

論文 96-33A-4-5

# DS-CDMA/DPSK 셀룰라 이동통신 시스템에서 간섭 제거기와 RAKE 수신기에 의한 성능 개선

## (Performance Improvement of the DS-CDMA/DPSK Cellular Mobile Communication System with CCI Canceller and RAKE Receiver)

李京俊\*, 吳昌憲\*\*, 趙成俊\*\*\*, 蔡洙煥\*\*\*\*

(Kyung Joon Lee, Chang Heon Oh, Sung Joon Cho, and Soo Hoan Chae)

### 요 약

본 논문에서는 간섭제거기와 RAKE 수신기법에 의한 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 이동통신 시스템의 성능 개선을, 가우스잡음과 다중접속간섭 및 주파수 선택성 Rayleigh 페이딩 환경으로 모델링되는 이동무선 채널에서 해석하였다. 셀당 사용자수를 나타내는 시스템의 용량을 유도하여 수치계산하고 그 결과를 PN 코드길이, RAKE 수신기 탭 수, BER,  $E_b/N_0$  등을 함수로 하여 그림으로 나타내었다. 음성활동계수는 3/8, 셀당 섹터수는 3으로 가정하였으며, 다중접속간섭은 가우시안 랜덤과정으로 가정하였다. 얻은 결과로부터 다중접속간섭을 제거하기 위해 간섭제거기를 채용하면 사용자의 수가 크게 증가한다. 다중경로 페이딩에 대한 보상기법으로서 RAKE 수신기를 채용하는 경우 모든 탭에 항상 신호가 존재한다면 RAKE 수신기의 탭 수가 증가할수록 오율 특성이 개선되며, 각 탭사이의 SNR의 차가 적을수록 RAKE 수신기에 의한 성능개선 효과가 크다. 또한 간섭 제거기와 RAKE 수신기를 직렬로 함께 채용하면 셀당 사용자 수를 보다 증가시킬 수 있다.

### Abstract

In this paper, we analyzed the performance improvement of the DS-CDMA/DPSK cellular mobile communication system with CCI canceller and RAKE receiver techniques in mobile radio channel which is characterized by AWGN, Multi-User Interference (MUI) and frequency selective Rayleigh fading. System capacity i.e., number of user per cell has been derived and the evaluated results are shown in figures as a function of PN code sequence length, number of RAKE receiver tap, BER and  $E_b/N_0$ . The voice activity factor is assumed to be 3/8, the number of sectors in a cell 3 and MUI is modeled as Gaussian process. From the results, the capacity of the DS-CDMA/DPSK cellular mobile communication system is improved by adopting CCI canceller. When we adopt the RAKE receiver to mitigate the multipath fading, the error performance is improved and the amount of improvement is proportional to the number of taps L in the case that each tap contains a signal component and the better of improvement can be obtained, the smaller of the SNR difference in each tap. The system capacity is more increased when the CCI canceller and the RAKE receiver is used in cascade.

\* 正會員, 韓國電子通信研究所  
(Elec. and Telecomm. Research Institute)

\*\* 正會員, 三星電子(株) 通信開發室  
(Communication Systems R&D Center,  
Samsung Electronics Co., Ltd.)

\*\*\* 正會員, 韓國航空大學校 航空通信情報工學科

(Dept. of Telecom. & Inform. Eng., Hankuk  
Aviation Univ.)

\*\*\*\* 正會員, 韓國航空大學校 컴퓨터工學科  
(Dept. of Computer Eng., Hankuk Aviation  
Univ.)

接受日字: 1995年8月29日, 수정완료일: 1996年2月26日

I. 서론

최근들어 이동통신 수요의 급증에 따른 수용용량의 한계를 극복하기 위한 방안으로 CDMA (Code Division Multiple Access) 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. CDMA 방식은 FDMA나 TDMA 방식과 달리 여러명의 사용자가 같은 주파수를 이용하여 동시에 정보를 전송할 수 있으므로 가입자 수용용량이 높고 셀룰라 시스템에서 셀배치가 간소화되는 장점을 가지고 있다<sup>[1]</sup>. CDMA 방식은 스펙트럼 확산 (Spread Spectrum : SS) 기술을 응용한 방식으로 직접 확산 (Direct Sequence : DS) 방식과 주파수 도약 (Frequency Hopping : FH) 방식으로 크게 나눌 수 있다. DS-CDMA 방식에 관해서는 그동안 많은 연구가 활발히 진행되어 왔으며, Qualcomm사를 중심으로 현장실험을 통해 차세대 이동통신 시스템으로 제안되었다. 우리나라의 경우도 차세대 이동통신 시스템으로 DS-CDMA 방식이 확정되어 현재 상용화 시험 중이다.

본 논문에서는 이동 무선 채널환경에서의 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 이동통신 시스템의 성능을 분석한다. DS-CDMA 이동통신 시스템의 성능을 열화시키는 주요 원인에는 다중경로 전파에 의한 다중경로 (Multipath) 페이딩과 특히 많은 사용자가 동시에 동일 주파수 대역을 사용하는데 따른 다중접속간섭 (MUI : Multi-User Interference) 있다. 이에 관련된 기존의 연구로서는 참고문헌 [2] - [6] 등이 있다. Lee<sup>[2]</sup>는 다중접속간섭이 존재하는 환경에서, Kerr<sup>[3]</sup>와 Asano<sup>[4]</sup>은 다중접속간섭과 Log-normal 페이딩이 함께 존재하는 환경에서 사용자수를 구한 바가 있다. 또한 Tachikawa<sup>[5]</sup>는 다중접속간섭을 제거하기 위해 CCI (Co-Channel Interference) canceller를 채용하여 채널용량을 구하였다. 그러나 참고문헌 [2] - [4]의 연구에서는 채널 또는 수신기에서 부가되는 가우스 잡음 (AWGN)의 영향을 무시하였고, 인접 셀의 간섭을 고려하지 않았다. 또한 참고문헌 [5], [6]은 다중경로 페이딩의 보상기법인 RAKE 수신기 채용시의 성능개선 효과를 해석하지 않았다.

