

다중코드 CDMA를 위한 코드채널 분리에 관한 연구

°김 종엽, 이 선근, 김 환용
원광대학교 전자공학과

kimjy@gaebyok.wonkwang.ac.kr

A Study on Code Channels Division for Multi-code CDMA

°Kim Jong Youb, Lee Seon keun, Kim Hwan Yoong
Dept. of Electronic Eng. Wonkwang Univ.
Tel : 0653-850-6740, Fax : 0653-857-3999

Abstract

The MC-CDMA(Multi-Code CDMA) systems for handling various data transmission rate which is demanded in the IMT-2000 systems are effective transmission technology, which can provide the higher data service than the conventional IS-95 CDMA systems because a user takes advantage of a number of channels. The receiver of MC-CDMA systems to be provided these data service have to be structured of demodulating simultaneously a number of traffic channels.

This paper is designed the merged rake receiver demodulating simultaneously a number of traffic channels in the MC-CDMA systems. The merged rake receiver is to reduce the complexity of receiver resulting a number of channels.

1. 서 론

디지털 셀룰라와 PCS시스템에 널리 사용되고 있는 직접수열 부호분할 다원접속(Direct Sequence-Code Division Multiple Access)시스템은 레이크 수신기를 사용하므로 주파수 선택적 감쇄(fading)의 영향을 줄일 수

있고, FDMA나 TDMA와 같은 다른 방식에 비해 우수한 장점들을 가지고 있다. 그러나, DS-CDMA 시스템은 최근 3세대 이동 통신 시스템으로 대두되고 있는 IMT-2000에서 요구하는 수Kbps-Mbps까지의 다양한 데이터 전송율을 다루기 어렵다. 특히 광대역 신호에 대해 심각한 주파수 선택적 감쇄가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, IS-95 CDMA 시스템에서 좀 더 높은 데이터 전송 서비스를 가질 수 있는 기술로 제안되고 있는 MC-CDMA(Multi-Code CDMA)는 고속 데이터를 다수의 저속 데이터로 병렬 변환하고 이들 변환 신호를 알쉬 부호와 같은 직교 부호를 이용하여 구분한 뒤 동시 전송한다. 이 방법은 DS-CDMA 시스템에서와 같이 레이크 수신기를 사용하여 다중 경로 채널의 주파수 선택적 감쇄의 영향을 상쇄할 수 있으며 소프트 핸드 오프와 주파수 재사용 등과 같은 DS-CDMA 시스템의 이점들을 그대로 사용할 수 있다. 또한, MC-CDMA는 고속 데이터를 저속 데이터로 병렬 변환하므로 높은 처리이득을 얻을 수 있고, 음성, 화상 등과 같이 전송율이 크게 다른 다양한 데이터를 적절한 병렬 변환을 통해 동시에 수용할 수 있다는 장점이 있다.

따라서, MC-CDMA 시스템은 하나의 사용자가 다수의 코드채널을 사용함으로써 기존의 IS-95 CDMA 시스템보다 더 높은 데이터 서비스를 제공할 수 있게 된다.

이러한 데이터 서비스를 제공받기 위해서, CDMA 수신기는 트래픽 채널을 동시에 복조할 수 있는 구조로 되어 있어야 한다.

본 논문에서는 다수의 트래픽 채널을 동시에 복조해야 하는 MC-CDMA 시스템에서, 다수의 코드채널 사용으로 인한 수신기의 복잡도를 줄이면서 효율을 극대화하기 위해 코드 처리 기능을 하나로 통합한 레이크 수신기의 코드 채널 인식부를 제안했다.

