

論文94-31A-4-6

# 다경로 페이딩 채널에서 RAKE 수신기를 적용한 CDMA 시스템의 성능 분석

## (Performance Analysis of the CDMA system with the RAKE Receiver over a Multipath Fading Channel)

高永勳\*, 朴性卿\*, 洪大植\*, 康昌彦\*

(Young Hoon Ko, Seong Kyeong Park, Dae Sik Hong and Chang Eon Kang)

### 要約

본 논문에서는 이동통신 환경에서 발생하는 다경로 페이딩 현상을 극복하는 방법으로 CDMA 시스템에 RAKE 수신기를 적용하여 그 성능을 분석하였다.

RAKE 수신기는 여러개의 상관기로 구성되며, 다경로 성분들을 선택적으로 분리한 후 결합하여 CDMA 시스템의 성능을 향상시키는 역할을 한다. 본 논문에서는 TDL 모델의 다경로 페이딩 채널을 사용하였으며, 다경로 페이딩 채널의 경로 수와 RAKE 수신기의 브랜치 수를 가변 시키면서 성능을 고찰하였다. 또한 다중 사용자 환경하에서와 직교 부호 변조를 사용한 경우의 성능을 분석하였다.

시뮬레이션 결과, RAKE 수신기를 사용한 CDMA 시스템이 RAKE 수신기를 사용하지 않은 CDMA 시스템보다 다경로 페이딩 채널하에서 성능이 향상되었다. 다중 사용자 환경에서도 개선된 성능을 나타내며 직교 부호 변조를 사용하는 경우에 길이 8인 직교부호보다 길이 64인 직교 부호가 좋은 성능을 나타내었다.

### Abstract

This paper presents the CDMA system using the RAKE receiver over a multipath fading channel and in multi-user environments.

The interference between the propagation paths in a multipath fading causes a serious degradation in the mobile communication environment. In order to derive the path interference and reduce the fading effect, the RAKE receiver is used. In a computer simulation, the path number of a fading channel and the branch number of the RAKE receiver are modified.

As a result, the CDMA system using the RAKE receiver gives a better performance than the conventional CDMA system over a multipath fading channel and in multi-user environments.

### 1. 서론

\* 正會員, 延世大學交 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Yonsei Univ.)

接受日字 : 1993年 6月 15日

최근 이동통신 서비스의 수요가 증가함에 따라 기존의 아날로그 셀룰라 방식의 이동 통신 서비스는 그

수용 능력이 한계에 도달하여 디지털 셀룰라 방식에 대한 연구가 진행 되었다. 디지털 셀룰라 방식에는 주파수 분할 다중 접속방식(FDMA), 시 분할 다중 접속 방식(TDMA), 부호 분할 다중 접속방식(CDMA)의 세 가지가 있으며, 특히 CDMA는 TDMA나 FDMA에 비해 수용능력이 뛰어난 것으로 알려져 있다.<sup>[1][2]</sup>

이동 통신 시스템의 성능을 저하시키는 주요 원인은 다경로 페이딩, 랜덤 잡음, 다른 사용자의 신호에 의한 간섭 등이다. 이동 통신에서 발생하는 다경로 페이딩 현상은 CDMA같은 광대역 통신에서는 필연적인 것으로, 이로 유발되는 성능 저하를 극복하기 위하여 RAKE 수신기를 사용한다. 이는 광대역화된 CDMA 신호의 다경로 신호를 분리 해냄으로써 경로간 간섭을 최소화하며, 오히려 다이버시티(diversity) 효과로 인하여 성능의 향상을 이룰 수 있다.

본 논문에서는 다경로 페이딩 채널을 모델링하고, 동기 방식에서 RAKE 수신기를 적용한 CDMA 시스템의 성능을 RAKE 수신기를 적용하지 않은 CDMA 방식과 비교 분석한다.

## II. 다경로 페이딩 채널과 RAKE 수신기

### 1. 페이딩 채널

이동 무선 통신에서 발생하는 다경로 페이딩 현상은 시간퍼짐( $T_m$  : multipath spread)과 주파수 편이( $B_d$  : doppler spread)의 특성을 갖는다. 시간퍼짐은 신호가 다중 경로 상에서 수신되는 시각이 퍼짐으로써 시간퍼짐만큼의 시간 구간을 두고 수신되는 것이며, 주파수 편이( $B_d$ )는 이동체의 속도에 의해 신호의 주파수가 변화하는 것을 말한다. 시간 퍼짐의 역수를 시간퍼짐대역( $(\Delta f)_c$  : coherent bandwidth)이라 하여 주파수 상에서 비슷한 영향을 받는 주파수 폭을 나타내게 된다. 주파수 편이의 역수를 주파수편이시간( $(\Delta t)_c$  : coherent time)이라 하며 시간상에서 동일한 환경을 갖는 시간폭을 나타내게 된다.

