

# 레이크 수신기의 성능 개선에 관한 연구

정회원 우병훈\*, 강희조\*\*

## A study on the Performance Improvement of Rake Receiver

Byung-hoon Woo\*, Heau-jo Kang\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문은 레이크 수신기의 성능 개선에 관한 것으로 다중 경로 페이딩에 의한 시간 지연으로 나타나는 자기 간섭이 제거된 DS-CDMA/QPSK 신호의 성능을 분석하였다. 자기 간섭 제거를 위해 새로운 레이크 수신기를 제안하고 제안된 수신기의 시스템 성능은 차량 이동통신 환경, 실내 이동통신 환경과 실외에서 실내로 이동중인 환경으로 구분하여 라이시안과 레일리 페이딩 환경에서 분석하였다. 제안된 레이크 수신기는 적용한 DS-CDMA 시스템의 합성 수신 SNR 증가로 오율 성능이 개선되었으며 오율  $10^{-3}$ 에서  $K=6$ [dB]일 경우에 1[dB]의 성능 개선 효과가 나타났으며,  $K=3.7$ [dB]일 경우에는 1.5[dB],  $K=0$ [dB]일 경우에는 2[dB]의 성능 개선 효과를 얻을 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, we have analyzed the performance of the DS-CDMA/QPSK which cancelled auto-interference, so that occurs when the received signal time is delay by multipath fading. We proposed the scheme that designed for auto-interference cancellation and the system performance is calculated in Rician fading channel(outdoor to indoor, indoor) and Rayleigh fading channel(vehicular). By using the proposed rake receiver to increase the SNR (total received signal to noise ratio), the performance of DS-CDMA/QPSK is improved and when  $K$ (Rician factor) is 6[dB], 3.7[dB] and 0[dB], a gain of 1[dB], 1.5[dB] and 2[dB] can be achieved, respectively, when the BER is  $10^{-3}$ .

### I. 서론

개인 이동통신과 정보화 사회의 급속한 발전으로 다양한 정보 서비스에 대한 욕구가 증가하면서 이동통신을 통한 멀티미디어 서비스의 필요성이 확대되고 있다<sup>[1]</sup>. 21세기를 여는 2000대 초에 2GHz 대역을 이용한 서비스 제공을 목표로 하는 3세대 이동통신 서비스 시스템은 IMT-2000(International Mobile Telecommunication-2000)으로 대표되고 있다. IMT-2000은 유선에 의해 제공되는 서비스와 동일한 수준의 신호 품질을 유지하며 2Mbps 전송 속도의 서비스 제공을 목표로 하고 있으며 광대역의 IMT-2000 시스템은 DS-CDMA 기술을 기반으로 다양한 서비스를 제공할 것으로 기대된다.

DS-CDMA 시스템은 하나의 통신 채널을 다수의 사용자가 동시에 다른 PN 코드를 이용하여 데이터를 전송하는 시스템이다. 수신기에서는 송신기에서 사용한 PN 코드를 이용하여 송신 신호를 복조한다. 수신기에 수신되는 신호는 다중 사용자에 의한 다중 접속 간섭과 다중 경로에 의한 페이딩<sup>[2]</sup>으로 송신 신호를 복조하는데 많은 어려움이 있다. 이러한 문제는 동일 채널 간섭 제거 기술<sup>[3]</sup>과 레이크 수신기<sup>[4]</sup>를 이용하여 극복할 수 있으나 이동통신 환경에서 나타나는 다중경로로 나타나는 시간 지연에 의한 자기 간섭은 제거할 수가 없다. 따라서 본 논문에서는 자기 간섭 제거를 위하여 새로운 레이크 수신기를 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 DS-CDMA/

\* 전주공업대학 정보통신과(bhwoo@jtc.ac.kr), \*\* 동신대학교 전기전자공학부(hjkang@white.dongshinu.ac.kr)

논문번호 : 00415-1023, 접수일자 : 2000년 10월 23일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-30200-009-1)지원으로 수행되었습니다.

QPSK 해석 모델을 제시하고, 다음으로 자기 간섭의 정의와 간섭 제거 기술을 이용한 레이크 수신기를 제안하고, 수신 SNR을 분석한다. 마지막으로 제안된 레이크 수신기의 성능을 수치해석하고 이를 그림으로 나타내어 결과를 분석하고자 한다.

