의 레이크 수신기에서 제거할 수 없었던 자기 간섭을 제거하는 새로운 레이크 수신기를 제안하였다.

본 논문에서 제거하고자 하는 자기 간섭은 기준 송신신호가 페이딩의 영향을 받을 때 나타나는 지연 신호에 의한 것으로 정의하고 이것을 그림 2에 나타내었다.

2-2-2 ITU-R M.1225 채널 모델

ITU-R M.1225^{[10],[11]}에서는 무선 채널 환경의 성능 평가를 위한 다중 경로 페이딩 채널을 제시하였다. 제시된 무선 채널 환경은 상대적으로 작은 지연 확산을 가지는 채널 A와 중간 지연 확산을 가지는 채널 B로 구분된다. 그리고 실내 사무실(indoor) 환경, 보행자 이동(outdoor to indoor) 환경, 차량 이동 환경(vehicular)에 대한 TDL (Tapped Delay Line) 모델에 따른 파라미터를 규정하였다. 각각의 모델은 경로의 수와 경로들이 상대적인 지연 및 각 경로들의 상대적인 전력으로 나타내었다. 표 1, 2, 3에 ITU-R M.1225에서 제시된 다중 경로 페이딩 채널에 대한 파라미터를 표시하고 각 환경에서의 도플

표 1. 실내 사무실 환경 Tapped Delay Line 파라미터

Table 1. Parameter of TDL in Indoor Office Environment.

Tap	ITU-R M.1225				Modeling Parameter	
	Channel A		Channel B		Channel A	Channel B
	Delay (ns)	Average Power (dB)	Delay (ns)	Average Power (dB)	Tap Weight	
1	0	0	0	0	0.6172	0.5784
2	50	-3.0	100	-3.6	0.3093	0.2525
3	110	-10.0	200	-7.2	0.0617	0.1102
4	170	-18.0	300	-10.8	0.0098	0.0481
5	290	-26.0	500	-18.0	0.0015	0.0091
6	310	-32.0	700	-25.2	0.0004	0.0017

표 2. 보행자 이동 환경 Tapped Delay Line 파라미터

Table 2. Parameter of TDL in Outdoor to Indoor Pedestrian Environment.

Tap	ITU-R M.1225				Modeling Parameter	
	Channel A		Channel B		Channel A	Channel B
	Delay (ns)	Average Power (dB)	Delay (ns)	Average Power (dB)	Tap Weight	
1	0	0	0	0	0.8894	0.4057
2	110	-9.7	200	-0.9	0.0953	0.3298
3	190	-19.2	800	-4.9	0.0107	0.1313
4	410	-22.8	1200	-8.0	0.0046	0.0643
5	-	-	2300	-7.8	-	0.0673
6	-	-	3700	-23.9	-	0.0017

표 3. 차량 이동 환경 Tapped Delay Line 파라미터

Table 3. Parameter of TDL in Vehicular and High Antenna Environment.

Tap	ITU-R M.1225				Modeling Parameter	
	Channel A		Channel B		Channel A	Channel B
	Delay (ns)	Average Power (dB)	Delay (ns)	Average Power (dB)	Tap Weight	
1	0	0	0	-2.5	0.4850	0.3226
2	310	-1.0	300	0	0.3852	0.5738
3	710	-9.0	8900	-12.8	0.0611	0.0301
4	1090	-10.0	12900	-10.0	0.0485	0.0574
5	1730	-15.0	17100	-25.2	0.0153	0.0017
6	2510	-20.0	20000	-16.0	0.0049	0.0144

$$\gamma_{bl} = \frac{E_b}{N_o} \cdot \rho^2 \sum_{i=1}^L \alpha_i = \sum_{i=1}^L \gamma_i$$

러 스펙트럼을 위한 MS의 이동 속도를 제시하고 있다. 실내 사무실 환경과 보행자 이동 환경은 보행자 속도를 3 km/h, 차량 이동 환경은 120 km/h, 에 해당하는 속도로 명시하였다.

2-3 다중 경로 페이딩 채널 모델

다중 경로 페이딩은 입력 신호에 대하여 상대적인 지연을 가지는 경로들이 존재하며, 각각의 경로들이 flat 페이딩을 거쳐 수신부로 수신되는 형태이다. 가장 빠른 지연을 가지는 경로의 지연을 0이라고 보고 각각에 대하여 지연 1, 2, 3, ..., n-1을 가지는 경로들로 표시하였으며 BS(Base Station)와 MS사이의 거리에 따른 장구간 페이딩은 고려하지 않았으며 입력 신호의 전력을 1로 보았을 때, 각 경로들의 전력의 합이 1이 되도록 하였다.