신호 대역폭( $W$ )이 시간퍼짐대역보다 적어서 전 대역폭이 비슷한 주파수 전달 환경에 있을 때는 주파수 비선택적이라 하고 신호 대역폭이 시간퍼짐대역보다 커서 여러 개의 서로 다른 주파수 전달 환경에 있을 때는 주파수 선택적이라 한다. 신호 구간이 주파수편이시간보다 적어서 동일한 시간 환경에 있을 때는 저속 페이딩(slow fading)이라 하고 신호 구간이 주파수편이시간보다 커서 서로 다른 시간 환경에 있을 때는 고속 페이딩(fast fading)이라 한다.

지금까지 살펴본 두가지 관점인 시간퍼짐과 주파수

편이를 종합하면 그림 1과 같다. 여기서 빗금친 부분을 underspread라 부르며 최상의 통신 조건을 나타낸다. 빗금치지 않은 부분은 overspread라 부르며 채널이 왜곡되었음을 나타낸다. RAKE 수신기에서는 주파수 선택적이고 저속 페이딩일 경우에 해당된다.

주파수 선택적이고 저속 페이딩 일때의 채널 모델링은 그림 2와 같으며, 식 (1)과 같이 정리된다.<sup>[4]</sup>

$$r(t) = \frac{1}{W} \sum_{n=1}^L c_n(t) u \left( t - \frac{n}{W} \right) + n(t) \tag{1}$$

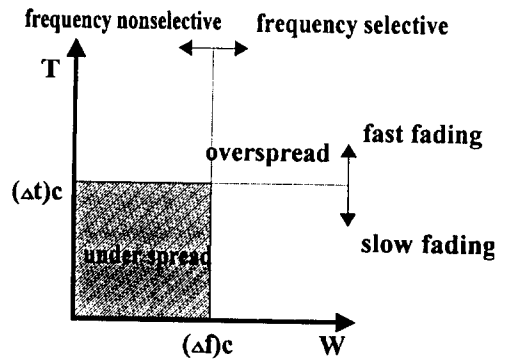


그림 1. 페이딩 채널의 분류

Fig. 1. The classification of the fading channel.

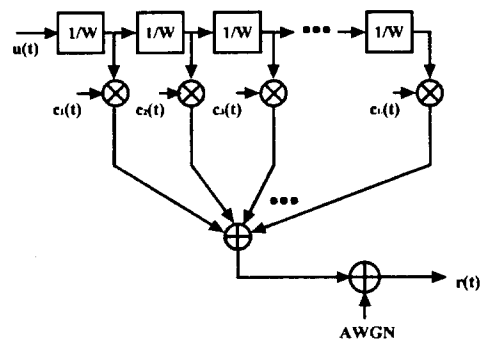


그림 2. 주파수 선택적 페이딩 채널 모델링

Fig. 2. Frequency selective fading channel modeling.

경로의 수는 식 (2)에서와 같이 시간퍼짐에 의하여 제한되는데 다경로는 신호대역폭에 들어가는 시간퍼짐대역수로 계산된다.

$$L = BW / (\Delta f)_c \tag{2}$$

RAKE 수신기가 주파수 선택적이고 저속 페이딩 일때의 채널에서 이상적인 수신을 하였을 경우의 성능에 대한 수식은 식 (3)과 같다.<sup>[4]</sup>

$$P_2 = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^L \pi_k \left[ 1 - \frac{\bar{\gamma}_k(1-\rho_r)}{\sqrt{2 + \bar{\gamma}_k(1-\rho_r)}} \right] \quad (3)$$

2. RAKE 수신기

RAKE 수신기는 말 그대로 갈고랑이로 낙엽을 긁어들이 듯 신호를 수신하는 것을 말한다. 하나의 수신 경로에서 판단 변수를 도출해 내는 것이 아니라, 여러 개의 수신 경로에서 판단 변수를 종합적으로 도출해 내는 것이다.

그림 3은 RAKE 수신기의 그림이다.<sup>[4]</sup> RAKE 수신기는 채널의 경로수만큼의 상관기를 가지고 있다. 각 상관기에는 칩율로 샘플링된 수신신호  $u(t)$ 가 칩구간만큼씩 지연 되어 입력되며 이는 다경로 페이딩에 의해 간섭된 신호이다. 상관기에서는 다경로 페이딩에 의해 간섭된 신호를 대역확산신호  $u_k(t)$ 와 페이딩 채널 계수  $c_k(t)$ 와의 비트 주기의 상관을 통해 제거하여 경로간섭을 극복한다. 각 상관기의 출력은 모두 더하여져 비트 주기마다 신호를 결정한다.