## II. 시스템 모델

### 1. 해석 모델

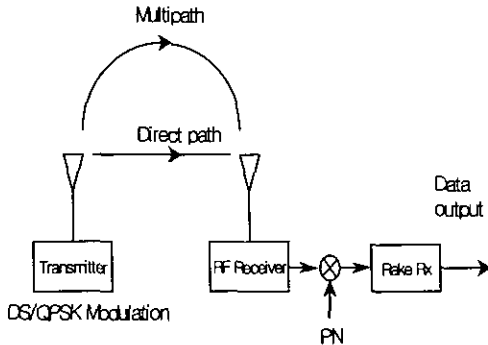


그림 1. 해석 모델

그림 1은 본 논문에서 해석 모델로 고려되어진 DS-CDMA/QPSK 이동통신 시스템이다. 일반적인 이동통신 시스템은 송신단에서 수신단으로 하나 이상의 다중 경로가 존재하는 통신채널로 이루어졌으며, 이것은 대기중의 반사, 회절 등과 건물이나 물체에 의한 반사로 인하여 나타나는 다중경로 페이딩으로 해석되어진다. 이러한 다중경로 페이딩은 직접파의 유무에 의해 라이시안 및 레일리 페이딩 환경으로 모델링된다. 차세대 이동통신 시스템의 변조 방식인 QPSK 통신 시스템의 AWGN 환경에서 오류율은 다음과 같다<sup>[5],[6]</sup>.

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

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

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

### 2. 자기 간섭(Auto-interference)

본 논문에서 제거하고자 하는 자기 간섭은 기준 송신신호가 페이딩의 영향을 받을 때 나타나는 지연 신호에 의한 것으로 다음과 같이 정의한다.

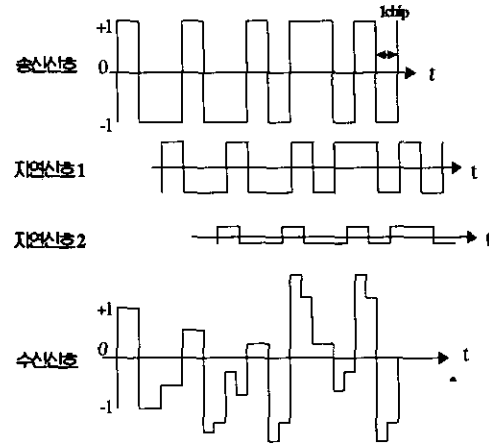


그림 2. 다중 경로에 의한 시간 지연 신호

그림 2와 같이 다중경로에 의한 지연 시간이 발생되면 송신 신호와 전력이 약화되고 시간 지연된 신호들이 합성 신호로 수신기에 수신된다. 송수신 거리에 따른 시간 지연을 무시한다면 송신 신호는 그대로 수신되고 2 chip 지연되고 전력이 약화된 지연신호1과 4.5 chip 지연되고 전력이 약화된 지연신호2는 송신 신호와 합성되어 수신되게 된다. 수신단에서는 수신된 신호를 송신 신호, 지연신호1, 지연신호2로 분리하여 레이크 수신기 각 탭에는 할당하게 된다. 이때 송신 신호에 해당하는 기준 수신신호는 지연신호1과 지연신호2에 의해 간섭을 받게 되고 지연신호1은 기준 송신신호와 지연신호2에 의해 간섭을 받게 된다. 이와 같이 다중경로 페이딩으로 발생하는 시간 지연에 의한 자기 신호의 지연된 신호가 간섭 신호로 영향을 미치는 현상을 자기 간섭이라 정의한다. 자기 간섭은 DS-CDMA 시스템의 다중 접속 간섭(MAI:Multi Access Interference)과 같은 AWGN의 형태로 영향을 미치기 때문에 지연된 신호의 세기가 간섭의 정도를 결정하게 된다. 기존의 레이크 수신기는 자기 간섭을 포함한 채 수신 신호의 세기만으로 합성 신호에서 시간 지연된 신호를 구하여 송신 신호를 복조하여 수신 성능이 다소 저하되는 문제가 있었다.

### 3. 제안된 레이크 수신기

다중경로 페이딩에 의한 수신신호의 열화를 극복하기 위한 방법으로 이용하고 있는 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 다음식과 같이 주어진다<sup>[7]</sup>.