II. 기존의 레이크 수신기 구조

CDMA 방식의 중요한 특징 중의 하나가 레이크 수신 기능이 있다는 것이다. 레이크 수신기는 서로 시간 차가 있는 두 신호를 분리해 낼 수 있는 기능을 가진 수신기로, CDMA 시스템과 같이 전송률이 매우 큰 통신 시스템의 경우 다중경로에 의해 발생하는 수신 신호의 감쇄를 보상하기 위해서는 레이크 수신기를 사용하여야 한다. 다중경로에 의한 페이딩은 서로 다른 경로로 수신기에 도착한 신호의 위상차이(시간 지연 차이)에 의해서 발생한다. 이러한 페이딩은 신호의 크기를 감소시키므로, C/I를 악화시켜, 전송에러를 집중적으로 발생시킨다. 그리고 시간지연은 신호간 간섭(ISI : inter-symbol interference)을 발생시킨다.

일반적으로 전파를 이용한 통신방식에서는 페이딩을 다이버시티 기법을 이용하여 어느 정도 극복하고 있다. 레이크 수신기는 대역확산 통신에서와 같이 전송 대역폭이 coherence 대역폭보다 클 때 주파수 선택성 페이딩 채널에 사용되는 수신기로 다이버시티의 효과를 나타낸다.

시간 동기 과정은 수신기의 PN 신호와 송신기로부터 수신되는 PN 신호의 위상차를 초기 동기 과정보다 더 미세하게 줄이는 과정이며, 주파수 동기 과정은 이동 통신 채널에서 발생할 수 있는 주파수 천이 현상을 보상해 주는 과정을 말한다.

수신기에서는 먼저 고주파 대역의 수신된 신호를 복조 과정을 통해 기저대역으로 천이시킨다. 그 후 기저대역의 연속시간 펄스를 수신 필터로 처리하고 일정한 주기로 표본화하여 이산시간 신호로 바꾼다. 이 이산시간 신호에 근거하여 수신기에서는 크게 세 가지, 포착(acquisition), 채널 추정(channel estimation), 검출(detection) 과정이 존재하게 된다.

그림 1의 기존 레이크 수신기는 DS/CDMA 통신 시스템에서 $D=1$ 인 경우의 수신기 부분에 해당하는 것으로서, 보통 T_c 의 해상도로 타이밍 포착과 경로 분해(즉, 채널 추정)를 하여 송신 데이터를 검출하는

방식을 취한다. 이 때 수신 필터의 충격응답과 이를 통과하고 표본화된 이산시간 신호는 각각 다음과 같다.

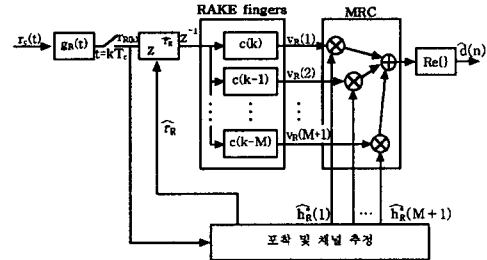


그림 1. 기존 레이크 수신기 구조

$$g_{R0} = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_c \\ 0, & \text{그밖의 경우} \end{cases} \quad (1)$$

$$r_R(k) = r_c(t) * g_R(t) |_{t=kT_c} = \int_{(k-1)T_c}^{kT_c} r_c(t) dt \quad (2)$$

즉, $r_R(k)$ 는 수신기의 입력 신호 $r_c(t)$ 를 칩 구간만큼 적분한 것이다.

다중경로 채널환경에서의 정확한 전달 지연 τ_0 의 추정을 위해 먼저 각 경로별 신호 성분을 다음과 같이 계산한다.

$$v_{R,acc}(\tau+1) \equiv \sum_{k=0}^{P_a-1} r_R(k+1) c(k-\tau) \quad (0 \leq \tau \leq N-1) \quad (3)$$

단, P_a 는 포착 결정 관찰 구간 T_a 를 T_c 단위로 나타낸 정수로서 $P_a = T_a / T_c$ 가 된다. 이 값이 클수록 첫 번째 탐색(search)에서 정확한 포착을 할 확률이 높아 지나 탐색에 걸리는 시간이 길어지게 되어 평균 포착 시간을 최소화하는 적당한 크기의 P_a 가 존재하게 된다.