본 논문에서는 기존의 연구를 확장하여 AWGN과 동일 셀 및 인접 셀로부터의 다중접속간섭 (MUI) 과 주파수 선택성 (frequency-selective) Rayleigh 페이딩이 존재하는 이동 무선 채널에서 DS-CDMA/

DPSK 셀룰라 시스템의 오율식을 유도하여 셀당 사용자수에 따른 성능을 해석하고, 다중접속간섭을 제거하기 위한 기법으로 간섭제거기 (CCI canceller)와 다중경로 페이딩에 대한 성능개선을 위한 기법으로 RAKE 수신기를 직렬 (cascade)로 결합하는 경우에 대해 성능의 개선정도를 이론적으로 해석하고자 한다.

II. 해석 모델

본 논문에서는 그림 1과 같이 AWGN과 다중접속간섭 (MUI) 및 주파수 선택성 Rayleigh 페이딩이 존재하는 이동 무선 채널을 고려한다. 수신단에서는 성능개선 기법으로서 간섭제거기와 RAKE 수신기를 직렬로 접속한다.

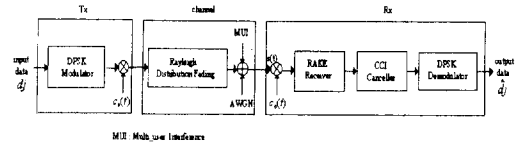


그림 1. 해석 모델  
Fig. 1. Analysis model.

정보 데이터 신호  $d_i$ 는 변조기에서 DPSK 변조된 후 PN 코드  $C_0(t)$ 에 의해 DS 확산되어 송신안테나를 통해 공간에 방사된다. 주파수 선택성 Rayleigh 페이딩 채널을 통과한 신호는 수신기 전단에서 MUI와 AWGN과 함께 입력된다. 수신신호는 간섭제거기에 의해 MUI가 제거되며, RAKE 수신부에서 경로 다이버시티 효과에 의해 성능이 개선된 후 DPSK 복조되어 추정 데이터 신호  $\hat{d}_i$ 가 출력된다.

셀룰라 시스템의 셀 구성은 이상적인 육각 셀을 가정하고, 사용자는 셀의 전 지역에 고르게 분포되어 있다고 가정한다. 셀당 사용자수는 K이며 모든 셀에서 같다고 가정하고, 시스템의 전력제어 (power control)는 고려하지 않는다. 음성활동계수 ( $V_m$  : voice activity factor)를 3/8으로 가정하고 한 셀은 3개의 지역 (sector)으로 분할되었다고 가정한다<sup>[2], [3]</sup>. 변조방식으로는 페이딩 채널에 강한 DPSK (Differential Phase Shift Keying) 변조방식을 채용한다.

1. 다중접속간섭 모델  
기존 사용자에게 다른 사용자의 신호는 동일채널

간섭과가 되는데 일반적으로 사용자  $i$ 로부터 간섭을 받을 때 간섭신호는 다음과 같이 표현된다.

$$s_i(t) = \sqrt{2P_i} A_0 d_i c_i(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) \quad (1)$$

여기서  $P_i$ 는 간섭신호의 평균전력이고  $A_0$ 는 순시 페이딩 진폭이며,  $d_i$ 는 데이터 비트이다. 또한  $c_i(t)$ 는 간섭신호  $s_i(t)$ 의 PN 코드이고  $f_c$ 는 반송파 주파수로서 모든 사용자가 동일하며,  $\phi$ 는 기준 사용자 신호에 대한 위상차로서  $[0, 2\pi]$  에서 일양 분포한다고 가정한다. 기지국이 동일 셀내의 모든 사용자에게 같은 전력으로 신호를 송신한다면 간섭신호도 기준 신호와 똑같은 경로 손실을 갖는다고 간주할 수 있다. 이때 DPSK 복조기내 정합필터 출력단에서의 하나의 간섭신호의 출력은 다음과 같다<sup>[31]</sup>.

$$\sigma_i^2 = \frac{E_b \cdot A_0^2}{3M} \quad (2)$$

여기서,  $M$  : PN 코드의 길이.

기준 사용자 이외의 다른 사용자에 의한 MUI은 가우시안 랜덤 변수로 간주할 수 있다. 따라서 간섭신호의 전력 스펙트럼 밀도를  $N_I$ 라고 하면  $\sigma_i^2 = N_I/2$ 이므로 하나의 간섭신호가 MUI 에 기여하는 정도는 다음과 같다.

$$MUI = N_I = \frac{2}{3M} E_b \cdot A_0^2 \quad (3)$$

식 (3)은 동일 셀내에 1 개의 간섭신호가 존재할 경우의 MUI을 표시한 것으로 실제로 기준 사용자는 동일 셀내에서 다른 사용자 및 인접 셀의 사용자에게 의해 간섭을 받는다. 동일 셀내에서 기준 사용자에게 간섭을 주는 실제 다른 사용자 수를  $Kc$ 라고 가정하면 이들 사용자들에 의한 실제 간섭은 식 (3)에  $Kc$ 를 곱하여 얻어진다.  $Kc$ 는 다음과 같이 구해진다<sup>[31]</sup>.

$$Kc = \frac{V_{on} \cdot K}{N_{sect}} - 1 \quad (4)$$

여기서,  $N_{sect}$ : 셀의 섹터수,  $V_{on}$ : 음성활동계수로서  $\frac{3}{8}$ ,  $K$ : 셀당 전체 사용자 수.

따라서 동일 셀내에서의 간섭  $I_1$ 은 다음과 같다.

$$I_1 = Kc \frac{2}{3M} E_b \cdot A_0^2 \quad (5)$$

또한, 인접 셀로부터는  $Kc+1$ 의 사용자에게 의해 간섭이 발생하므로 인접 셀로부터의 간섭  $I_2$ 는 다음과

같다.

$$I_2 = (Kc+1) \sum_{k=1}^C \frac{2}{3M} E_b \cdot A_k^2 \quad (6)$$

여기서,  $C$ : 간섭을 주는 인접 셀의 수,  
 $A_k$ :  $k$ 번째 기지국으로부터 송신되는 신호의 순시 진폭.

식 (6)의 간섭  $I_2$ 는 인접 셀까지의 거리에 따른 경로 손실 지수 ( $\beta$ ) 를 고려하면 그림 2와 같이 3부분으로 구분할 수 있다<sup>[21]</sup>.