각 경로들의 상대적인 지연 값들은 IMT-2000 시스템의 계산된 샘플 단위 값이며 각 경로들의 전력의 합이 1이 되도록 ITU-R M.1225에서 제시된 값들을 계산하여 표시하였다. 수신부는 한 칩 이상의 지연을 가지는 경로들을 동기추적 하는 것으로 가정하였으며 채널 추정 알고리즘은 사용하지 않고, 채널 계수를 수신부의 입력으로 하여 데이터를 복조하였다. 표 1~3에 ITU R M.1225에서 무선 채널 환경의 성능 평가를 위해 제시한 다중 경로 페이딩 채널 및 성능 평가를 위해 제시된 값들을 계산한 표를 나타내었다.

III. 개선된 레이크 수신기를 채용하는 IMT-2000 시스템의 수신 성능 분석

3-1 제안된 레이크 수신기 모델

레이크 수신기는 PN 코드에 의한 상관값의 크기에 따라 지연 시간 단위로 각 탭에 할당된다. PN 코드의 상관값은 지연된 수신 신호의 수신 SNR과 같은 것으로 수신 SNR은 다음 식과 같이 주어진다^{[7],[12]}.

$$\gamma_{bl} = \frac{E_b}{N_o} \cdot \rho^2 \sum_{i=1}^L \alpha_i = \sum_{i=1}^L \gamma_i \quad (3)$$

이며, 여기서 ρ 는 송신신호의 순시진폭, α_i 는 탭 weight, γ_i 는 i 번째 탭의 SNR 값이다. 그러므로, 자

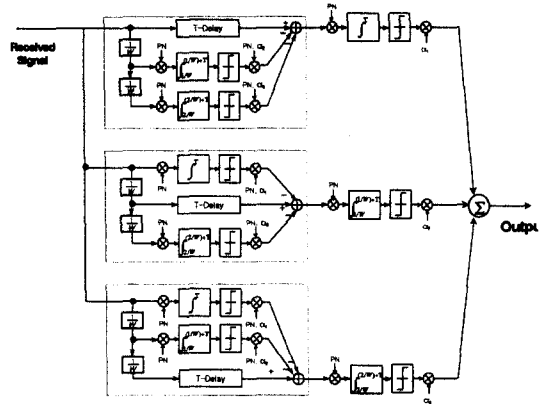


그림 3. 제안된 레이크 수신기 모델

Fig. 3. Proposed Rake Receiver Model.

기간섭이 존재하는 DS-CDMA의 레이크 수신기에서의 SNR 값은 다음과 같이 주어진다.

$$\gamma_{bl} = \sum_{i=1}^L \left(\frac{\rho^2}{\frac{2(U-1)}{3M} (1 - \alpha_i) \cdot \rho^2 + \frac{N_o}{E_b} \cdot \frac{1}{\alpha_i}} \right) \quad (4)$$

단, $M=PN$ 코드 길이, $U=$ 사용자 수.

그림 3에 제안된 레이크 수신기의 구조를 3개의 탭으로 나타내었다. 제안된 레이크 수신기는 본 논문에서 제안된 자기 간섭을 제거할 수 있는 레이크 수신기로서 각 탭에서는 각기 다른 시간 지연에 의해 발생하는 자기 간섭을 동일 채널 간섭 제거 기법으로 제거하고 있다. 탭 1은 일정 시간 수신 신호를 지연시키고 탭 2, 탭 3에서 얻은 수신 신호를 다시 확산시켜 수신 신호에서 빼주는 방법으로 자기 간섭을 제거하고 있다. 그림 3에서 자기 간섭 제거 이후 탭 1에서 출력된 SNR은 다음과 같이 정의된다 (단, 탭이 3개인 경우)^{[13],[14]}.

$$\gamma_{(T-d)1} = \frac{\rho^2}{\frac{2U}{3M} (A_{i2} + A_{i3}) \cdot \rho^2 + \frac{N_o}{E_b} \cdot \frac{1}{\alpha_1}}, \quad (5)$$

여기서,

$$A_{i2} = 4 \cdot Pe_{r2}, \quad A_{i3} = 4 \cdot Pe_{r3}$$

$$Pe_{r2} = \text{erfc} \left(\sqrt{\gamma_{r2}} \cdot \sin \frac{\pi}{M - ary} \right),$$

$$Pe_{\gamma 3} = \text{erfc}\left(\sqrt{\gamma_3} \cdot \sin \frac{\pi}{M - a\gamma}\right)$$

