

다중경로 페이딩 채널에서 적응 결정궤환 등화기를 이용한 광대역 DS/CDMA 시스템의 성능분석

정회원 이현중*, 박상규**

Performance Analysis of Wideband DS/CDMA Systems using an Adaptive Decision-Feedback Equalizer in Multipath Fading Channels

Hyun Jung Lee*, Sang Kyu Park** *Regular Members*

요약

높은 데이터율을 이용하는 광대역 CDMA 채널은 높은 칩 율로 인한 인접심볼간 간섭이 발생되어 심각한 성능 저하를 초래한다. 따라서 효과적으로 간섭을 보상할 수 있는 수신기가 요구되어지고 있다.

본 논문은 비동기 CDMA 환경에서, 페이딩 효과와 다중 사용자에 의한 간섭을 보상하기 위한 적응결정 궤환 등화기를 이용한 수신기 모델을 제안한다. 시변 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩 환경에서, 상관기를 이용하여 다중 접속 간섭을 보정한 뒤, 적응 알고리즘을 이용한 결정장치를 이용하여 최적의 신호를 검출하는 방법을 사용하였으며, 사용자의 수와 다중경로의 수를 변화시켜 측정된 MSE와 BER 값을 RAKE 수신기와 비교하였다. 이때 적응 알고리즘은 결정계수를 이용하여 조절하였다.

결과적으로 광대역 시스템에서 RAKE 수신기보다 복잡도는 결정장치로 인하여 약간 증가되나 높은 성능 향상을 보였다.

ABSTRACT

Future high data applications over wideband CDMA channels will suffer severe interference. This paper shows a receiver structure that is capable to suppress interference and fading effects. In a time-varying frequency selective Rayleigh fading environment, the performance is analyzed and compared with the adaptive DFE and RAKE receiver. The time variations of the channel is adjusted by using an adaptive algorithm for the receiver and analyze its performance in our proposed system in terms of the MSE and BER by varying the number of multipaths and the number of users. It is shown that the proposed receiver has a much better performance than the RAKE receiver with only a slight increase in complexity for a wideband system.

1. 서론

CDMA 시스템은, 확산대역 통신방식을 이용한 다원접속방식으로, 동일한 주파수를 많은 셀에서 사용할 수 있으며, 타 방식보다 간섭이 적고, 음성활동도(voice activity)를 이용하여 아날로그 방식보다 수용용량을 10배 이상 증가시킬 수 있으며 지연

(시간차)이 있는 신호를 분리해 낼 수 있는 RAKE 수신기능을 가지고 있는 것이 장점이다^[1].

이동통신시스템의 전송품질에 영향을 주는 것으로, 서로 다른 수신기에 도착한 신호의 위상차(시간지연 차)에 의해서 발생하는 것으로 신호의 크기를 감소시켜 다중접속 간섭(Multiple Access Interference, MAI)을 발생시키는 다중경로에 의한 페이

* 루슨트 테크놀로지스

** 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부

논문번호 : 010414-1231, 접수일자 : 2002년 12월 31일

딩과, 심볼간 간섭(InterSymbol Interference, ISI)과 같은 간섭의 문제를 발생시키는 시간지연이 있다. CDMA 채널이 비동기인 경우 사용자가 임의의 시간에 신호를 전송하므로 상대적인 지연에 의해서 불가피하게 상호상관이 생기게 된다.

이러한 간섭성분을 제거 시키기 위해, 상호상관기를 통화한 출력으로 사용자들간의 상호상관을 제거 시켜준 뒤 결정단을 통과시켜 수신 성능을 향상시키는 방법에 대한 연구가 진행되어왔다^[2].

초기의 수신기법으로, 수신단으로 입력되는 펄스 신호의 에너지를 최대화시켜 수신성능을 향상시키는 정합여파기 수신기는 정합여파기로 구성된 임계검출기에 의해 각각의 사용자 신호를 검파하여 원래의 신호로 복조하므로 구현이 용이한 장점을 가지지만, 다중경로 페이딩채널에서 성능이 감소하는 단점이 있다^[3].