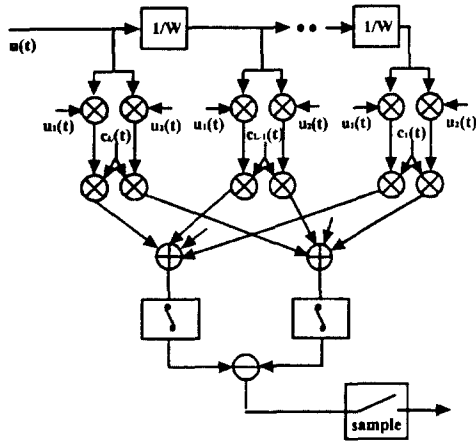


그림 3. RAKE 수신기  
Fig. 3. RAKE receiver..

그림 4는 수신기의 원리를 나타낸 그림이다. 한 비트의 신호는 대역확산에 의해 여러 칩들로 분할된다. 송신된 신호는 다경로 현상에 의해 수신되는데, 이때 다경로를 여기서는 칩간격으로 설정한다. 서로 다른 경로의 신호를 PN 부호를 이용하여 분리해 내면 각 경로에 대해 개별적인 상관값을 알아낼 수 있다. 이러한 상관값을 모든 경로에 대해 더하여 수신비트

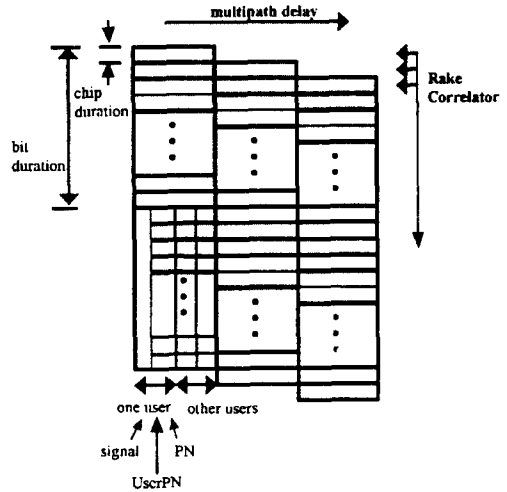


그림 4. RAKE 수신기의 원리  
Fig. 4. Principles of the RAKE receiver.

를 결정하게 된다.

경로의 상호간섭을 제거하기 위한 조건은 1차적으로 PN부호의 분리 능력에 있지만, 또한 전체가 되어야 할 것은 채널 특성의 고정이다. 즉 slow 페이딩이 전제되어야 한다. 한 비트 주기로 상관을 구하는데 채널 특성이 심하게 변화하면 PN부호의 분리 능력은 많이 떨어지게 되고 RAKE 수신기는 성능을 제대로 발휘할 수 없다. 페이딩 채널 모델링에서 채널 특성은 주파수편이(Bd)이하로 한정되어 있으므로 채널 특성은 주파수편이 이하에서 변화한다. 즉, 이동체 속도가 증가하면 주파수편이가 증가하므로 PN부호의 분리 능력은 떨어지게 된다.

그림 5는 페이딩 채널을 통과한 신호의 파형이다. 그림 5 (a)는 경로가 1인 페이딩 채널을 통과한 신호 파형으로 레일라이 분포가 뚜렷하다. 이 경우 신호가 작아져서 수신에 곤란한 경우가 생기는데 이러한 곳에서 연립제거가 발생한다. 인터리빙 등의 방법으로 에러율을 줄일 수는 있으나 다경로 페이딩 채널의 특성을 이용하는 RAKE 수신기의 사용이 더욱 효과적이다. 그림 5 (b)는 경로가 5인 페이딩 채널을 통과한 신호 파형이다. 여기서는 레일라이 분포를 갖지 않으므로 신호 레벨이 급격히 떨어지는 점이 없다. 이는 각 경로가 모두 혼합되어 모든 경로에서 신호 레벨이 작아질 확률이 거의 없기 때문이다. 이 경우 문제가되는 경로간의 간섭은 RAKE 수신기를 사용함으로써 제거할 수 있다. 그림 6은 그림 5의 파형의 분포를 구한 것으로 그림 6 (a)는 레일라이 분포를 보여 주나 그림 6 (b)는 가우시안과 비슷한 분포를 보여줌을 알 수 있다.

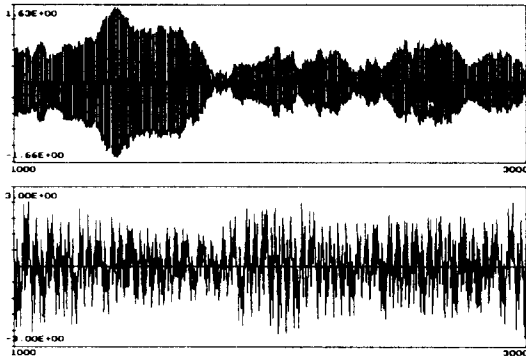


그림 5. 페이딩 채널 통과 후 신호 파형

(a) 위: 경로 1인 레일라이 페이딩 신호  
 (b) 아래: 경로 5인 레일라이 페이딩 신호

Fig. 5. Signal waveform after fading channel.