위의 수식에서와 마찬가지로 탭 2와 탭3의 수신 SNR은 식 (5)와 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$\gamma_{(T-d)2} = \frac{\rho^2}{\frac{2U}{3M}(A_{v1} + A_{v3}) \cdot \rho^2 + \frac{N_0}{E_b} \cdot \frac{1}{\alpha_2}} \quad (6)$$

여기서,

$$A_{v1} = 4 \cdot Pe_{\gamma 1}$$

$$Pe_{\gamma 1} = \text{erfc}\left(\sqrt{\gamma_1} \cdot \sin \frac{\pi}{M - a\gamma}\right)$$

$$\gamma_{(T-d)3} = \frac{\rho^2}{\frac{2U}{3M}(A_{v1} + A_{v2}) \cdot \rho^2 + \frac{N_0}{E_b} \cdot \frac{1}{\alpha_3}} \quad (7)$$

그러므로 제안된 레이크 수신기의 출력단에서의 SNR값은 다음과 같이 주어진다^[14].

$$\gamma_{RS} = \gamma_{(T-d)1} + \gamma_{(T-d)2} + \gamma_{(T-d)3} \quad (8)$$

3-2 제안된 레이크 수신기를 채용하는 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능

3-2-1 AWGN 환경에서의 오율 특성

식 (8)에서 구한 개선된 레이크 수신기 출력단에서의 SNR 값을 고려하면 AWGN 환경에서 DS-CDMA/QPSK 시스템의 오율식은 다음과 같이 표현된다.

$$P_e = \text{erfc}\left(\sqrt{\gamma_{RS}} \cdot \sin \frac{\pi}{M - a\gamma}\right) \quad (9)$$

3-2-2 AWGN과 다중경로 페이딩 환경에서의 오율 특성

다중경로 페이딩 환경하에서의 DS-CDMA/QPSK 시스템의 오율식은 다음과 같이 주어진다.

$$P_{e2} = \int_0^{\infty} P_e \cdot p(\rho) d\rho \quad (10)$$

여기서 P_{e2} 는 QPSK 변조 방식의 오율식이며,

$$p(\rho) = 2\rho(K+1) \cdot \exp[-K - \rho^2(K+1)]$$

$$\cdot I_0[2\rho\sqrt{K(K+1)}]; \quad \rho \geq 0$$

이다.

여기서, $p(\rho)$ 는 수신 신호 진폭을 실효치에 대해 정규화시킨 진폭 변동을 ρ 이라 할 때의 ρ 에 대한 확률밀도함수이고, 직접파대 반사파의 비 K 는 라이시안 계수이다. 위의 수식에서 라이시안 계수(K) 값이 0인 경우 집적파가 없는 레일리 페이딩으로 해석된다^{[8],[15]}. 일반적으로 K 는 실내 환경에서는 6 dB ~ 12 dB로 모델링되고 차량 이동 환경에서는 다소 감소하는 것으로 알려져 있다^[16].

3-2-3 해석 결과 및 검토

다중 경로 페이딩 환경하에서 제안된 레이크 수신기를 채용한 경우 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 분석을 행하였다. 또한 기존의 레이크 수신기를 채용하였을 경우와 제안된 레이크 수신기를 채용하였을 경우 자기간섭의 제거에 따른 수신 성능 개선 폭을 제시된 다중 경로 페이딩 환경(실내 사무실 환경, 보행자 이동 환경, 차량 이동 환경)에서 분석하였다. 표 4는 성능 분석을 위한 파라미터를 나타내었다.

그림 4는 실내 사무실 환경에서 제안된 레이크 수신기를 채용하였을 경우의 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. 제안된 레이크 수신기를 채용하였을 경우 SNR 25 [dB]에서 BER=10⁻³을 만족할 수 있었으며, 기존의 레이크 수신기에 비하여 큰 폭의 수신 성능 개선을 가져올 수 있었다. 또한, 상대적으로 작은 지연 확산을 가지는 채널 A와 중간 지연 확산을 가지는 채널 B에서의 수신 성능의 차이는 거의 없음을 알 수 있었다. 그림 5는 보행자 이동 환경에서 제안된 레이크 수신기

표 4. 성능 분석 파라미터 I

Table 4. Performance Analysis Parameter I.