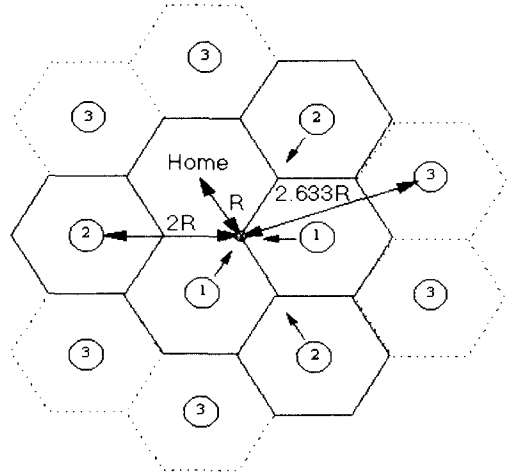


그림 2. DS-CDMA 셀룰라 시스템의 MUI 모델  
Fig. 2. MUI model of DS-CDMA cellular system.

그림 2는 이동국이 기준 셀에서는 가장 멀리 떨어져 있고 인접 셀에서는 가장 가까운 위치에 있을 때로서 신호의 수신 상태가 가장 열악한 경우이다. 기준 셀의 반경을  $R$ 이라고 하면 셀 ①에 의한 간섭의 세기는 기준 셀의 간섭 세기와 같으며, 셀 ②에 의한 간섭의 세기와 셀 ③에 의한 간섭의 세기는 거리에 따라 달라진다. 이를 고려하여 수식으로 나타내면 다음과 같다<sup>[21]</sup>.

$$\begin{aligned} I_2 &= (Kc+1) \sum_{k=1}^C \frac{2}{3M} E_b \cdot A_k^2 \\ &= (Kc+1) \frac{2}{3M} E_b \cdot A_0^2 \cdot \left( \frac{2}{R^\beta} + \frac{3}{(2R)^\beta} + \frac{6}{(2.633R)^\beta} \right) \\ &= (Kc+1) \frac{2}{3M} E_b \cdot A_0^2 \cdot 2.467 \end{aligned} \quad (7)$$

여기서,  $\beta = 3.5$ ,  $R = 1$  (기준 셀의 반지름),  
 $2R =$  셀 ②까지의 거리,  $2.633R =$  셀 ③까지의 거리.

따라서, 기준 사용자가 받는 MUI은 셀내에서의 간섭  $I_1$ 과 인접 셀로부터의 간섭  $I_2$ 의 합이 된다. 그러

므로 DS-CDMA 셀룰라 시스템의 신호 전력 대 잡음 전력비 (SNR)  $\gamma$ 는 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{E_b \cdot A_0^2}{N_1 + N_o/2} = \frac{E_b \cdot A_0^2}{I_1 + I_2 + N_o/2}$$

$$= \frac{E_b \cdot A_0^2}{\frac{2Kc}{3M} E_b \cdot A_0^2 + \frac{2(Kc+1)}{3M} E_b \cdot A_0^2 \cdot 2.467 + N_o/2} \quad (8)$$

여기서,  $N_o/2$  : AWGN의 양측 전력 스펙트럼 밀도

### 2. 간섭제거 (CCI cancellation) 기법

DS-CDMA 시스템의 용량 (capacity) 은 간섭에 의해 제한되기 때문에 DS-CDMA 시스템에서는 간섭을 줄여주므로서 그만큼 용량을 증가시킬 수 있다. 이를 위해서는 2가지 문제점을 고려해야 한다. 첫째, 기존의 SS 정합필터 수신기는 다중접속간섭 (MUI) 환경에서는 최적 수신기로 동작할 수 없으며 둘째, 이들 수신기들은 원근 (near-far) 효과에 매우 민감하다는 것이다. 따라서 이와같은 문제점을 해결하기 위해 최근 적응성있는 SS 수신기들이 제안되고 있다. 기존의 수신기는 정합필터와 그 후단에 임계치 검파기로 구성되는 단일 사용자용 검파방식을 사용하여 신호를 복조하였기 때문에 희망하는 신호와 간섭신호 사이의 상호상관으로 인해 시스템의 성능에 치명적인 영향을 주었다. 따라서 이를 보상하기 위해 간섭 억압 (interference suppression) 혹은 간섭 제거 (interference cancellation) 에 근간을 둔 몇가지 multiuser 용 수신기가 제안되고 있다. 그러나 최적의 multiuser 검파기는 기존의 검파기에 비해 훨씬 우수한 성능을 갖지만 사용자의 수에 따라 지수함수적으로 시스템의 구조가 복잡해지는 단점을 갖는다. 따라서 최근에는 최적 multiuser 검파기의 복잡성을 개선하여 사용자 수에 따라 선형적 복잡성을 갖는 suboptimal 검파기가 제안되고 있다<sup>[7], [18]</sup>.

본 논문에서는 suboptimal multiuser 검파기의 한 예로서 다중접속간섭 (MUI) 을 제거하기 위하여 수신단에 간섭제거 (CCI cancellation) 기법을 도입한다<sup>[5], [16]</sup>. 그림 3은 DS-CDMA 방식에서 간섭제거기를 채용하는 수신기 모델을 나타낸다<sup>[5]</sup>.

그림 3은 기준 사용자 이외의 모든 사용자 신호를 사용자 각각의 PN 코드로 역확산하여 상관 검파한 후 각각의 PN 코드를 이용하여 다시 확산하여 이것들을 시간 T만큼 지연시킨 수신신호  $S_r$ 에서 빼주는 것을

나타내고 있다. 이때 수신 신호  $S_r$ 을 구성하고 있는 신호  $S_2, S_3, \dots, S_k$ 에 비트 에러가 발생하지 않았다면 다중접속간섭은 완벽하게 제거된다.