(a) above : one path rayleigh fading signal.  
 (b) below : five path rayleigh fading signal.

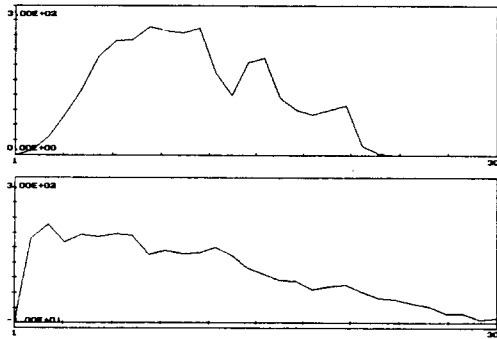


그림 6. 페이딩 통과후 신호의 분포

(a) 위: 경로 1인 레일라이 페이딩 신호  
 (b) 아래: 경로 5인 레일라이 페이딩 신호

Fig. 6. Signal distribution after fading channel.

(a) above : one path rayleigh fading signal.  
 (b) below : five path rayleigh fading signal .

Ⅲ. 시뮬레이션 및 고찰

시뮬레이션은 크게 3종류로 나누어지는데, 1절에서는 단일 사용자일 때 다경로 페이딩 채널에서 RAKE 수신기를 사용하였을 경우를 알아보며, 2절에서는 다중 사용자 환경에서, 3절에서는 직교변조를 하였을 경우에 성능을 살펴본다.

RAKE 전송신호는 일반 디지털 신호를 대역확산하여 사용하며, 변조 방식은 동기식 BPSK를 사용한다. 채널은 다경로 페이딩 채널과 AWGN을 사용하며, 수신단에서는 RAKE 수신기를 사용한다. 다중 사용자에서는 전력제어가 되어 신호전력이 모두 동일하다고 가정하며, 시뮬레이션의 모든 실험 결과는 신호대 잡음비 (Eb/No)에 대한 비트에러율 (BER)로서 표시한다. 표 1은 시뮬레이션에 사용된 변수를 나타낸다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameter.

신호 전송율	9.6 kbps
대역확산 주파수	1.2288 Mbps
채널	다경로 페이딩 채널(경로수 $1^5$ ) + AWGN
사용자 부호	길이 $2^{12}-1$ 의 PN 부호
대역확산부호	길이 $2^{15}-1$ 의 PN 부호
직교 부호	Walsh 8(Walsh 64)
심볼당 칩수	4

1. RAKE 수신기의 성능분석

이 절에서는 단일 사용자 환경에서 대역 확산시킨 전송 신호를 다경로 페이딩 채널과 AWGN을 통과시켰을 때 RAKE 수신기의 성능을 분석한다.

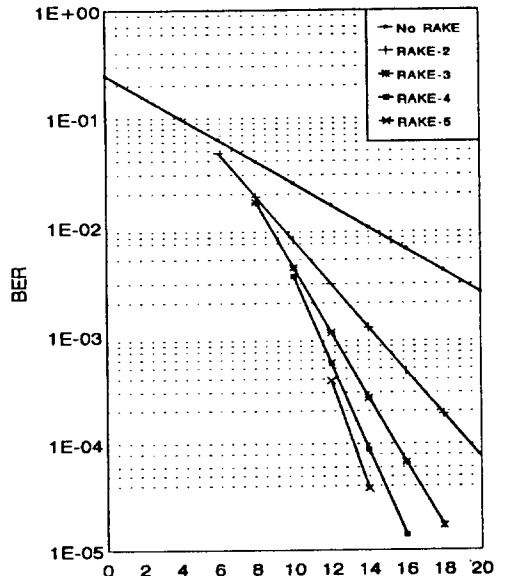


그림 7. 다경로 페이딩 채널에서 RAKE수신기의 에러율

Fig. 7. Bit rate of the RAKE receiver over multipath fading channel.

그림 7에서는 RAKE 수신기의 이론적인 성능을 보여준다. 이것은 이론적으로 모델링한 식 (3)을 바탕으로 해서 구해진 것이다. 이 경우 경로가 하나인 주파수 비선택적 페이딩 채널에서 RAKE 수신기를 사용하지 않았을 경우, 대역확산을 사용하는 CDMA 시스템은  $E_b/N_0$ 가 24 dB 이상 되어야  $10^{-3}$ 의 비트 에러율을 얻을 수 있다.  $10^{-3}$ 의 비트 에러율은 음성 통신의 품질 기준이다. 이에 반해서 주파수 선택적 페이딩 채널에서 경로 다이버시티를 이용한 RAKE 수신기를 사용하게 되면 성능이 월등히 향상된다. 예를 들면 RAKE 수신기의 브랜치가 2인 경우  $10^{-3}$ 의 비트 에러율을 얻기 위해서  $E_b/N_0$ 가 14 dB, 브랜치가 3인 경우는 12 dB 정도가 더 요구된다. 여기서 가정된 것은 경로간의 간섭이 100% 제거되었다고 가정한 경우이다. 그러나 실제 PN부호에 있어서는 경로간 간섭이 100% 제거되기는 힘들고 어느 정도의 간섭은 남아 있게 된다.