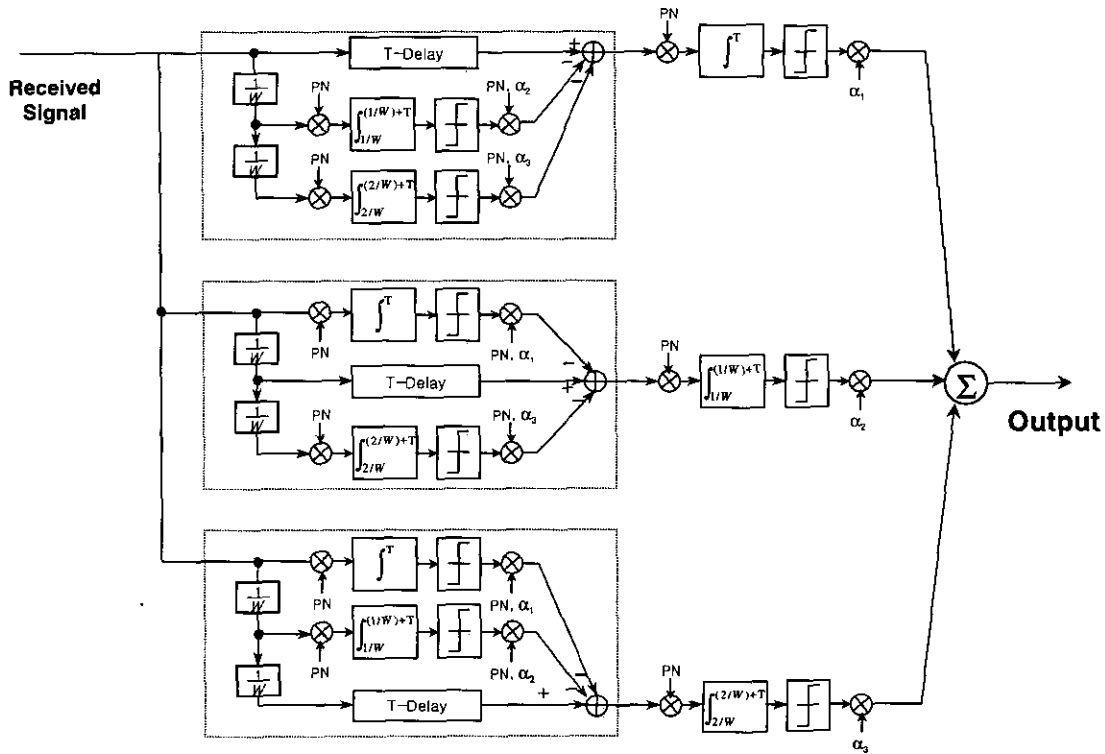


그림 3. 제안된 레이크 수신기

$$\begin{aligned} \gamma_{bl} &= \frac{E_b}{N_0} \sum_{i=1}^L \alpha_i \\ &= \sum_{i=1}^L \gamma_i, \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $\alpha_i$ 은 각 탭의 상관값 또는 가중치이고,  $\gamma_i$ 은  $i$ 번째 탭의 수신 SNR이다. 그러므로 자기 간섭을 포함하는 기존의 DS-SS 레이크 수신기의 합성된 수신 SNR은 다중접속 간섭과 같이 작용하며 다음과 같다.

$$\gamma_{bl} = \sum_{i=1}^L \left( \frac{1}{\frac{2}{3M}(1-\alpha_i) + \frac{N_0}{E_b} \cdot \frac{1}{\alpha_i}} \right), \quad (3)$$

여기서  $M$ 은 PN 코드의 길이이며 레이크 수신기의 탭수는 3인 경우이다.

그림 3은 본 논문에서 제안된 간섭을 제거할 수 있는 레이크 수신기로서 각 탭에서는 자기 다른 시간 지연에 의해 발생하는 자기 간섭을 CCI (Co-Channel Interference)-Cancellation 기법으로 제거하고 있다. 탭 1은 일정 시간 수신 신호를 지연시키고 탭 2, 탭 3에서 얻은 수신 신호를 다시 확산시

켜 수신 신호에서 빼주는 방법으로 자기 간섭을 제거하고 있다. 따라서 자기 간섭을 제거한 탭 1의 수신 SNR은 다음과 같이 구할 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$\gamma_{(\tau-d1)} = \frac{1}{\frac{2}{3M}(A_{i2} + A_{i3}) + \frac{N_0}{E_b} \cdot \frac{1}{\alpha_1}}, \quad (4)$$