Chip rate(Mcps)	3.84
Length of PN Code (M)	31
Number of User	2
Number of Finger	3
Rician Factor (K)	0, 5, 10 [dB]

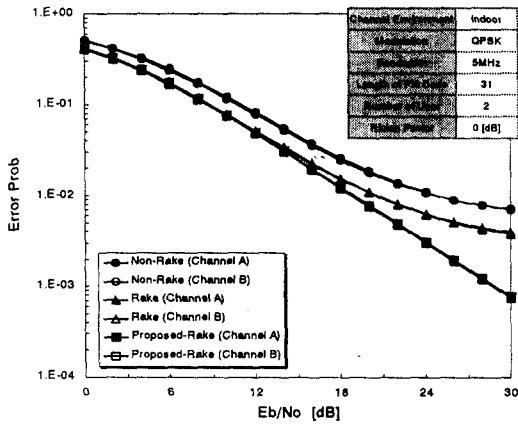


그림 4. 제안된 레이크 수신기를 채용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선 (실내 사무실 환경)
 Fig. 4. Performance Improvement of DS-CDMA/QPSK System Adopting the Proposed Rake Receiver(Indoor Office Environment).

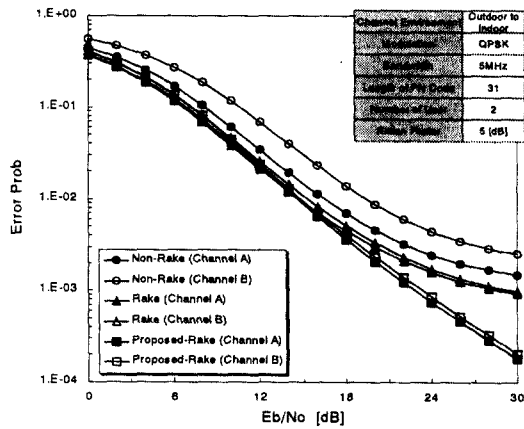


그림 5. 제안된 레이크 수신기를 채용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선(보행자 이동 환경)
 Fig. 5. Performance Improvement of DS-CDMA/QPSK System Adopting the Proposed Rake Receiver(Outdoor to Indoor Environment).

를 채용하였을 경우의 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. BER=10⁻³에서 제안된

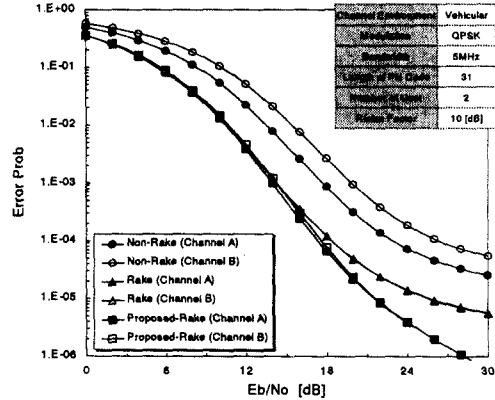


그림 6. 제안된 레이크 수신기를 채용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선(차량 이동 환경)
 Fig. 6. Performance Improvement of DS-CDMA/QPSK System Adopting the Proposed Rake Receiver(Vehicular Environment).

레이크 수신기는 기존의 레이크 수신기에 비하여 약 6 [dB] 정도의 수신 성능 개선 효과가 있는 것으로 나타났다. 그림 6은 차량 이동 환경에서 제안된 레이크 수신기를 채용하였을 경우의 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. BER=10⁻³에서 제안된 레이크 수신기는 기존의 레이크 수신기에 비하여 수신 성능 개선이 거의 없었으나 BER=10⁻⁵에서는 약 6 [dB]의 수신 성능 개선 효과가 있었다.

성능 분석 수행을 위한 세 가지 모델의 채널 환경에서 공통적으로 상대적으로 작은 지연 확산을 가지는 채널 A가 중간 지연 확산을 가지는 채널 B보다 수신성능이 양호함을 알 수 있었으며, 실내 사무실 환경에 비해 상대적으로 채널 환경이 양호한 보행자 이동 환경 및 차량 이동 환경에서는 채널 A와 B의 수신 성능의 폭이 실내 사무실 환경에 비해 크을 알 수 있었다. 그러나 기존의 레이크 수신기 및 제안된 레이크 수신기를 채용하였을 경우에는 채널 A와 B의 수신성능의 차이가 거의 없었으며, 이것은 시간지연으로 인한 성능 열화 요인을 레이크 수신기를 채용함으로써 개선시킨 결과임을 알 수 있었다.

3-3 컨벌루션 부호화와 간섭제거 기법에 의한 수신 성능 개선

3-3-1 컨벌루션 부호화에 의한 수신 성능 개선

본 논문에서 고려하는 컨벌루션 부호로는 비동기 식 IMT-2000 시스템의 역방향 링크에서 사용되고 있는 부호율 1/3, 구속장 9를 이용하였다.