이렇게 얻어진 각 경로별 신호 성분에 대해, 연속적인 $M+1$ 개의 경로(이를 수신기 창이라 함)씩 신호 성분의 에너지를 더하여 그 값이 가장 큰 수신기 창을 선택하는 것이 포착 과정이다. 이 알고리즘을 수식적으로 나타내면 다음과 같다.

$$\hat{\tau}_R \leftarrow E_R(\tau) |_{\max} \quad (0 \leq \tau \leq N-1, \tau: \text{정수}) \quad (4)$$

$$E_R(\tau) \equiv \sum_{j=0}^M |v_{R,acc}(\tau+1+j)|^2 \quad (5)$$

여기서, $E_R(\tau)$ 는 T_c 단위 전달 지연이 τ 일 경우의 수신 신호 에너지의 합에 해당한다. 이렇게 얻은 $\hat{\tau}_R$ 로

부터 전달 지연을 $\hat{\tau}_R T_c$ 라 추정한다. T_c 단위 전달 지연 τ_0/T_c 를 $\hat{\tau}$ 라 하면 실수값을 취하는 $\hat{\tau}$ 를 정수 단위의 $\hat{\tau}_R$ 로, 즉 실수인 전달 지연 τ_0 를 T_c 의 해상도를 갖는 $\hat{\tau}_R T_c$ 로 추정하는 것이다. 또 여기서 전달 지연의 불확정 구간이 PN 시퀀스 $c(k)$ 의 주기(N) 전체라고 가정하였다. 만약 그보다 작을 경우는 불확정 구간에서만 식(4),(5)의 작용을 수행하면 된다. 이 포착 과정의 구현방법에는 여러 가지가 있으나 일반적으로 병렬 구조를 채택하게 된다.

채널 추정은 일반적으로 포착과 독립적으로 이루어지게 되며, 미리 알고 있었거나 또는 포착 과정에서 추정된 전달 지연에 의거하여 각 경로별 채널 계수를 추정하게 된다.

이산시간 등가 추정 채널 $\hat{h}_R(j)$ 와 그 행렬 \hat{H}_R 를 추정된 T_c 단위 전달 지연 τ_R 를 이용해 나타내면 다음과 같다.

$$\hat{H}_R = [\hat{h}_R(1) \hat{h}_R(2) \cdots \hat{h}_R(M+1)] \quad (6)$$

$$\hat{h}_R(j+1) \equiv \sum_{k=0}^{P_c-1} r_R(k+1 + \hat{\tau}_R) c(k-j) \quad (0 \leq j \leq M) \quad (7)$$

여기서 P_c 는 T_c 단위 채널 추정 관찰 구간이다. 채널 추정 과정은 높은 SNR 값을 요구하므로 P_c 는 상당히 큰 값이 되고, 이 값이 클수록 채널 추정이 정확한 대신 채널 추정 시간이 길게 된다. 이와 같이 추출된 $M+1$ 개의 채널 계수는 다음의 검출 단계의 MRC에서 쓰이게 된다.

송신 심볼의 검출을 위해, 먼저 경로별 수신 신호 성분 $v_R(j)$ 와 그 행렬 V_R 를 다음과 같이 얻어낸다.

$$V_R = [v_R(1) v_R(2) \cdots v_R(M+1)] \quad (8)$$

$$v_R(j+1) \equiv \sum_{k=0}^{P_c-1} r_R(k+1 + \hat{\tau}_R) c(k-j) \quad (0 \leq j \leq M) \quad (9)$$

단, P 는 처리 이득을 나타낸다. 이 수신된 신호들을 다이버시티 결합하여 결정 변수 $\hat{d}(n)$ 을 얻는다. MRC 방법을 사용할 경우 결정 변수가

$$\hat{d}(n) = Re \left\{ \sum_{j=0}^M \hat{h}_R^*(j) v_R(j) \right\} \quad (10)$$