여기서,

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

$$Pe_{i2} = \text{erfc}\left(\sqrt{\gamma_2} \cdot \sin \frac{\pi}{M - \alpha \gamma}\right),$$

$$Pe_{i3} = \text{erfc}\left(\sqrt{\gamma_3} \cdot \sin \frac{\pi}{M - \alpha \gamma}\right).$$

위의 수식에서와 마찬가지로 탭 2와 탭3의 수신 SNR  $\gamma_2$  와  $\gamma_3$ 도 식 (4)와 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$\gamma_{(\tau-d2)} = \frac{1}{\frac{2}{3M}(A_{i1} + A_{i3}) + \frac{N_0}{E_b} \cdot \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (5)$$

여기서,

$$A_{ul} = 4 \cdot Pe_{ul},$$

$$Pe_{ul} = \text{erfc}\left(\sqrt{\gamma_1} \cdot \sin \frac{\pi}{M-ary}\right).$$

$$\gamma_{(T-d3)} = \frac{1}{\frac{2}{3M}(A_{ul} + A_{ul2}) + \frac{N_b}{E_b} \cdot \frac{1}{a_3}}. \quad (6)$$

그러므로 자기 간섭이 제거된 레이크 수신기의 탭 1, 탭 2, 탭 3의 합성 SNR은 다음과 같다.

$$\gamma_{ss} = \gamma_{(T-d1)} + \gamma_{(T-d2)} + \gamma_{(T-d3)}. \quad (7)$$

### III. DS-CDMA/QPSK 시스템 성능

본 논문에서는 차세대 이동통신의 변조 방식을 고려하여 DS-CDMA/QPSK 시스템에서 시스템 성능을 분석하였다. 무선 채널 환경은 다중 경로 페이딩이 존재하는 라이시안 페이딩을 고려하였으며 라이시안 페이딩이 존재하는 환경에서의 QPSK 시스템의 오율식은 다음과 같이 주어진다<sup>[7,8]</sup>.

$$P_e = \int_0^{\infty} P_{e1} \cdot p(R) dR, \quad (8)$$

여기서  $Pe_1$ 는 QPSK 변조 방식의 오율식이며,

$$p(R) = 2R(K+1) \cdot \exp[-K - R^2(K+1)] \cdot I_0[2R\sqrt{K(K+1)}]; \quad R \geq 0,$$

이다.

여기서,  $p(R)$ 는 수신 신호 진폭을 실효치에 대해 정규화시킨 진폭 변동을  $R$ 이라 할 때의  $R$ 에 대한 확률밀도함수이고, 직접파대 반사파의 비  $K$ 는 라이시안 계수이다. 위의 수식에서 라이시안 계수 ( $K$ ) 값이 0인 경우 직접파가 없는 레일리 페이딩으로 해석된다. 일반적으로  $K$ 는 실내 환경에서는 6dB ~ 12dB로 모델링되고 차량 이동 환경에서는 다소 감소하는 것으로 알려져 있다<sup>[9]</sup>. 따라서 본 논문에서는 라이시안 계수를 변화시켜 실내 환경, 실외에서 실내로 이동중인 환경, 레일리 페이딩의 차량이동 환경을 가정하여 분석하였다. 표 1~표 3은 ITU-R M.1255<sup>[10]</sup>에서 IMT-2000 시스템 모의실험을 위해 제시한 값으로 탭단위의 지연시간과 평균 수신전력을 나타내고 있다. 본논문에서는 제안된 레이크 수신기의 성능 개선 정도를 수치계산 결과 값으로 확인하기 위해 각 탭의 지연 시간과 평균 전

력을 탭 가중치로 적용하였다.

표 1은 라이시안 페이딩 환경에서 라이시안 계수  $K=6$ [dB]로 하였을 때의 적용 값이며 표 2는  $K=3.7$ [dB]로 하였을 때의 적용 값이다. 표 3은 차량이동 환경을 가정한 레일리 페이딩 환경에서의 적용 값이다.