그림 7은 부호율 1/3, 구속장 9인 컨벌루션 부호의 구조를 나타내고, 대응되는 전달함수 $T(D)$ 는 다음과 같다^[7].

$$T(D) = 5D^{18} + 7D^{20} + 36D^{22} + 85D^{24} + 204D^{26} + 636D^{28} + 1927D^{30} + 5416D^{32} + 15769D^{34} + \dots \quad (11)$$

$$\frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1} = 11D^{18} + 32D^{20} + 195D^{22} + 564D^{24} + 1473D^{26} + 5129D^{28} + 17434D^{30} + 54092D^{32} + 171117D^{34} + \dots \quad (12)$$

따라서, AWGN과 다중접속 간섭이 함께 존재하는 채널 환경하에서 컨벌루션 부호화 된 DS-CDMA QPSK 시스템의 최종 비트 오류율의 상한은 다음과 같다^[7].

$$P_b < \frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1, D=\sqrt{4P_s/(1-P_s)}} \quad (13)$$

여기서, P_{cs} 는 식 (10)으로 구해지는 AWGN과 다중경로 페이딩이 존재하는 채널 환경하에서 개선된 레이크 수신기를 채용하는 DS-CDMA/QPSK 시스템의 오류이다.

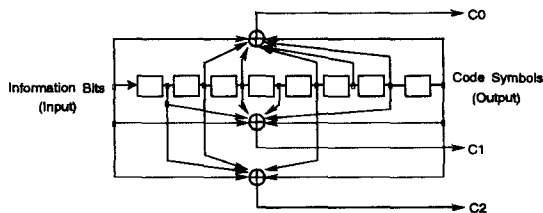


그림 7. 부호율 $R_c=1/3$, 구속장 $K_c=9$ 컨벌루션 인코더

Fig. 7. Convolutional Encoder, $R_c=1/3$, $K_c=9$.

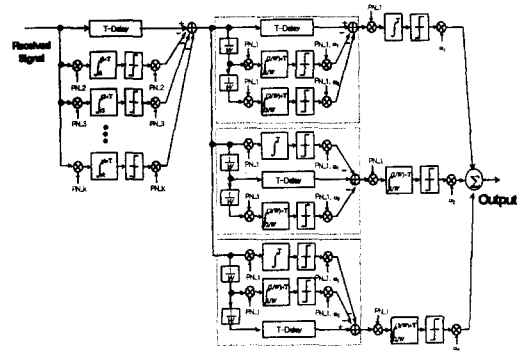


그림 8. 동일 채널 간섭제거기와 제안된 레이크 수신기를 직렬로 채용한 수신기 구조

Fig. 8. Structure of a CCI Canceller and the Proposed Rake Receiver Adopted in Cascade Form.

3-3-2 다중접속간섭 제거 기법에 의한 수신 성능 개선

CDMA 시스템의 용량은 다중접속간섭에 의해 제한되기 때문에 CDMA 시스템에서는 CCI를 줄여 줌으로써 그만큼 용량을 증가시킬 수 있다.

본 논문에서는 개선된 레이크 수신기의 입력으로 다중접속간섭제거기(CCI Canceller) 출력이 사용되므로, 다중경로 페이딩 환경하에서 CCI Canceller와 개선된 레이크 수신기를 직렬로 채용하는 DS-CDMA/QPSK 시스템을 그림 8과 같이 구성하여 성능을 분석하였다^{[17],[18]}.

3-3-3 해석 결과 및 검토

다중 경로 페이딩 환경하에서 제안된 레이크 수신기와 IMT-2000 시스템의 역방향 링크에서 사용되고 있는 부호율이 1/3 이고 구속장이 9인 컨벌루션 부호화 기법을 적용한 경우의 성능 분석을 행하였다. 또한 다중 접속 간섭 제거를 위하여 동일 채널 간섭제거기와 제안된 레이크 수신기를 직렬로 연결한 수신기에 대한 자기간섭 및 다중 접속 간섭의 제거에 따른 수신 성능을 제시된 다중 경로 페이딩 환경에서 분석하였다. 표 5는 성능 분석을 위한

표 5. 성능 분석 파라미터 II

Table 5. Performance Analysis Parameter II.

Number of User	1, 16
Number of Finger	3, 4
Convolution Coding	Code rate=1/3, Constraint length=9

파라미터를 나타내었다.