이러한 다중경로 문제를 극복하기 위해 고안된 RAKE 수신기는 다중 탭과 지연성분으로 구성된 상관검출기를 이용하여 다중경로채널을 통해 수신된 신호를 각 신호의 크기에 비례한 가중치를 이용하여 간섭성분을 보상한 뒤 각각의 신호의 에너지들을 결합하는 방식으로, 구현이 용이하나 시스템 복잡도, 페이딩, 그리고 간섭 등의 측면에서 효과적이지 못하였다. 특히 기존의 시스템에서 페이딩이 심할 경우 채널의 왜곡이 심하여 수신기의 오류 확률이 증가된다.

이러한 문제점들을 개선하기 위하여, 본 논문에서는 시변환경에 빨리 적응되며, 차세대 이동통신시스템에서 요구되는 높은 비트율을 갖는, 주파수 선택적 레일리 페이딩(time-varying frequency selective Rayleigh fading)환경에서 비동기 광대역(Wideband) CDMA 시스템에 적용한 적응 결정 궤환등화기(Adaptive Decision-Feedback Equalizer, Adaptive DFE) 수신기를 제안한다. 이 적응 DFE수신기는 높은 비트율에 빨리 적응되며, 결정계수를 이용하여 간섭성분의 임펄스 응답을 강제 영점교차시켜 ISI를 최소화 시킬 수 있다. 시뮬레이션 결과, RAKE 수신기보다 시스템의 복잡도는 약간 증가되나 우수한 성능향상을 보였다.

본 논문의 구성은 II장에서 CDMA 수신기 구조를 설명하고, III장에서는 적응 DFE 수신기를 이용한 DS/CDMA 시스템을 설명하고, IV장에서는 시뮬레이션 결과를 분석한 뒤, V장에 결론을 맺는다.

II. CDMA 수신기 구조

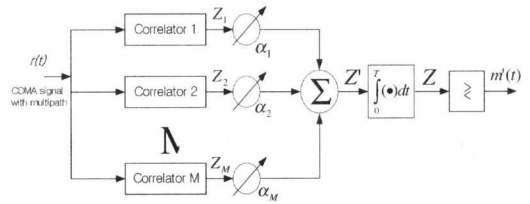


그림 1. M개의 상관검출기를 갖는 RAKE수신기 구조

그림 1은 M개의 상관검출기를 갖는 RAKE수신기의 블록도이다^[4]. 상관검출기 1은 다중경로 m_1 에 동기가 맞춰진 상태이고 다중경로성분 m_2 는 τ_1 시간 후에 도착된 성분을 나타낸다. 상관검출기 2는 다중경로성분 m_2 와 동기가 맞춰진 상태이며, m_2 는 m_1 보다 상관도가 낮다.

하나의 상관검출기 출력으로만 비트 판정이 이루어진다면 검파되는 신호는 높은 에러확률을 가지게 되므로, 여러 개의 상관검출기를 이용한 RAKE수신기는 페이딩 현상을 어느 정도 극복할 수 있다.

M개의 상관검출기를 갖는 수신기의 출력은 가중계수 $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_M$ 이 모두 더해진 신호가 결정장치를 지나 $m'(t)$ 로 나타난다.

전체 신호 Z' 은 식(2.1)과 같다.

$$Z' = \sum_{n=1}^M \alpha_n Z_n \tag{2.1}$$

여기서, 가중계수 α_n 은 식 (2.2)로 표현할 수 있다.

$$\alpha_n = \frac{Z_n^2}{\sum_{n=1}^M Z_n^2} \tag{2.2}$$

III. 송신기 모델

3.1 송신기 모델

K명의 다중 사용자 접속을 갖는 비동기 DS/CDMA 시스템에서 저역통과 등가 전송신호는 식 (3.1)과 같이 표현된다.

$$x_k(t) = A_k \sum_{i=-\infty}^{\infty} d_k(i) s_k(t - iT_b - t_k) \tag{3.1}$$

여기서, A_k 는 k번째 사용자 전송신호의 크기이고,

d_k 는 k 번째 사용자 데이터비트(1또는 -1), T_b 는 비트주기, t_k 는 기준 신호에서 k 번째 사용자 신호의 지연상수, 그리고 $s_k(t)$ 는 k 번째 사용자 전송신호의 파형을 나타내는 것으로 식(3.2)로 표현된다.

$$s_k(t) = \sum_{j=0}^{N-1} C_k(j) \phi_k(t-jT_c), 0 \leq t \leq T_b \quad (3.2)$$

여기서, C_k 는 k 번째 사용자 신호의 확산코드, $\phi_k(t)$ 는 T_c 의 칩 주기를 갖는 구형 칩 함수, 그리고 N 는 확산과정의 처리이득으로서 $N = T_b/T_c$ 이다.