표 1. 실외에서 실내로 이동시 탭 지연 값

Tap	ITU-R M.1225		Modeling Parameter
	Delay (ns)	Average Power (dB)	Tap weight
1	0	0	0.8
2	110	-9.7	0.1
3	190	-19.2	0.1

표 2. 실내에서의 탭 지연 값

Tap	ITU-R M.1225		Modeling Parameter
	Delay (ns)	Average Power (dB)	Tap weight
1	0	0	0.7
2	50	-3.0	0.2
3	110	-10.0	0.1

표 3. 차량 이동통신 환경에서 탭 지연 값

Tap	ITU-R M.1225		Modeling Parameter
	Delay (ns)	Average Power (dB)	Tap weight
1	0	0	0.5
2	310	-1.0	0.3
3	710	-9.0	0.2

### IV. 수치 해석 및 검토

제안된 레이크 수신기를 적용한 DS-CDMA/QPSK 신호의 오율을 수식 (7),(8)을 이용하여 수치 해석 결과를 그림 4~6에 나타내었다. 제안된 레이크 수신기의 성능 개선 정도를 알기 위하여 레이크 수신기가 없는 수신기, 기존의 레이크 수신기, 제안된 레이크 수신기를 비교하여 오율 특성을 나타내었다.

그림 4는 직접파대 반사파의 비가 6[dB]일 때 라이시안 페이딩 환경에서 제안된 레이크 수신기를

적용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. 오울이 10-3에서 제안된 수신기는 기존의 수신기에 비하여 1[dB] 정도의 성능 개선 효과가 있으며 10-4에서는 4.5[dB] 정도의 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 수신 SNR이 클수록 개선 폭은 더욱 커짐을 알 수 있었다.

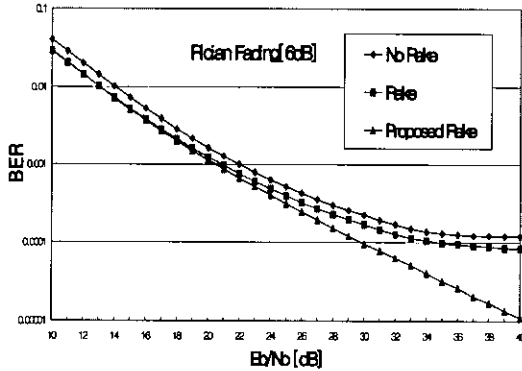


그림 4. 라이시안 페이딩 환경(실외에서 실내로의 이동환경)에서 제안된 레이크 수신기를 적용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선 (직접파대 반사파 비 = 6[dB])

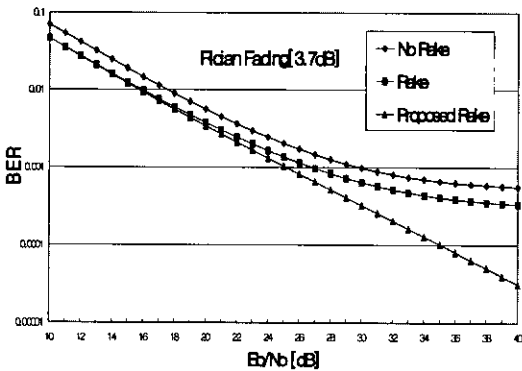


그림 5. 라이시안 페이딩 환경(실내환경)에서 제안된 레이크 수신기를 적용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선 (직접파대 반사파 비 = 3.7[dB])

그림 5는 직접파대 반사파의 비가 3.7[dB]일 때 라이시안 페이딩 환경에서 제안된 레이크 수신기를 적용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. 오울이 10-3에서 제안된 수신기는 기존의 수신기에 비하여 1.5[dB] 정도의 성능 개선 효과가 있으며 5×10-4에서는 5[dB] 정도의 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 직접파대 반사파의 비가 작을수록 즉, 전파 환경이 열악할수록 제안된 레이크 수신기의 성능 개선폭은 더욱 커짐을 알 수 있다.

그림 6은 레일리 페이딩 환경에서 제안된 레이크

수신기를 적용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. 오울이 10-3에서 제안된 수신기는 기존의 수신기에 비하여 2dB 정도의 성능 개선 효과가 있으며 5×10-4에서는 6dB 정도의 개선효과가 있는 것으로 나타났다. 레일리 페이딩과 같이 열악한 무선 채널 환경은 지연 신호에 의한 수신 세기가 증가하므로 자기 간섭의 영향이 증가하지만 제안된 레이크 수신기에서 자기 간섭을 제거하기 때문에 수신 성능의 개선폭이 더욱 커짐을 알 수 있었다.