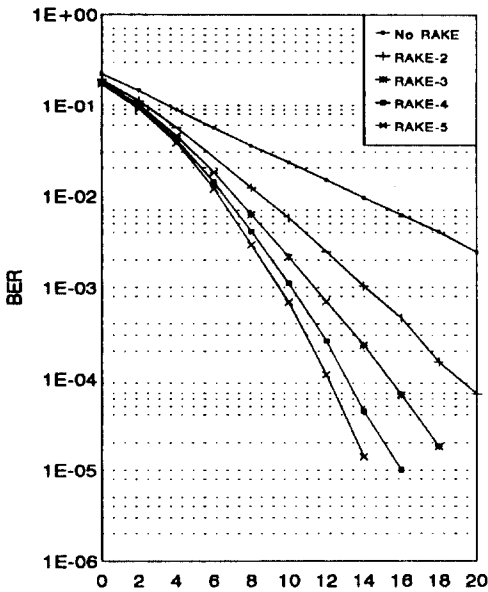


그림 8. 다경로 페이딩 채널과 동일한 경로수를 가진 RAKE 수신기의 에러율 (PN 부호 레지스터수 7)

Fig. 8. Bit rate of the RAKE receiver with the same branches as the multipath number (PN register is 7).

그림 8에서는 다경로 페이딩 채널의 경로수와 같은 브랜치수를 사용한 RAKE 수신기에 대한 시뮬레이

션 결과를 보여준다.  $10^{-3}$ 의 비트 에러율을 얻기 위해서, RAKE 수신기를 사용하지 않은 경우보다 브랜치가 2인 RAKE 수신기를 사용한 경우 약 10 dB의 성능 향상이 되며, 브랜치가 5인 RAKE 수신기에서는 약 15 dB의 성능 향상이 된다.

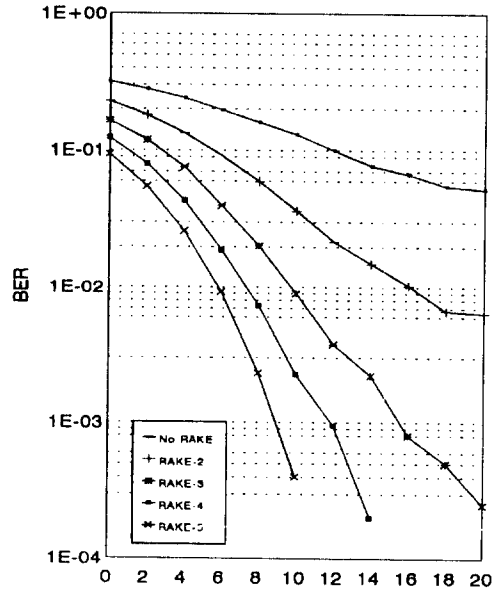


그림 9. 경로 5인 다경로 페이딩 채널에서 RAKE 수신기의 에러율 (PN 부호 레지스터수 7)

Fig. 9. Bit rate of the RAKE receiver over five multipath fading channel (PN register is 7).

그림 9에서는 경로수 5인 다경로 페이딩 채널에서 RAKE 수신기의 시뮬레이션 결과를 보여준다. PN 부호 레지스터수가 7인 경우 신호 전송율 9.6 kbps는 대역확산 되어 전송신호는 1.2288 MHz의 대역폭을 가지게 된다. 도심지에서의 시간퍼짐이  $5\mu s$  정도임을 감안하면 다경로의 수는 약 5개 정도가 된다. RAKE 수신기를 사용하지 않을 경우에는 비트 에러율이  $10^{-2}$  아래로 낮아지지 않음을 볼 수 있다. 브랜치가 2인 RAKE 수신기를 사용할 경우 에러율이  $10^{-3}$ 까지 떨어지지 않으며, 브랜치가 3인 RAKE 수신기의 경우  $E_b/N_0$ 가 15 dB에서 비트 에러율이  $10^{-3}$ 까지 떨어진다. 이는 약 11 dB에서  $10^{-3}$ 까지 떨어지는 경로수 3인 페이딩 채널보다 약 4 dB 정도의 성능 저하가 나타나는 것으로, 신호 퍼짐에 의한 다경로 페이딩 채널의 경로수 증가가 일으키는 성능 저하를 나타낸다.