3.2 채널 모델

BPSK 변조된 신호는 전송과정 중 주변환경의 영향 등으로 인하여 다중경로 성분을 가지게 되는데, 지연확산과 코히어런스 대역폭으로 다중경로의 특성을 결정한다. 여기서 지연확산은 채널의 임펄스응답의 크기를 측정할 값으로 ISI의 원인으로 작용하여 시스템의 성능을 감소시킨다^[4].

그림 2에서 K 명의 사용자로부터 수신된 신호 $x(t)$ 를 복조한 신호인 $y(t)$ 는, 식 (3.3)과 같다.

$$y(t) = \sum_{k=1}^K y_k(t) + n(t) \quad (3.3)$$

여기서, $n(t)$ 는 평균이 0, 전력 스펙트럼밀도가 $\frac{N_0}{2}$ 인 가우시안 랜덤프로세스이고, $y_k(t)$ 는 식 (3.4)로 표현할 수 있다.

$$y_k(t) = \sum_l d_k(i) \sum_{i=0}^L \alpha_{k,l} \cdot s_k(t - iT_b - t_k - \tau_{k,l}) \quad (3.4)$$

여기서, L 은 경로의 수, $\alpha_{k,l}$ 은 레일리 분포를 갖는 k 번째 사용자의 1번째 경로에서의 수신시간이다.

3.3 적응 DFE 수신기 구조

그림 2와 같이 적응 DFE는 정캐환부분(Feed

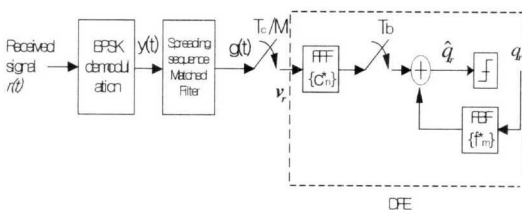


그림 2. 적응 DFE 수신기 구조

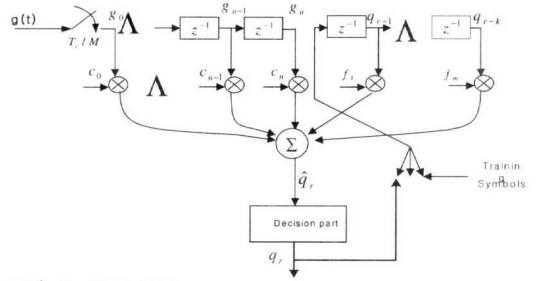


그림 3. DFE 구조

Forward Filter, FFF)과 캐환부분(Feed Back Filter, FBF), 그리고 결정소자(decision device)로 구성되며, 보다 자세한 그림을 그림 3에 나타내었다. FFF에서는 $N_{ff}+1$ 의 탭을 갖고, FBF에서는 N_{fb} 의 탭을 갖으며, 이들은 각각 탭들이 신호전송률의 역인 시간간격으로 띄어진 탭-지연선(tapped-delay line, TDL) 여파기로 구성된다. FFF는 수신된 신호로부터 간섭, 페이딩, 다중경로, AWGN 등의 영향등이 최소화되도록 신호를 추정하는 기능을 담당하며, FBF는 FFF의 출력을 바탕으로 원 신호를 결정하게 된다. 이때 결정제한 구조의 계수는 LMS 알고리즘을 이용하여 적응되도록 한다.

그림 2의 수신기 출력 \hat{q}_r 는 식 (3.5)와 같이 FFF와 FBF의 두 부분으로 구성된다.

$$\hat{q}_r = \sum_{n=0}^{N_{ff}} c_n^* g(nT_b - l\Delta) + \sum_{m=0}^{N_{fb}} f_m^* q_{r-m} \quad (3.5)$$

여기서, N_{ff} 과 N_{fb} 는 FFF와 FBF 탭의 수, c_n^* 은 n 번째 FFF의 여파기의 탭 이득, f_m^* 은 m 번째 FBF의 입력, 아래첨자 r 은 임의의 시간을 각각 나타내고, $\Delta = T_c/M$ (M 은 정수)이다. 식(3.5)로부터 얻은 \hat{q}_r 을 이용하여 최종 출력신호 q_r 을 얻어낸다.