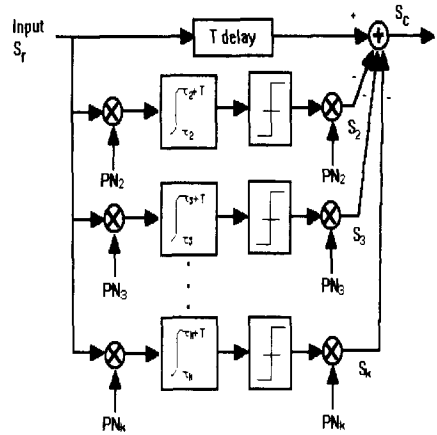


그림 3. 간섭제거기의 구조  
Fig. 3. CCI canceller structure.

### 3. RAKE 수신기법

이동 무선 채널에서 발생하는 다중경로 페이딩 현상은 신호의 시간 퍼짐 ( $T_m$ : multipath spread) 과 주파수 퍼짐 ( $B_d$ : doppler spread) 의 특성을 갖는다. 시간 퍼짐은 신호의 다중경로 전파 (propagation) 에 의한 수신 시간의 퍼짐으로 시간 퍼짐 만큼의 시간 간격을 두고 신호가 수신되는 것이며, 주파수 퍼짐은 이동체의 속도에 의해 신호의 주파수 특성이 변하는 것을 의미한다. 시간 퍼짐의 역수를 coherent bandwidth ( $(\Delta f)_c (\approx 1/T_m)$ ) 라 하며 주파수축상에서, 비슷한 영향을 받는 주파수 대역폭을 나타낸다. 또한 주파수 퍼짐의 역수를 coherent time ( $(\Delta t)_c (\approx 1/B_d)$ ) 이라 하며 시간축상에서, 비슷한 영향을 받는 시간폭을 나타낸다.  $T_m$ 와  $B_d$ 의 곱을 채널의 spread factor라 하며, 채널의 전파특성을 나타내는 중요한 변수이다. 전송 신호의 대역폭을  $W$ , 신호의 주기를  $T$ 라 하면 다음과 같이 페이딩 채널을 모델링할 수 있다<sup>[9]</sup>.

- ▶  $W \ll (\Delta f)_c$  : frequency non-selective fading
- ▶  $W \gg (\Delta f)_c$  : frequency selective fading
- ▶  $T \ll (\Delta t)_c$  : slow fading
- ▶  $T \gg (\Delta t)_c$  : fast fading

신호의 대역폭  $W$ 가 채널의 coherent 대역폭보다

훨씬 좁은 협대역 시스템의 경우는 다중경로에 의한 지연 성분을 분리 (resolution) 할 수 없기 때문에 심각한 페이딩을 초래한다. 그러나 W가 채널의 coherent 대역폭보다 넓은 광대역 시스템에서는 다중 경로 성분의 분리 (time resolution : 1/W) 가 가능하기 때문에 수신기는 각각 독립적으로 신호 성분을 수신할 수 있다. 채널의 시간 퍼짐이  $T_m$  일때  $T_m W$ 개의 분해가능한 신호성분이 존재하며,  $T_m \approx 1/(\Delta f)_c$  이므로 분해가능한 신호 성분의 개수는  $W/(\Delta f)_c$ 이다. 그러므로 광대역 신호를 사용하는 것은  $L \approx W/(\Delta f)_c$  개의 주파수 다이버시티를 사용하는 경우와 같다. 이와 같은 광대역 신호를 처리하는 최적의 수신기를 RAKE 수신기라 한다. RAKE 수신기는 단어 뜻 그대로 갈고랑이로 낙엽을 긁어 모으듯 다중경로 전파에 의해 시간 지연되어 수신되는 신호를 합성함으로써 다중경로 페이딩에 의한 영향을 경감시키는 기법이다. DPSK 신호에 대한 RAKE 수신기 구조의 예를 그림 4에 나타낸다. RAKE 수신기를 효율적으로 사용하려면 채널의 탭 가중치 (weight factors) 를 완전히 예측할 수 있어야 하며, 이를 위해서는 채널의 페이딩율이  $(\Delta t)_c/T \geq 100$  정도로 충분히 느려야 (slow) 한다. 따라서 RAKE 수신기는 주파수 선택성, 느린 페이딩 모델에 적용된다.

RAKE 수신기를 해석하기 위한 채널 모델로는 TDL (Tapped Delay Line) 모델이 널리 이용되며, 이때의 수신신호는 다음식과 같이 표현된다.

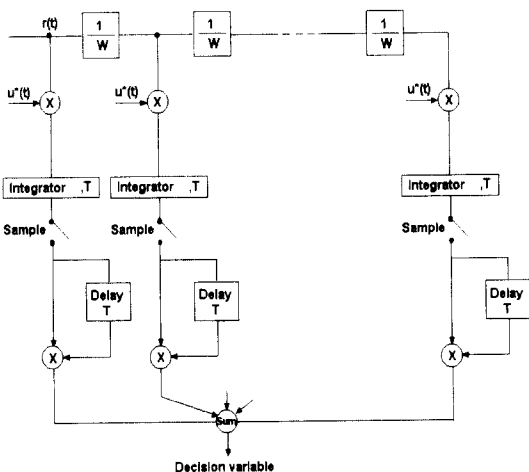


그림 4. DPSK 신호에 대한 RAKE 수신기 구조  
Fig. 4. RAKE receiver for DPSK signals.

$$r(t) = \sum_{n=1}^L c_n(t) u\left(t - \frac{n}{W}\right) + n(t). \quad (9)$$

여기서,  $n = 1, 2, \dots, L$ .

식 (9)에서  $u(t)$ 는  $|f| \leq W/2$ 로 대역 제한된 신호,  $n(t)$ 는 AWGN,  $c_n(t)$ 는 채널의 전파특성을 나타내는 변수이며, 다중경로의 수 L은  $\lceil T_m W \rceil + 1$ 로 주어진다. 여기서  $\lceil x \rceil$ 는 x를 넘지 않는 최대 정수값을 의미한다.  $c_n(t)$ 의 진폭특성  $|c_n(t)| \equiv A_n(t)$ 는 Rayleigh 분포를 하며, 위상은 일양분포를 한다고 가정한다.