가 된다. 끝으로 $\hat{d}(n)$ 의 부호에 따라 이진 심볼(데이터 비트)을 결정하게 된다. 이와 같은 방식으로 검출을 하게 되면 송신 비트가 1에서 -1로 바뀌는 경우에 앞 심볼이 다음 심볼의 검출에 악영향을 미치는 심볼간 간섭 효과가 발생할 수 있다. 그러나 일반적

으로 DS/CDMA에서는 $M \ll P$ 이므로 보통 그 영향을 무시할 수 있다.

만일 포착, 채널 추정 및 검출 과정에 있어서 $M=0$ 으로 두면 단일 경로의 신호만을 수신하는 단일 칩 정합 필터 수신기의 경우로 귀결된다.

III. 제안된 레이크 코드 채널 수신기

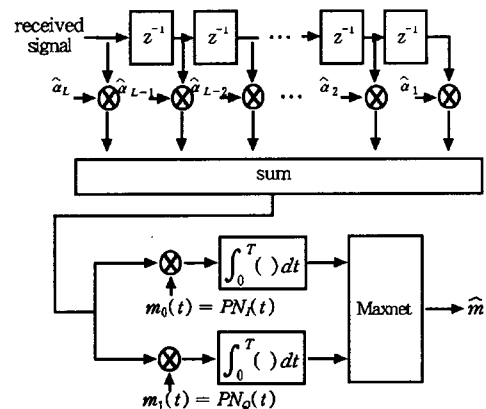


그림 2. 제안한 멀티코드용 레이크 수신기 구조

그림 2는 포착, 채널추정, 검출과정을 다수 코드에 대한 수신신호의 상관성을 이용하여 코드 채널을 형성한 것과 같은 원리로 구성하였다. 이러한 구조는 단일 수신신호에 대한 다수의 코드로 분리가 가능하도록 내부 발생함수를 달리하여 구성하였으며 이러한 구성은 SNR과는 무관하게 코드신호의 분리에만 사용하도록 한정하였다. 수신데이터는 필터를 거쳐 출력되고 출력된 데이터는 식(8)과 같은 값으로 검출되며 이러한 심볼 데이터는 추정채널 $\hat{h}_R(j)$ 의 기능을 수행하여 수신심볼의 검출이 가능하도록 식(11)과 같은 기능블럭의 입력으로 유입된다.

$$m_0(t) \cdot m_1(t) = \hat{h}_R(t) \quad (11)$$

m_0, m_1 : 채널분리 기준신호

식(8)~식(11)에 의한 연산을 수행하게 되는 심볼 데이터는 처리이득의 영향을 받지 않으므로, 제안된 구조는 단순히 다중코드들에 대한 분리기능을 수행할 수 있도록 되어 있다.

그림 3은 기존에 사용하는 레이크 수신기를 멀티 코드 사용을 위하여 제안된 회로이다. 입력신호에 대하여 I, Q의 각각 랜덤한 신호와의 곱셈기능을 수행하여

$PN_1(t), PN_0(t)$ 에 관련된 코드 신호를 추출하는 기능을 수행하게 된다.

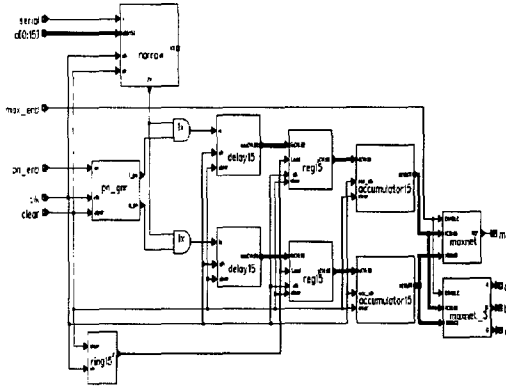
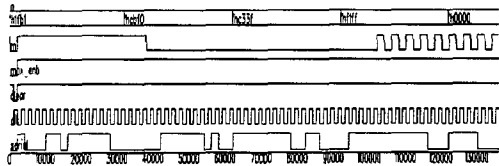