3.4 LMS 알고리즘

불분명하고, 시변인 채널을 적응등화기로 보상하므로 등화기 상호상관계수와 채널변동 경로를 최신 정보로 바꾸어주기 위해 LMS 알고리즘을 적용한다^[5]. LMS 알고리즘을 사용하는 표준은 등화기 출력 사이의 자승평균오차(mean square error, MSE)를 최소화 시키기 위해 사용된다.

e_r 을 수신기 최종 출력신호 q_r 과 캐환신호 \hat{q}_r 간의 차로 정의된 오차신호로 표현하면 식 (3.6)과 같다.

$$e_r = q_r - \hat{q}_r \quad (3.6)$$

등화기의 입력신호는 $v_r = [v_r, v_{r-1}, \dots, v_{r-p}]^T$ 이고, 등화기의 가중벡터는 $w_r = [w_{0r}, w_{1r}, \dots, w_{pr}]^T$ 로 주어진다.

$$\hat{q}_r = v_r^T w_r = q_r - w_r^T v_r \quad (3.7)$$

그러므로 식 (3.7)을 이용하면, 식 (3.6)의 예측오차 e_r 은 식 (3.8)이 된다.

$$e_r = q_r - v_r^T w_r = q_r - w_r^T v_r \quad (3.8)$$

식 (3.8)으로부터 최소화된 MSE는 식 (3.9)로 주어진다.

$$MSE = E[e_r^* e_r] \quad (3.9)$$

n번 반복된 예측오차에 의해 LMS는 식 (3.10), (3.11)로 계산된다.

$$e_r(n) = q_r(n) - \hat{q}_r(n) \quad (3.10)$$

$$w_p(n+1) = w_p(n) - \mu e_p^*(n) v_p(n) \quad (3.11)$$

여기서, 가중함수 w_p 의 아래첨자 P 는 등화기내의 지연단의 수를 나타내며, μ 는 수렴율과 알고리즘의 안정도를 조절하는 스텝크기로, 만약 $0 < \mu < (2 / \sum_{i=1}^P \lambda_i)$ 의 조건을 만족하면, 적응 알고리즘은 안정된다. 여기서, $\sum_{i=1}^P \lambda_i = v_p^T(n) v_p(n)$ 이고, 등화기 총 입력전력을 나타낸다.

IV. 실험결과와 분석

적응 DFE 수신기의 FFF 구조는 RAKE 수신기와 유사하지만, 적응 DFE의 FFF는 원하는 사용자의 신호의 에너지를 최대화 시키는 RAKE 수신기능 이외에 채널에 존재하는 간섭성분을 최소화 시키는 기능을 한다.

그림 4는 하나의 경로에 대해 사용자 수를 변화시켰을 때의 결과이다. 시스템채리이득은 8로 가정하였고, 등화기의 MSE 계산을 위하여 수신된 비트 에너지 대 잡음 전력스펙트럼 밀도비 (E_b/N_0)는 15dB로 가정하였다. 또, 스텝크기는 등화기가 불안정하게 되는 것을 방지하고 효과적으로 성능을 개선시킬 수 있도록 하기 위해 s인자로서, 본 논문에서는 0.0075로 가정하였다.

반복횟수가 200으로 증가될 때까지 MSE는 큰 폭으로 개선되며, 500에서 600정도의 반복 횟수에서 MSE값이 0.01에 수렴하므로, 시스템의 성능은 반복 횟수와 사용자 수의 영향을 받는다고 할 수 있다.

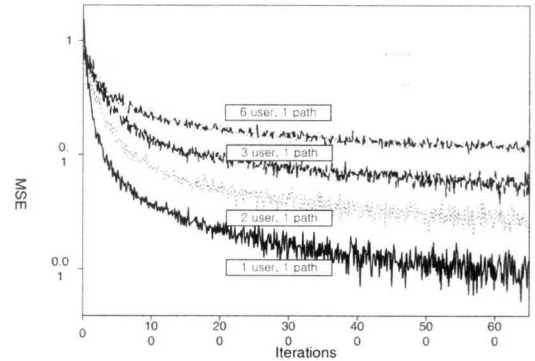


그림 4. L=1, N=8, $E_b/N_0=15\text{dB}$, 스텝크기=0.0075. 사용자 수를 변화시켰을 때 반복횟수에 따른 적응 DFE 수신기의 성능