L개의 Rayleigh 페이딩 경로를 고려할때 각 경로의 순시 SNR  $\gamma_n$ 의 확률밀도함수 (p.d.f) 는 다음과 같다<sup>[9]</sup>.

$$P_{A_n}(\gamma_n) = \frac{1}{\gamma_n} \exp\left(-\frac{\gamma_n}{\bar{\gamma}_n}\right), \quad (n=1, 2, \dots, L) \quad (10)$$

여기서,  $\gamma_n$  : 순시 SNR ( $= A_0^2 \frac{E_b}{N_0}$ ),  $\bar{\gamma}_n$  : 평균 SNR.

### III. DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 성능

#### 1. AWGN 환경에서의 오율특성

AWGN 환경에서 DS-CDMA/DPSK 신호의 오율식은 다음과 같다<sup>[9]</sup>.

$$P_e = \frac{1}{2} \exp(-\gamma), \quad (11)$$

$$\text{여기서, } \gamma = \frac{E_b \cdot A_0^2}{2K \cdot E_b \cdot A_0^2 + N_0/2}.$$

또한 II.1절에서 구한 인접 셀의 MUI 모델과 음성 활동계수 및 셀 섹터화를 고려하면 AWGN 환경에서 DS-CDMA/DPSK 신호의 오율식은 다음과 같이 표현된다.

$$P_{e1} = \frac{1}{2} \exp(-\gamma_1), \quad (12)$$

여기서,

$$\gamma_1 = \frac{E_b \cdot A_0^2}{\frac{2Kc}{3M} E_b \cdot A_0^2 + \frac{2(Kc+1)}{3M} E_b \cdot A_0^2 \cdot 2.467 + N_0/2},$$

Kc : MUI를 주는 실제 사용자 수.

#### 2. AWGN과 MUI 및 Rayleigh 페이딩 환경에서의 오율특성

식 (12)는 순시진폭  $A_0$ 가 일정할 때 즉, 페이딩이 없을 때의 조건부 오율식이며,  $A_0$ 가 Rayleigh 페이딩

을 받아 변동할 때의 오율식은 식 (12)를  $\gamma_1$ 에 대한 p.d.f 로 평균을 취하면 다음과 같이 구해진다.

$$P_{ef} = \int_0^{\infty} P_{e1} |A_0^2| \cdot p_{A_1}(\gamma_1) d\gamma_1 = \frac{1}{2(1 + \gamma_1)} \quad (13)$$

여기서,  $p_{A_1}(\gamma_1) = \frac{1}{\gamma_1} \exp\left(-\frac{\gamma_1}{\gamma_1}\right)$ ,

$$\bar{\gamma}_1 = \frac{\frac{2Kc}{3M} \bar{E}_b + \frac{2(Kc+1)}{3M} \bar{E}_b \cdot 2.467 + N_0/2}{\bar{E}_b} = E_b \cdot \bar{A}_0^2$$

#### IV. 간섭제거기와 RAKE 수신기에 의한 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 성능개선

##### 1. 간섭제거기에 의한 성능개선

수신단에서 MUI을 제거하기 위해 간섭제거 기법을 도입할때 간섭제거기 입력단에서 기저대역 신호의 진폭이  $\pm 1$ 인 경우, 입력신호  $S_r$ 의 신호대 잡음비  $SNR_{DS1}$ 은 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

$$SNR_{DS1} = 1 / [ (Kc \cdot 2/3M) + (N_0/2E_b) ] \quad (14)$$

그림 3에서 수신신호  $S_r$ 을 구성하고 있는 신호  $S_2, S_3, \dots, S_k$ 에 비트 에러가 발생하지 않았다면 MUI은 완벽하게 제거되지만 수신신호  $S_r$ 에서  $i$ 번( $i=2, 3, \dots, k$ )째 사용자의 수신신호에만 상관 검과 과정에서 에러가 발생하였다면  $PN_i$ 에 의해 상관 수신되어 복원되는 신호는  $S_i$ 에 포함된  $S_i$ 의 신호와 다른 것이 되고 이것이 다시  $PN_i$ 에 의해 확산되어 T시간 지연된  $S_i$  신호에 더해지게 된다. 이때 에러가 발생한  $i$ 번째 사용자의 신호는 수신신호  $S_r$ 에 MUI로 더해지므로 신호  $S_c$ 는  $S_i$  사용자에 의한 MUI의 2배의 전압 (전력면에서는 4배) 을 포함하게 된다. 결과적으로 신호  $S_c$ 와  $S_1$  사용자의 수신신호 사이의 신호 대 잡음비  $SNR_{DS2}$ 는 다음식과 같이 주어진다<sup>[5]</sup>.

$$SNR_{DS2} = 1/[ (A_v \cdot 2/3M) + (N_0/2E_b) ] \\ = 1/[ (4Kc \cdot P_{eb_{DS1}} \cdot 2/3M) + (N_0/2E_b) ] \quad (15)$$

여기서,  $A_v = 4Kc \cdot P_{eb_{DS1}}$ ,

$P_{eb_{DS1}}$  :  $SNR_{DS1}$ 을 이용한 오율식 (12).

따라서 AWGN과 MUI가 함께 존재하는 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템에서 간섭제거기를 채용할 때의 오율식은 식 (12)와 식 (15)를 이용하면 다음과 같이 나타내진다.

$$P_{e2} = \frac{1}{2} \exp(-\gamma_2) \quad (16)$$

여기서,

$$\gamma_2 = \frac{E_b \cdot A_0^2}{4 \cdot P_{e1} \left[ \frac{2Kc}{3M} E_b \cdot A_0^2 + \frac{2(Kc+1)}{3M} E_b \cdot A_0^2 \cdot 2.467 \right] + N_0/2}$$

##### 2. RAKE 수신기법에 의한 성능개선

탭 (tap)의 수가 L개인 RAKE 수신기의 출력 SNR  $\gamma$ 는 다음과 같다<sup>[9]</sup>.

$$\gamma = \sum_{n=1}^L \gamma_n \quad (17)$$

각  $\gamma_n$ 는 식 (10)으로 주어지는 Rayleigh 분포를 하며, 이의 특성함수  $\psi_{\gamma_n}(j\nu)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\psi_{\gamma_n}(j\nu) = \left( \frac{1}{1 - j\nu \gamma_n} \right) \quad (18)$$