그림 9는 실내 사무실 환경에서 제안된 레이크 수신기 및 컨벌루션 부호화를 채용하였을 경우의 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. 제안된 시스템은 레이크 수신기를 채용하지 않았을 경우와 비교하면 BER= $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 을 기준으로 할 경우 약 5~10 [dB]의 수신성능 개선이 있었다. 또한 기존의 레이크 수신기와의 수신성능 비교에서는 약 1~3 [dB]의 수신성능 개선을 얻을 수 있었다. 그림 10은 보행자 이동 환경에서 제안된 레이크 수신기 및 컨벌루션 부호화를 채용하였을 경우의 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. 제안된 시스템은 레이크 수신기를 채용하지 않았을 경우와 비교하면 BER= $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 을 기준으로 할 경우 약 3.5~5 [dB]의 수신성능 개선이 있었으며 기존의 레이크 수신기와의 수신성능 비교에서는 약 1~2 [dB]의 수신성능 개선을 얻을 수 있었다(채널 A의 경우). 그림 11은 차량 이동 환경에서 제안된 레이크 수신기 및 컨벌루션 부호화를 채용하였을 경우의 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. 제안된 시스템은 레이크 수신기를 채용하지 않았을 경우와 비교하면 BER= $10^{-9} \sim 10^{-10}$ 을 기준으로 할 경우 약 4 [dB]의 수신성능 개선이 있었다(채널 A의 경우). 또한 기존의 레이크 수신기와의 수신성능 비교에서는 약 1 [dB]의 수신성능 개선을 얻을 수 있었다(채널 A의 경우). 그림 12는 다중 경로 페이딩 및 CCI가 존재하는 채널 환경하에서 CCI Canceller와 제안된 레이크 수신기를 직렬로 채용하였을 경우의 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. ITU-R M.1225 채널 모델은 중간 지연 확산을 갖는 채널 B를 고려하였으며, 컨벌루션 부호화를 채용한 경우에서 분석하였다. CCI Canceller에 의한 성능 개선은 BER= 10^{-5}

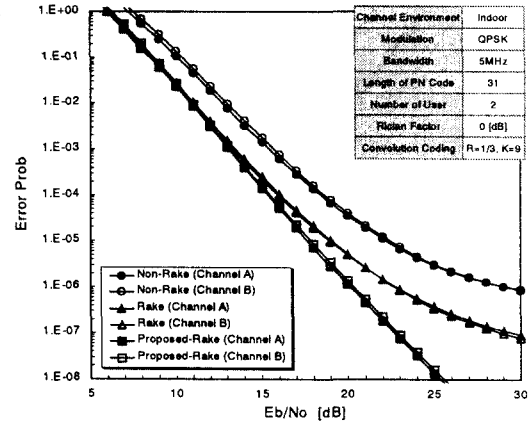


그림 9. 제안된 레이크 수신기와 컨벌루션 부호화를 채용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선(실내 사무실 환경)

Fig. 9. Performance Improvement of DS-CDMA/QPSK System Adopting the Proposed Rake Receiver and Convolution Coding (Indoor Office Environment).

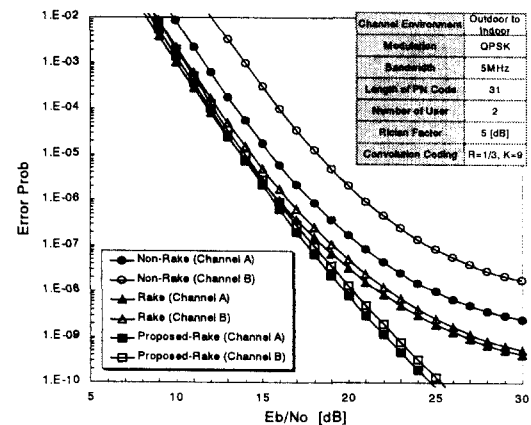


그림 10. 제안된 레이크 수신기와 컨벌루션 부호화를 채용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선(보행자 이동 환경)

Fig. 10. Performance Improvement of DS-CDMA/QPSK System Adopting the Proposed Rake Receiver and Convolution Coding (Outdoor to Indoor Environment).

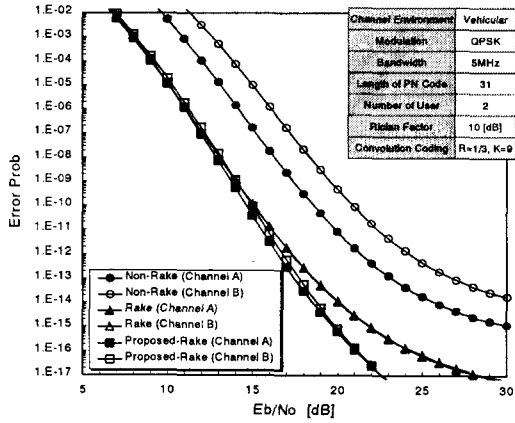


그림 11. 제안된 레이크 수신기와 컨벌루션 부호화를 채용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선(차량 이동 환경)

Fig. 11. Performance Improvement of DS-CDMA/QPSK System Adopting the Proposed Rake Receiver and Convolution Coding (Vehicular Environment).