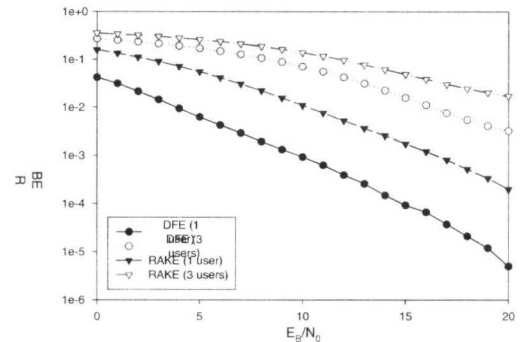


그림 5. L=3, N=8, $E_b/N_0=15\text{dB}$, 스텝크기=0.0075, 사용자 수를 변화시켰을 때 E_b/N_0 에 따른 적응 DFE 수신기와 RAKE 수신기의 오류확률

RAKE 수신기와 적응 DFE 수신기와의 BER 비교는 그림 4에 나타나 있으며 경로 수를 1로 고정시킨 상태에서 1명과 3명으로 사용자를 변화시켜 RAKE와 적응 DFE 수신기의 오류확률을 분석하였다. 오류확률(p_e)이 10^{-2} 인 지점에서 1명의 사용자를 찾는 적응 DFE 수신기는 E_b/N_0 가 약 4dB이고, RAKE 수신기는 약 10dB로, 적응 DFE 수신기와 동일한 BER을 얻으려면 RAKE 수신기가 6dB정도 더 높은 E_b/N_0 를 필요로 한다. 그러므로 적응 DFE 수신기는 낮은 전력으로도 동일한 성능을 갖는다.

본 논문에서 제안한 수신기는 높은 신호 대 잡음비 측면에서 RAKE 수신기보다 더욱 우수한 성능을 나타낸다.

V. 결론

본 논문은 다중경로 페이딩 환경에서 상관기를 이용하여 MAI 성분을 제거시키고 결정장치를 이용하여 원하는 신호를 검출하는 적응결정 제한등화기를 이용한 수신기를 제안하고 그 성능을 분석하였다. 시변 주파수 선택적 레일리 페이딩 환경에서 높은 비트율(384Kbps ~ 2Mbps)을 갖는 비동기 광대역(Wideband) CDMA 시스템 RAKE 수신기를 이용한 방식과 본 논문에서 제안한 적응 DFE 수신기를 이용한 방식의 BER 성능을 비교한 결과, 수신기의 복잡도는 약간 증가하지만 우수한 간섭보상 능력을 가진 수신기를 구성할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] G.L. Turin, "Introduction to spread-spectrum antmultipath techniques and their application to digital radio", Proc. *IEEE*, vol.68, no. 3, pp. 328-353, March 1980
- [2] A. Duel-Hallen, J. Holtzman, and Z. Zvonar, "Multiuser Detection for CDMA Systems," *IEEE Personal Communications*, vol. 2, no. 2, pp. 45-58, Apr. 1995
- [3] M.B. Pursley, D.V. Sarwate, and W.E. Stark, "Error Probability for Direct-Sequence Spread-Spectrum Multiple-Access Communications, Part 1: Upper and Lower bounds" *IEEE Trans. Comm*, vol. COM-30, pp. 975-984, May 1982
- [4] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 3rd Edition, Prentice Hall, 1996
- [5] T. S. Rappaport, *Wireless Communications*, Prentice Hall, 1996

이 현 중(Hyun Jung Lee)

정회원



1999년 2월 : 한양대학교
전자통신전파공학(공학사)
2001년 2월 : 한양대학교
전자통신전파공학
(공학석사)
2000년 9월 ~ 현재 : 한국
루슨트 테크놀로지스

<주관심 분야> 확산대역통신, IMT-2000, Beyond IMT-2000

박 상 규(Sang Kyu Park)

정회원



1974년 2월 : 서울대학교
전기공학 (공학사)
1980년 5월 : Duke University
통신공학 (공학석사)
1987년 5월 : University of
Michigan 통신공학
(공학박사)

1976년 7월~1978년 10월 : 국방과학연구소
1990년 8월~1991년 8월 : University of Southern
California 객원교수
1987년 3월~현재 : 한양대학교 공과대학 전자전기
컴퓨터공학부 교수
<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, 부호이론,
PCS, IMT-2000