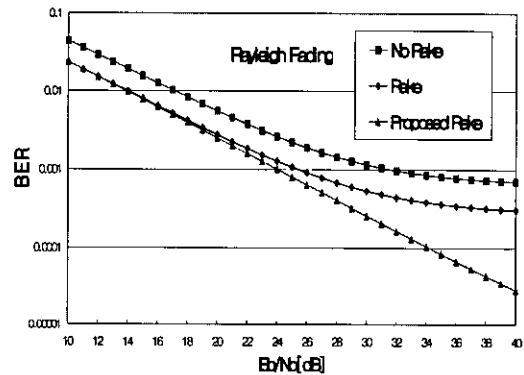


그림 6. 레일리 페이딩 환경에서 제안된 레이크 수신기를 적용한 DS-CDMA/QPSK 시스템의 성능 개선

위의 결과로부터 오울 10-3에서 K=6[dB]일 경우에 1[dB]의 근소한 성능 개선 효과가 나타났지만 K=3.7[dB]일 경우에는 1.5[dB]의 성능 개선 효과가 있었으며, K=0[dB]일 경우에는 2[dB]의 성능 개선 효과를 얻을 수 있어 K가 작을수록 성능 개선 폭이 커짐을 알 수 있었다.

## V. 결론

본 논문에서는 다중경로 페이딩으로 발생하는 시간 지연에 의한 자기 간섭을 제거할 수 있는 레이크 수신기를 제안하고 이동통신 무선 환경에서 이를 수치 해석하였다. 제안된 레이크 수신기는 DS-CDMA/QPSK 시스템에서 자기 간섭을 제거하기 때문에 레이크 수신기의 합성 수신 SNR의 증가에 따라 성능이 개선되었으며 수신 성능은 오울 10-3에서 K=6[dB]일 경우에 1[dB]의 근소한 성능 개선 효과가 나타났지만 K=3.7[dB]일 경우에는 1.5[dB]의 성능 개선 효과가 있었으며, K=0[dB]일 경우에는 2[dB]의 성능 개선 효과를 얻을 수 있어 K가 작을수록 성능 개선의 폭이 커짐을 알 수 있었

다.

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

참 고 문 헌

[1] R. Prasad, *Universal Wireless Personal Communication*, Boston, London : Artech house publisher, 1998.

[2] S. Moshavi, "Multi-user detection for DS-CDMA communication", *IEEE Communications Magazine*, vol. 34, pp. 124-136, Oct.1996.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 이회덕, "페이딩 환경하에서 디지털 무선통신 시스템의 성능 해석 및 다이버시티 수신 기법과 부호화 기법에 의한 성능 개선에 관한 연구", 한국항공대학교 대학원 석사학위논문, 1994. 8

[6] Brenard Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice-Hall International Editions, 1988.

[7] J. G. Proakis, *Digital Communication*, McGRAW-Hill, 3rd., pp. 780-802, 1995.

[8] 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.

[9] 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.

[10] REC ITU-M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000.

우 범 훈(Byung-hoon Woo)

정회원



1988년 2월 : 한국항공대학교  
통신정보공학과 졸업  
(학사)

1994년 2월 : 한국항공대학교  
통신정보공학과 졸업  
(석사)

1999년 9월~현재 : 동신대학교 전기전자공학과  
박사과정

1994년~1999년 : 고등기술연구원 주임연구원

1999년~현재 : 전주공업대학 정보통신과 전임강사  
<주관심 분야> 이동통신, 통신시스템

강 희 조(Heau-jo Kang)

정회원

1986년 2월 : 원광대학교 전자공학과(공학사)

1988년 2월 : 숭실대학교 반도체공학과(공학석사)

1994년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과(공학박사)

1994년 7월~1995년 12월 : 한국전자통신연구소  
위성망 연구소 초빙연구원

1996년 8월~1997년 8월 : 오사카대학교 공학부  
통신공학과 객원교수

2000년 6월~현재 : 한국전자과학회 호남지부장

1990년~현재 : 동신대학교 전기전자공학과 교수

<주관심 분야> 통신시스템, 대역확산통신, 이동통신,  
위성통신, EMI/EMC, 밀리미터파, EL디스  
플레이