그러므로 탭의 수가 L개인 RAKE 수신기의 출력 SNR  $\gamma$ 의 p.d.f  $p_{A_\gamma}(\gamma)$ 는 특성함수  $\psi_{\gamma}(j\nu)$ 의 푸리에 변환으로 구해지는데 다음과 같다<sup>[9]</sup>.

$$p_{A_\gamma}(\gamma) = \sum_{n=1}^L \frac{\pi_n}{\gamma_n} \exp\left(-\frac{\gamma}{\gamma_n}\right) \quad (19)$$

$$\text{여기서, } \pi_n = \frac{1}{\prod_{i=1, i \neq n}^L \frac{\gamma_n}{\gamma_n - \gamma_i}}$$

따라서 각 경로의 진폭이 Rayleigh 분포를 하는 환경에서 탭의 수가 L개인 RAKE 수신기로 수신할 때 DS-CDMA/DPSK 신호의 오율식은 다음과 같이 구해진다.

$$P_{eR} = \int_0^{\infty} P_{e1} |A_0^2| \cdot p_{A_\gamma}(\gamma) d\gamma = \sum_{n=1}^L \frac{\pi_n}{2(1 + \gamma_n)} \quad (20)$$

$$\text{여기서, } \bar{\gamma}_n = \frac{\bar{E}_b}{\frac{2Kc}{3M} \bar{E}_b + \frac{2(Kc+1)}{3M} \bar{E}_b \cdot 2.467 + \frac{N_0}{2}}$$

$$\bar{E}_b = E_b \cdot \bar{A}_0^2$$

#### V. 수치계산 결과 및 검토

앞절에서 유도한, 가우스 잡음 (AWGN) 과 다중접속간섭 (MUI) 및 주파수 선택성 Rayleigh 페이딩 채널에서의 DS-CDMA/DPSK 신호의 오율식과 간섭제거기와 RAKE 수신기를 채용했을 때의 오율식을 셀룰라 사용자 수 (K), PN 코드의 길이 (M), 비트 에너지 대 잡음 전력 스펙트럼 밀도비 ( $E_b/N_0$ ), 및 RAKE 수신기의 탭 수 (L) 등을 함수로 하여 수치계산한 결과를

그림 5 ~ 그림 10에 나타내었다.

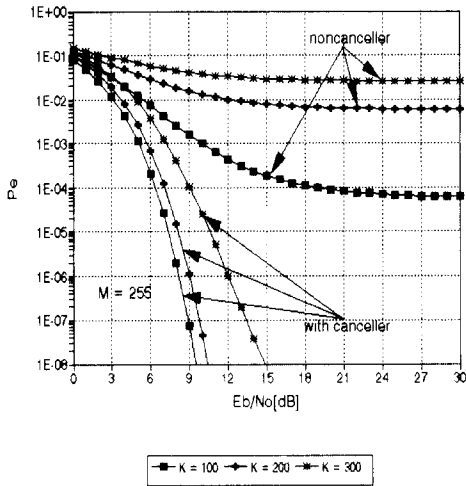


그림 5. AWGN과 MUI 환경에서 간섭제거기를 채용하는 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 오율 특성 (M=255)

Fig. 5. Error performance of the DS-CDMA/DPSK cellular system with CCI canceller in AWGN and MUI environments (M=255).

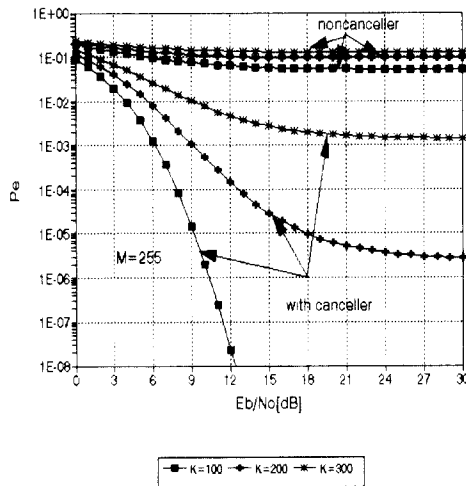


그림 6. Rayleigh 페이딩 환경에서 간섭제거기를 채용하는 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 오율 특성 (M=255)

Fig. 6. Error performance of the DS-CDMA/DPSK cellular system with CCI canceller in Rayleigh fading environment (M=255).

그림 5와 그림 6은 간섭제거기를 채용하는 경우의

DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 오율 특성으로서 PN 코드길이 (M) 가 255 일 때이다. 그림 5는 AWGN과 MUI 환경에서 간섭제거기를 채용한 경우와 채용하지 않은 경우의 오율 특성을 비교한 것으로서 간섭제거기를 채용하였을 때 오율 특성이 크게 개선됨을 알 수 있다. 예를들어,  $E_b/N_0 = 9$  dB일 때  $K=200$ 인 경우 오율이  $1.5 \times 10^{-2}$ 에서  $1.0 \times 10^{-6}$ 으로 개선되며,  $K=100$ 과  $K=300$ 에서도 오율이 현저히 개선된다. 그림 6은 AWGN과 MUI 및 Rayleigh 페이딩 환경에서 간섭제거기를 채용한 경우와 채용하지 않은 경우의 오율특성을 나타낸 것으로서 그림 5와 비교하여 Rayleigh 페이딩에 의해 시스템의 오율 특성이 열화되며, 그 정도는 간섭제거기를 채용하지 않은 경우 더욱 크다. 그림 5와 그림 6으로부터 간섭제거기에 의한 성능 개선 정도는 셀당 사용자 수가 적을수록 크다.

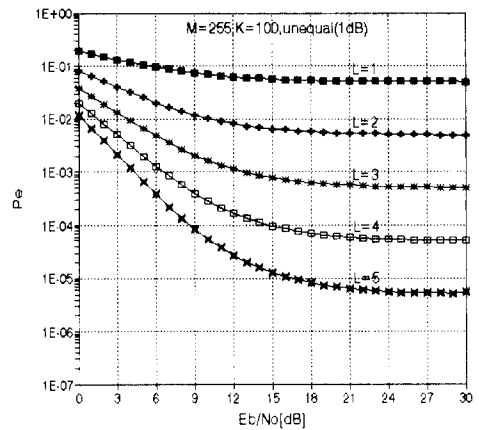


그림 7. Rayleigh 페이딩 환경에서 RAKE 수신기를 채용하는 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 오율 특성(각 탭사이의 SNR이 1 dB씩 다른 경우, M=255, K=100)

Fig. 7. Error performance of the DS-CDMA/DPSK cellular system with RAKE receiver in Rayleigh fading environment (1 dB unequal SNR in each tap, M=255, K=100).