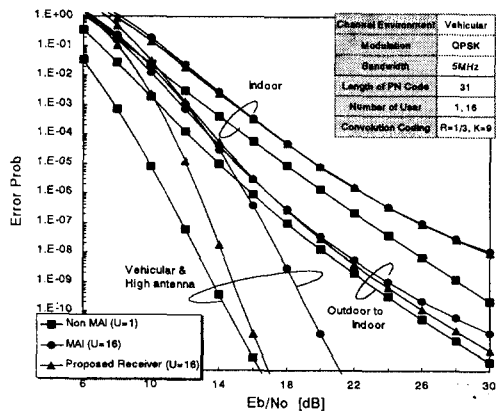


그림 12. 동일 채널 간섭제거기와 제안된 레이크 수신기를 직렬로 채용하였을 경우 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선

Fig. 12. Performance Improvement of DS-CDMA/QPSK System Adopting the Proposed Rake Receiver and a CCI Canceller in Cascade form.

에서 약 0.2~3 [dB]의 성능 개선을 가져 왔으며, BER= 10^{-9} 에서 약 1~4 [dB]의 성능 개선을 가져올 수 있음을 알 수 있었다. 차량 이동 환경에서 가장 큰 폭으로 개선되었으며, 실내 사무실 환경에서는 개선 효과가 거의 없음을 알 수 있었다.

제안된 레이크 수신기 및 컨벌루션 부호화를 채용하였을 경우 고려되었던 채널 환경하에서 멀티미디어 통신이 가능한 수신 성능개선을 가져올 수 있었으며, 이것은 컨벌루션 부호화를 채용함으로써 얻어지는 부호화 이득 및 제안된 레이크 수신기에 의한 자기간섭 제거 효과에 의한 것임을 알 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 3GPP에서 제안된 IMT-2000 시스템에 대한 표준안을 기초로 송수신 시스템을 구성하여 광대역 무선채널 환경 및 다양한 시스템 운용환경에서 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 분석한다. 수신 성능의 개선을 위하여 CCI 제거 기술을 기존의 레이크 수신기에 적용하여 기존의 레이크 수신기에서 제거할 수 없었던 자기 간섭을 제거하는 새로운 레이크 수신기를 제안하고 수신 성능을 분석하였으며 제안된 레이크 수신기와 IMT-2000 시스템의 역방향 링크에서 사용되고 있는 부호를 1/3, 구축장 9인 컨벌루션 부호화 기법을 적용한 경우와 CCI Canceller와 개선된 레이크 수신기를 직렬로 채용한 수신기 구조를 제안하고, 제안된 수신기에 대한 수신 성능을 분석하였다.

성능 분석 수행을 위한 세 가지 모델의 채널 환경에서 상대적으로 작은 지연 확산을 가지는 채널 A가 중간 지연 확산을 가지는 채널 B보다 수신성능이 양호함을 알 수 있었으며, 실내 사무실 환경에 비해 상대적으로 채널 환경이 양호한 보행자 이동 환경 및 차량 이동 환경에서는 채널 A와 B의 수신 성능의 폭이 실내 사무실 환경에 비해 큼을 알 수 있었다. 그러나 기존의 레이크 수신기 및 제안된 레이크 수신기를 채용하였을 경우에는 채널 A와 B의 수신성능의 차이가 거의 없었으며, 이것은 시간지연으로 인한 성능 열화 요인을 레이크 수신기를 채용함으로써 개선시킨 결과임을 알 수 있었다. 다중 경

로 페이딩 및 다중 접속 간섭 환경하에서 동일 채널 간섭제거기와 제안된 레이크 수신기를 직렬로 채용한 시스템은 다중 접속 간섭을 효과적으로 제거할 수 있었으며, 다중 접속 간섭의 제거에 의한 성능 개선은 전파 환경이 양호할수록 E_b/N_0 값이 커질수록 크게 증가함을 알 수 있다.