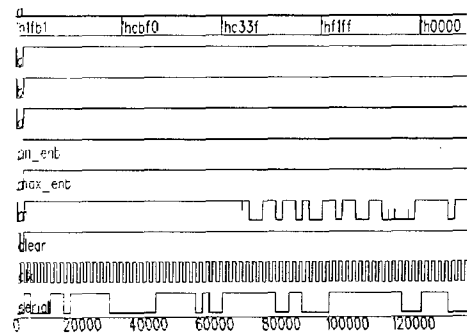
그림 3. 제안된 레이크 코드 채널 수신기

표 1. 입력된 serial 데이터 값

| |
|-----------------------|
| 1F61 CBF0 C33F F1FF 0 |
|-----------------------|



(a) 기존의 수신기 결과 파형



(b) 제안된 수신기 결과 파형

그림 4. 기존과 제안된 수신기와의 결과 파형

이렇게 추출된 신호들은 누산기를 거쳐 채널추정과 검출기능을 수행하게 된다. 그림 4는 기존의 레이크 수신기 출력 파형 (a)와 제안된 방식의 출력 파형 (b)를 상호 비교한 그림이다.

표 1과 같은 serial 데이터 값을 기존 수신기와 제안된 수신기에 입력시켰을 때의 출력 값들이 그림 4의 (a), (b) 상단 부분에 나타난 헥사 값처럼 상호 같음을 알 수 있고, 제안된 수신기의 출력이 기존의 수신기 출력보다 2배의 interval을 가짐을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서 제안한 멀티 코드를 위한 레이크 수신기의 구조는 정보통신의 매체 다양화에 따른 단일 사용자의 시간, 장소의 동일성으로 인한 간섭의 효과를 극소로 줄이면서, 단일사용자가 원하는 신호의 코드 값들의 수가 증가할수록 레이크 수신단의 구조가 복잡화 되어짐을 감안하여, 포착, 추정, 검출과정을 생성 코드 값에 무관하게 처리할 수 있도록 하였으며, 제안된 시스템의 기능을 실현하기 위하여 수신 심볼 신호에 대한 상호코드간의 간섭을 억압하고 억압된 신호에 대하여 코드 분할을 수행 할 수 있도록 Maxnet 기능을 추가하여 결정 신호를 산출하도록 설계하였다.

제안된 수신기 구조는 멀티 코드, 멀티 캐리어 시스템에서 다중 및 단일 사용자에 대한 멀티미디어 서비스를 제공함에 있어 수신기의 복잡도 및 코드 심볼 간에 발생할 수 있는 간섭의 영향을 최소화하는데 효율적이라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] TIA/EIA, "IS-95 : Mobile Station-Base Station Compatibility for Dual-Mode Wide-band Spread Cellular System" July 1993
- [2] S. Lee, S. Hwang, J. Kim, "VLSI Architecture of CDMA Rake Receiver with Low H/W Complexity for PCS", Proc. of the IEEE ICCE'98, pp.160-162, June 1998
- [3] W.C.Y.Lee " Overview of Cellular CDMA" IEEE Trans. Vehicular Tech., Vol.40, pp.291-302, May 1991'
- [4] A.J. Viterbi, CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication, Addison-Wesley, 1995
- [5] M.S. Alencar and F.M. Assis, "Use of the RAKE receiver to counterbalance the effect of fading on the capacity of a CDMA channel" Proc. VTC'96, pp.652-655, 1996
- [6] A.J. Viterbi, "CDMA Principles", Qualcomm, Jan. 16, 1992