그림 7과 그림 8은 AWGN과 MUI 및 Rayleigh 페이딩 환경에서 RAKE 수신기를 채용하는 경우 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 오율특성을 나타낸 것이다. 그림 7은 RAKE 수신기 각 탭의 신호는 시간 지연되어 수신되므로 각 탭사이의 SNR이 1 dB

씩 다르다고 가정할 경우이다(탭 수에 따라 1 dB씩 감소한다고 가정함). RAKE 수신기를 채용하면 RAKE 수신기를 채용하지 않은 경우(L=1)에 비해 오율특성이 개선됨을 알 수 있으며, 그 정도는 탭 수에 비례한다. 이와같은 결과는 RAKE 수신기의 모든 탭에 항상 신호가 존재한다는 가정하의 것이며, 실제로 합성하는 탭 중에 신호 성분이 존재하지 않는 탭이 있다면 그 탭의 출력에는 잡음만이 존재하므로 오히려 RAKE 수신기의 성능을 저하시키는 요인으로 작용하게 된다. 따라서 시스템 설계시에 전파직역 특성을 고려하여 유연성(adaptive) 있게 탭 수를 결정해야 한다. 그림 8은 RAKE 수신기의 각 탭사이의 SNR이 1 dB씩 다른(unequal) 경우와 3 dB씩 다른 경우의 오율특성을 비교하여 나타낸 것으로 각 탭사이의 SNR의 차가 적을수록 RAKE 수신기에 의한 성능개선 효과가 크며, 이와같은 영향은 특히 낮은  $E_b/N_0$ 에서 더욱 크게 나타난다. 이 결과는 식 (17)에서 알 수 있듯이 RAKE 수신기의 합성방법이 각 탭에서의 SNR을 최대비 합성하기 때문이다.

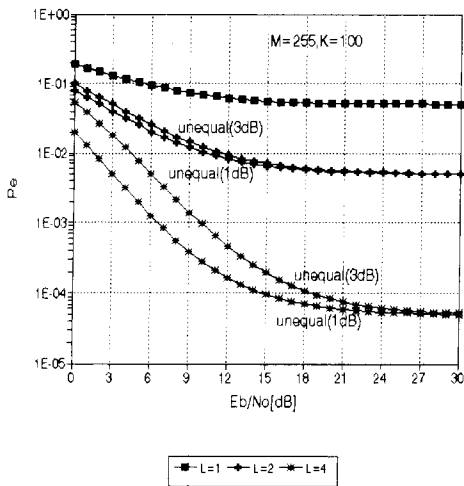


그림 8. Rayleigh 페이딩 환경에서 RAKE 수신기를 채용하는 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 오율 특성(각 탭사이의 SNR이 1dB씩 다른 경우와 3 dB씩 다른 경우, M=255, K=100)  
 Fig. 8. Error performance of the DS-CDMA/DPSK cellular system with RAKE receiver in Rayleigh fading environment (1 dB unequal SNR and 3 dB unequal SNR in each tap, M=255, K=100).

페이딩 환경에서 성능개선 기법으로서 간섭제거기와 RAKE 수신기를 함께 채용하는 경우의 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 오율특성을 나타낸 것이다. 구조로서는 우선 간섭제거기에 의해 다중접속 간섭을 제거한 후 RAKE 수신기에 의해 다중경로 페이딩의 영향을 경감시키는 직렬 구조를 가정하였다. 그림 9에서 L=1인 경우는 RAKE 수신기를 채용하지 않는 즉, 간섭제거기만을 채용한 경우의 오율특성으로서 그림 6의 간섭제거기 채용시의 오율특성과 일치한다. 여기에 다중경로 페이딩에 대한 성능개선 기법으로서 RAKE 수신기를 직렬로 채용하면 탭 수가 증가할수록 오율특성이 더 개선되며 그 정도는 사용자수가 많을 때 보다 크다. 간섭제거기와 RAKE 수신기를 직렬로 채용하면 그림 6과 7에서 보인, 동일 환경에서 각 기법만에 의한 성능 개선보다 큰 개선효과를 얻을 수 있다. 그림 10은 간섭제거기와 RAKE 수신기를 함께 채용할 때 셀당 사용자수에 따른 오율특성으로서  $E_b/N_0$ 가 9 dB인 경우이다. 그림으로부터 AWGN과 MUI 및 Rayleigh 페이딩 환경에서 셀당 180명 정도의 사용자가  $10^{-5}$  이하의 오율특성을 얻으려면 간섭제거기와 RAKE 수신기(탭 수 2이상)를 함께 채용하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

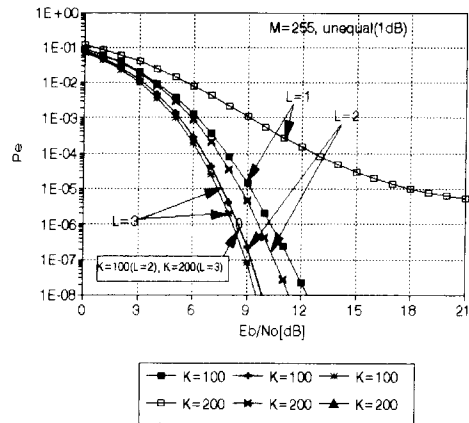


그림 9. Rayleigh 페이딩 환경에서 RAKE 수신기와 간섭제거기를 함께 채용하는 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 오율 특성(각 탭사이의 SNR이 1 dB씩 다른 경우, M=255)  
 Fig. 9. Error performance of the DS-CDMA/DPSK cellular system with RAKE receiver and CCI canceller in Rayleigh fading environment (1 dB unequal SNR in each tap, M=255).