이와 같은 결과로부터 제안된 레이크 수신기는 하드웨어가 다소 복잡해지는 단점이 있으나 집적회로의 구현 기술의 발달로 IMT-2000 시스템 및 DS-SS-CDMA 이동통신 시스템 수신기에 수신 성능 개선을 위한 대안으로 도입이 가능하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 전자신문, "IMT-2000과 통신분야의 변화", 2000. 3.28.
- [2] 임수덕, 조중재, 황진수, 조용환, "IMT-2000 서비스의 수요예측", 한국통신학회 논문지, vol. 24, no. 12A, 1999.12.
- [3] 이정도, "다중반송파 변조를 이용하는 고속 디지털 전송 시스템에 관한 연구", 동신대학교 박사학위 논문, 2000. 2.
- [4] 이상근, 방효창, CDMA 무선기술, 도서출판 세화, 2000. 3.
- [5] 3GPP, TS 25.211 V3.2.0, Mar. 2000.
- [6] 손성찬, "매크로셀과 마이크로셀이 중첩된 환경에서 광대역 CDMA WLL 시스템 채널 용량", 한국항공대학교 박사학위논문, 2000. 2.
- [7] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd Ed. New York: McGraw Hill, 1989.
- [8] B. Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall International Editions, 1988.
- [9] 황춘식, "다중로채널 신호의 새로운 수신방식에 관한 연구", 한국통신학회, 90 전기통신학술 연구과제, 1991. 3.
- [10] REC ITU-M.1225, *Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000*.
- [11] ARIB, *Evaluation Methodology for IMT-2000 Radio Transmission Technologies*, Sep. 1998.
- [12] Sung Hyun Choi and Sang Wu Kim, "Optimum bandwidth expansion for DS/SSMA communication over a multipath rayleigh channel", *ICC 95*, vol. 3, June 1995.
- [13] Tachikawa, S., "Characteristics of M-ary/Spread Spectrum Multiple Access Communication Systems Using Co-channel Interference Cancellation Techniques", *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 8, pp. 941-946, Aug. 1993.
- [14] 소준영, 우병훈, 강희조, "개선된 레이크 수신기를 채용하는 IMT-2000 시스템의 성능 분석", 한국전자과학회 추계종합학술발표회 논문지, pp.39-43, 2000.11.
- [15] E. G. Kim, C. H. Oh, and S. J. Cho, "Performance of 16 QAM signal with optimum threshold detection and MRC diversity reception in Rician fading channel in the presence of cochannel Rayleigh interference", *APCC' 95*, pp. 79-83, June 1995.
- [16] Andersen, J. B., Rappaport, T. S., and Yoshida, S., "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels", *IEEE Commun. Mag.*, pp. 42-49, Jan. 1995.
- [17] S. Tachikawa, "Characteristics of M-ary/Spread spectrum multiple access communication systems using co-channel interference cancellation techniques," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 8, pp.941-946, Aug. 1993.
- [18] 소준영, "IMT-2000 시스템의 수신 성능 개선에 관한 연구", 동신대학교 석사학위논문, 2001. 2.

우 병 훈



1966년 11월 1일생
1988년 2월: 한국항공대학교 통신
정보공학과 (공학사)
1994년 2월: 한국항공대학교 대학
원 통신정보공학과(공학석사)
1994년 1월~1999년 2월: 고등기술
연구원 주임연구원
1999년 3월~현재: 전주공업대학

정보통신과 조교수
1999년 9월~현재: 동신대학교 전기전자공학과 (박사과정)
[주 관심분야] 통신시스템, 대역확산통신, 이동통신, 네트
워크 통신

소 준 영



1974년 6월 14일생
1999년 2월: 동신대학교 전기전자
공학과 (공학사)
2001년 2월: 동신대학교 전기전자
공학과(공학석사)
2000년 12월~현재: EASTEL SYSTEMS
중앙연구소(무선통신연구팀) 연
구원

[주 관심분야] IMT-2000, 무선통신, 이동통신

강 희 조



1994년 2월: 한국항공대학교 항공
전자 공학과 공학박사
1994년 7월~1995년 12월: 전자통
신 연구원 위성망 연구소 초빙연
구원
1996년 8월~1997년 8월: 오사카
대학교 공학부 통신공학과 객원
교수

1998년 3월~1998년 8월: 전자통신연구원 무선이동 위성
통신 시스템 연구소 초빙연구원
2000년 6월~현재: 한국전자과학회 호남지부 지부장
1999년 12월~현재: 동신대학교 기술혁신센터(TIC) 부소
장
2000년 7월~현재: 동신대학교 지역산업정보화센터장
1990년 3월~현재: 동신대학교 전기전자공학부 교수
[주 관심분야] 무선통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자
공학, 무선광통신, 밀리미터파 통신, ITS 통신시스템,
멀티미디어 통신, PELD