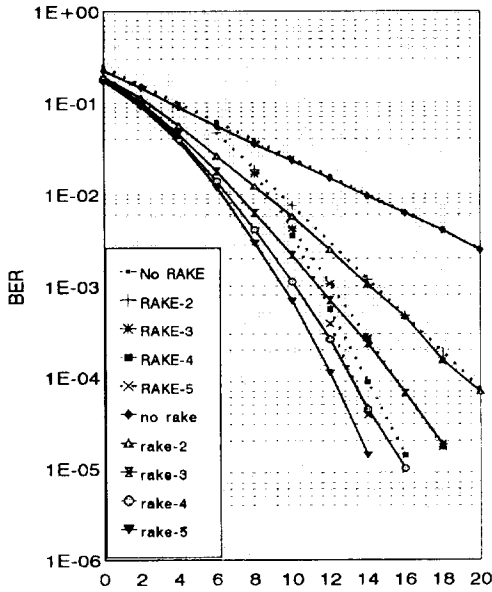


그림 10. 시뮬레이션 결과와 이론값의 비교  
(PN 부호 레지스터수 7, 점선-이론값, 실선-시뮬레이션)  
Fig. 10. Comparison of the simulation and analysis.  
(PN register is 7, dot-analysis, line-simulation)

그림 10에서는 시뮬레이션 결과와 이론값(수식 3)을 비교한 결과를 나타낸다. 그림 7에서 나타난 이론값과 그림 8에서 나타난 시뮬레이션 결과를 같은 도면상에 나타낸 것이다.  $E_b/N_0$ 가 증가할수록 시뮬레이션 결과와 이론값이 정확히 일치함을 알 수 있다. 이는 이론값을  $E_b/N_0$ 가 큰 경우에 근사화하였기 때문으로 이론값에서는  $E_b/N_0$ 가 작을 경우 오차가 생기게 된다.

2. 다중 사용자에서의 성능 분석

이 절에서는 다중 사용자 환경에서 RAKE 수신기의 성능을 분석한다. 시뮬레이션은 다중 사용자 신호를 다경로 페이딩 채널과 AWGN을 통과시킨 후 원하는 사용자의 신호를 분리해 내어 비트에러율을 구하였다. 여기서는 전력제어가 되어 모든 사용자의 신호 전력이 동일하다고 가정한다.

그림 11에서는 페이딩 채널에서 브랜치 3인 RAKE 수신기를 사용한 경우에 시뮬레이션 결과를 보여준다. 사용된 PN부호 레지스터 수는 7이다. 사용자가 1명인 경우는 1절에서의 결과와 같다. 사용자가 증

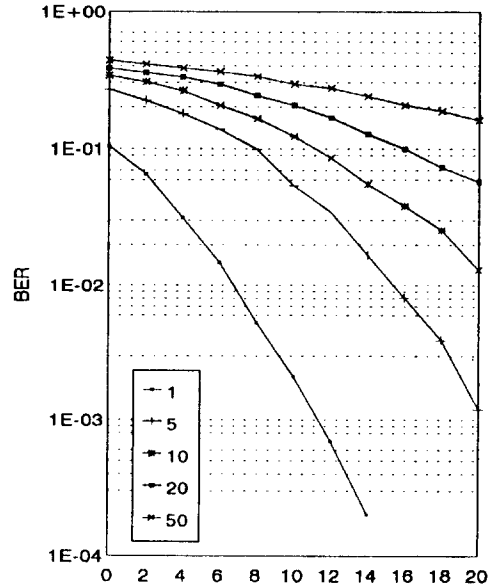


그림 11. 경로 3인 다경로 페이딩 채널과 다중 사용자 수에 대한 RAKE 수신기(브랜치 3)의 에러율  
Fig. 11. BER of the RAKE receiver with three branches over the three path fading channel and in a multiuser environment.

가할수록 수신신호 전력중에 원하는 사용자의 신호전력 비율이 감소하고 또 서로 간섭을 일으키므로 에러율이 증가한다.  $10^2$ 의 비트 에러율에서 5명의 사용자인 경우 1명인 경우보다 약 8 dB정도의  $E_b/N_0$ 가 더 요구되며, 10명인 경우에는 약 14 dB 정도의  $E_b/N_0$ 가 더 요구된다. 50명의 사용자인 경우  $E_b/N_0$ 가 20 dB 이상이 되어도  $10^1$ 의 비트 에러율을 얻기 힘들다. 다중 사용자인 경우 통신 시스템으로 사용하기 위해서는 채널 코딩, 인터리빙, 직교부호 변조등의 방법을 사용하여 비트 에러율을 낮추어야 된다고 생각된다.