그림 9와 그림 10은 AWGN과 MUI 및 Rayleigh



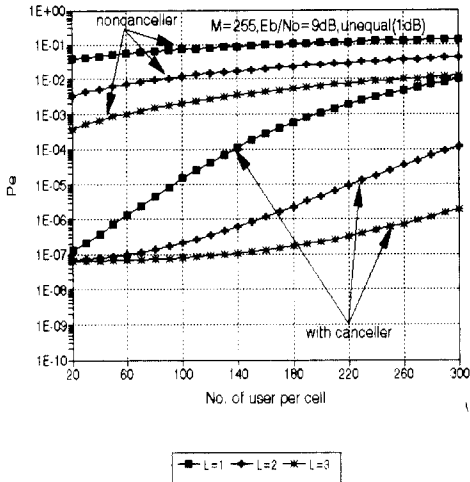


그림 10. Rayleigh 페이딩 환경에서 RAKE 수신기와 간섭제거기를 함께 채용하는 DS-CDMA/DPSK 셀룰라 시스템의 오류 특성(각 탭사이의 SNR이 1 dB씩 다른 경우,  $M=255$ ,  $E_b/N_0 = 9$  dB)

Fig. 10. Error performance of the DS-CDMA/DPSK cellular system with RAKE receiver and CCI canceller in Rayleigh fading environment (1 dB unequal SNR in each tap,  $M=255$ ,  $E_b/N_0 = 9$  dB).

## VI. 결론

본 논문에서는 DS-CDMA/DPSK 신호의 오울식을 가우스 잡음과 다중접속간섭 및 주파수 선택성 Rayleigh 페이딩이 혼재하는 무선 채널에서 구하여 수치계산하고, 성능 개선 기법으로서 간섭제거기 (CCI canceller) 와 RAKE 수신기를 함께 채용하였을 때의 오울식을 유도, 수치계산하여 성능의 개선정도를 알아 내고 이에 대해 검토하였다.

DS-CDMA/DPSK 셀룰라 이동통신 시스템은 다중 접속간섭과 다중경로 페이딩에 의해 성능이 현저하게 저하되는데, 간섭제거기와 RAKE 수신기를 채용함으로써 성능을 크게 개선시킬 수 있었다. 다중접속간섭을 제거하기 위해 간섭제거기를 채용하면 사용자의 수가 크게 증가한다. 다중경로 페이딩에 대한 보상기법으로서 RAKE 수신기를 채용하는 경우 모든 탭에 항상 신호가 존재한다면 RAKE 수신기의 탭 수가 증가할수록 오울특성이 현저히 개선되며, 각 탭사이의 SNR의 차

가 적을수록 RAKE 수신기에 의한 성능개선 효과가 크다. 또한 AWGN과 MUI 및 Rayleigh 페이딩 환경에서 셀룰라 수용용량을 증가시키려면 간섭제거기와 RAKE 수신기를 직렬로 채용하는 것이 효과적이다.

## 참고 문헌

- [1] R. L. Pickholtz, L. B. Milstein, and D. L. Schilling, "Spread spectrum for mobile communications," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-40, no. 2, pp. 313-322, May 1991.
- [2] W. C. Y. Lee, "Overview of cellular CDMA," IEEE Trans. on Veh. Technol., vol. 40, no. 2, pp. 291-301, May 1991.
- [3] R. Kerr, Q. Wang, and V. K. Bhargava, "Capacity analysis of cellular CDMA," IEEE Proc. ISSSTA'92, pp. 235-238, Nov. 1992.
- [4] Y. Asano, Y. Daido, and J. M. Holtzman, "Performance evaluation for band-limited DS-CDMA communication system," IEEE Proc., 43rd VTC, pp. 464-468, May 1993.
- [5] 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.
- [6] 우병훈, 오창현, 조성준, "DS-CDMA/DPSK 셀룰라 이동통신 시스템에서 간섭제거기와 최대비 합성 다이버시티에 의한 성능의 개선," 한국전자과학기술학회지 제5권 1호, pp. 22-30, 1994년 3월
- [7] R. Kohno, R. Meidan, and L. B. Milstein, "Spread spectrum access for wireless communications," IEEE Commun., Mag., pp. 58-67, Jan. 1995.
- [8] D. S. Chen, and S. Roy, "An adaptive multiuser receiver for CDMA system," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. SAC-12, pp. 808-816, June 1994.
- [9] J. G. Proakis, *Digital Communications*. New York: McGraw-Hill, 1989.

## 저 자 소 개



李京俊(正會員)

1947년 3월 27日生. 1977년 2월 한양대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사). 1982년 3월 연세대학교 산업대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1990년 9월 ~ 현재 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정. 1977년 12월 ~ 현재 한국전자통신연구소 이동통신연구단 실장. 주관심분야는 디지털신호처리, 적응배열안테나 등임



吳昌憲(正會員)

1965년 2월 10日生. 1988년 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업(공학사). 1990년 한국항공대학교 대학원 항공통신정보공학과 졸업(공학석사). 1996년 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 졸업(공학박사). 1990년 2월 ~ 1993년 9월 한진전자(주) 기술연구소 근무(연구원). 1993년 10월 - 현재 삼성전자(주) 통신개발실 근무(연구원). 주관심분야는 무선통신, 이동통신 등임



趙成俊(正會員)

1946년 1월 9日生. 1969년 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업(공학사). 1975년 한양대학교 대학원 졸업(공학석사). 1981년 일본 오사카대학 대학원 통신공학과 졸업(공학박사). 1969년 ~ 1972년 해군기술(통신) 장교. 1972년 ~ 현재 한국항공대학교 항공통신정보공학과 교수. 주관심분야는 무선통신, 이동통신, 위성통신, 환경전자공학 등임



蔡洙煥(正會員)

1950년 10월 28日生. 1973년 한국항공대학교 항공전자공학과 졸업(공학사). 1985년 미국 앨라배마대학교 전산공학과 졸업(공학석사). 1988년 미국 앨라배마대학교 전기공학과 졸업(공학박사). 1973년 ~ 1977년 공군교육사령부 통신학교 교관. 1977년 ~ 1983년 금성통신 근무(연구원). 1989년 ~ 현재 한국항공대학교 컴퓨터공학과 부교수. 주관심분야는 컴퓨터구조, 병렬처리시스템 등임