그림 12에서는 경로수 3인 다경로 페이딩 채널에서 브랜치가 3인 RAKE 수신기를 사용할 경우 PN 부호 레지스터수에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. PN 부호 레지스터 수는 대역확산이득과 직접적인 관계가 있으므로 임의로 조정하기는 곤란하나, 시뮬레이션에서 본 결과는 PN부호가 증가할수록 성능이 향상되고 있다.  $E_b/N_0$ 가 10 dB이하에서는 PN 부호 레지스터수가 7일 경우와 9일 경우가 거의 비슷하나 10 dB이상에서는 차이가 나기 시작한다. 사용자가 5

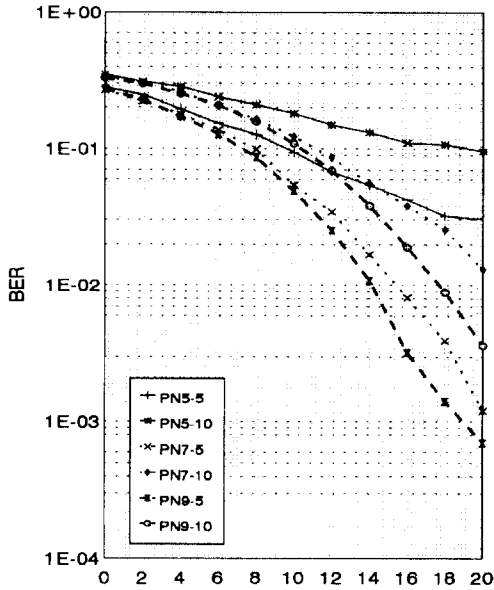


그림 12. 경로 3인 다경로 페이딩 채널과 다중 사용자 환경에서 PN 레지스터 수에 대한 RAKE 수신기의 에러율 (실선-5, 점선-7, 긴 점선-9)

Fig. 12. BER of the RAKE receiver with three branches over the three path fading channel and in a multiuser environment (line-5, dot-7, long line-9).

명일 경우와 10명일 경우 PN 부호 레지스터수의 증가에 대한 에러율의 변화는 비슷한 폭을 나타낸다.

### 3. 직교 변조에서의 성능 분석

이 절에서는 전송 신호에 직교 부호 변조를 하여 다경로 페이딩 채널과 AWGN을 통과시켰을 때 RAKE 수신기의 성능을 분석한다.

그림 13에서는 단일 사용자 환경에서 길이 8인 직교 부호 변조를 사용하였을 경우 RAKE 수신기의 브랜치수에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸다. RAKE 수신기를 사용하지 않은 경우에 10-2의 에러율에서 약 16 dB의 Eb/No가 요구되며 브랜치수 2인 RAKE 수신기를 사용할 경우 약 6dB, 브랜치수 4인 경우 약 9dB정도의 성능이 개선된다.

그림 14에서는 직교부호의 길이를 달리 한 경우에 RAKE 수신기의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 단일 경로 페이딩 채널에서 RAKE 수신기를 사용하지 않을 경우에는 길이 8인 직교부호보다 길이 64인 직교

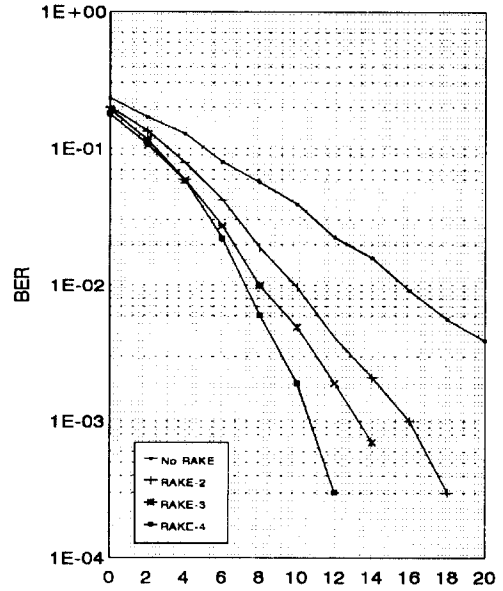


그림 13. 다경로 페이딩 채널에서 길이 8인 직교 부호를 사용한 RAKE 수신기 에러율

Fig. 13. BER of the RAKE receiver with 8x8 orthogonal code over the multipath fading channel.

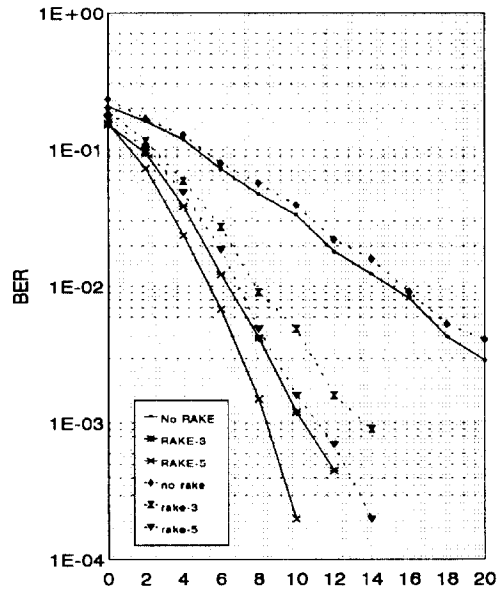


그림 14. 다경로 페이딩 채널에서 Walsh 부호에 대한 RAKE 수신기의 에러율 (직교부호 길이, 점선-8, 실선-64)

Fig. 14. BER of the RAKE receiver with Walsh code over multipath fading channel (dot-8x8, line-64x64).

부호가 미세한 차이의 성능향상을 보인다. 두경우에 비트당 칩수는 동일하다. 다경로 페이딩 채널에서는 길이 8인 직교 부호보다 길이 64인 직교부호가 약 2dB의 성능개선이 된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 다경로 페이딩 채널에서 RAKE 수신기를 사용한 경우에 CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 단일 사용자 환경에서 RAKE 수신기의 성능과 다중 사용자 및 직교 변조를 사용한 경우에 RAKE 수신기의 성능을 살펴보았다.

시뮬레이션 결과를 통하여 보면, 다경로 페이딩 채널에서 RAKE 수신기를 사용한 경우 CDMA 시스템의 성능이 약 10~15 dB 정도 향상됨을 알 수 있다. 경로수가 5인 다경로 페이딩 채널에서는 브랜치 수가 5인 RAKE 수신기가 가장 좋은 성능을 나타내었다. 다중 사용자 환경에서는 직교 부호 변조를 사용하면 RAKE 수신기의 성능을 향상시킬 수 있으며, 직교 부호 변조는 길이 8인 직교 부호보다 길이 64인 직교 부호가 약 2 dB의 성능이 향상됨을 알 수 있다.

#### 參 考 文 獻

- [1] Klein S. Gilhousen, "On the Capacity of a Cellular CDMA System," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. VT-40, no. 2, pp. 303~312, May, 1991.
- [2] William C Y. Lee, "Overview of Cellular CDMA," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. VT-40, no. 2, pp. 291~302, May, 1991.
- [3] Paymond L. Pickholtz, "Spread Spectrum for Mobile Communications," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. VT-40, no. 2, pp. 313~322, May, 1991.
- [4] Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, pp. 702~739, 1989.
- [5] Gunther-Segelhof, "A RAKE Receiver which Adapts to Fast Fading," *IEEE PIMRC*, 14.4.1, 1992.
- [6] Kyoung Il Kim, "On the Error Probability of a DS/SSMA with a Noncoherent M-ary Orthogonal Modulation," *IEEE VTC Proceedings*, pp. 482~485, May, 1992.
- [7] Price & Green, "A Communication Technique for Multipath Channels," *Proc. of the IRE*, pp. 555~570, 1958.
- [8] Charles E Cook, "An Introduction to Spread Spectrum," *IEEE Communications Magazine*, pp. 8~16, March, 1983.
- [9] Qi Bi, "Performance Analysis of a CDMA Cellular System in the Multipath Fading Environment," *IEEE PIMRC*, pp. 108~470, 1992.
- [10] H. R. Cho, Y. S. Oh and C. E. Kang, "Bit Error Rate in FH/BFSK System under Jamming Environments," *IEEE PIMRC*, pp. 465~469, Oct. 1992.
- [11] 박 용순, 김 한중, 홍 대식, 강 창언, "직교 부호 변조를 이용한 비동기 CDMA 시스템," 전자공학회 발표회 논문집, 1992년 11월 21일



## 著 者 紹 介



高永勳(準會員)

1991年 8月 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993年 8月 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1993年 8月 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 이동통신 등임.



朴性卿(正會員)

1985年 2月 금오공과대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1989年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1992年 3月 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 박사과정. 주관심 분야는 이동통신, 위성통신 등임.

洪大植(正會員)

1983年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1985年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1990年 8月 Purdue University 졸업(Ph.D). 1990年 9月 Purdue University Post-Doctoral Reserch Associate. 1991年 8月 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 조교수. 주관심 분야는 신경회로망, 정보통신 등임.

康昌彦(正會員)

1960年 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1965年 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1969年 미시간주립대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1973年 미시간주립대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1973年 미시간주립대학교 전자공학과 졸업(Ph.D). 1967年 ~ 1973年 미시간주립대학교 공학연구소 선임연구원. 1973年 ~ 1981年 노던일리노이대학교 전자공학과 조교수, 부교수. 1982年 ~ 현재 연세대학교 전자공학과 교수. 주관심 분야는 정보통신 등임.