

## 칩 파형 형성을 이용한 DS-CDMA 통신시스템 성능분석

장문섭\*, 이 정 재\*

\* 동의대학교 정보통신공학과

### Performance Evaluation of DS-CDMA Communication Systems using Chip Waveform Shaping

Moon Sub Jang\*, Jeong Jae LEE\*

\* Dept. of Information & Communication Eng., Dongeui University

#### 요 약

본 논문에서는 주파수영역에서 동일한 주파수 간격을 갖는 직교반송파에 의하여 만들어지며 DS-CDMA에 주파수 다이버시티 효과를 줄 수 있는 CI 칩 파형 형성 방식에 대하여 검토한다. CI 칩 파형을 이용한 새로운 통신 방식 CI/DS-CDMA를 소개하고 대표적인 주파수 선택성 페이딩 채널환경에서 성능을 분석을 통하여 이 시스템의 주파수 다이버시티 효과가 시간영역에서 경로 다이버시티를 이용하는 RAKE 수신기를 갖는 통상적인 DS-CDMA에 비하여 성능개선 효과를 가져올 수 있음을 보인다.

#### Abstract

In this paper a CI(carrier interferometry) chip waveform shaping scheme which is made up of orthogonal carriers equally spaced in frequency, and used to introduce frequency diversity benefits into DS-CDMA, is considered. A new communication scheme referred to as CI/DS-CDMA using CI chip shaping, is introduced. Through the performance evaluation of CI/DS-CDMA systems in a typical frequency selective fading channel environment, it is shown that the frequency diversity benefits of this system results in significant performance enhancements relative to traditional DS-CDMA with RAKE receivers using the path diversity.

#### I. 서 론

대역확산(spread spectrum)기술은 여러 가지 장점들 때문에 현재 디지털 통신시스템에서 가장 많이 이용이 되고 있다. 대표적인 응용방식으로 DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access)시스템이 셀룰러 및 PCS(Personal Communication Service) 이동통신 시스템에서 이용이 되고 있으며 또한 제 3세대의 이동

통신인 IMT-2000의 핵심 기술방식의 하나로 되어있다. 그러나 현재 운용되고 있는 협대역 DS-CDMA인 IS-95 시스템은 그 신호가 넓은 대역폭을 갖기 때문에 주파수 선택성 페이딩의 영향을 받기 쉽고 부호화와 다이버시티 없이는 이용자의 수가 증가하면 성능이 급격하게 감소된다. 따라서 RAKE 수신기가 경로 다이버시티를 얻기 위하여 사용되며 각 경로의 이득이 예측되어야 한다. 특히 이용자에 의한 다중경로의 간섭이 존재할 경우는 매우 많은 데이터 처리에 따른 복잡한 신호처리 기술이 요구된다. 만약 채널 지연 확산이 심벌구간을 초과하면

심각한 ISI (Inter-Symbol Interference)를 일으켜 실용적이지 못하다. 이 경우에는 심볼율을 감소시키기 위한 노력이 필요하며 ISI를 무시할 정도로 전송율이 낮은 경우에도 다중로 페이딩에 의한 ICI(Inter-Chip Interference)에 의하여 심각한 성능감퇴가 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 MC-CDMA[1-3]가 제안되었으며 특히 R.Nassar, B.Natarajan 그리고 S.Shattil 등은 DS-CDMA에 반송파 간섭(carrier interferometry: CI)을 이용하여 주파수 다이버시티 효과를 기대할 수 있는 CI/DS-CDMA 시스템을 제안하였다 [4,5].

본 논문에서는 새로운 다원접속방식인 CI/DS-CDMA 시스템을 소개하고 그의 특성을 분석하기 위하여 제 II 절에서는 CIMA 신호를 검토하고 제 III 절에서는 송신기와 수신기의 구성모형을 설정한다. 제 IV 절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 CI/DS-CDMA 송수신 신호의 특성과 신호 대 잡음비(SNR) 그리고 이용자의 수에 따른 비트 오류율(BER)을 분석하고 마지막으로 제 V 절에서 결론을 맺는다.

II. 반송파 간섭신호(CI) 분석

주파수 간격  $\Delta f = 1/T_s$ 을 동일하게 갖는 N개의 반송파의 합으로 표현되는 확산 부호의 CI 칩(chip)파형 필터  $h(t)$ 는 아래 식 (1)과 같이 정의된다.

$$h(t) = \sum_{i=0}^{N-1} A \cos(2\pi(i\Delta f)t) = \left[ A \frac{\sin(2\pi N/2\Delta f t)}{\sin(2\pi\Delta f/2 t)} \right] \cdot \cos[2\pi((N-1)/2\Delta f)t] \quad (1)$$

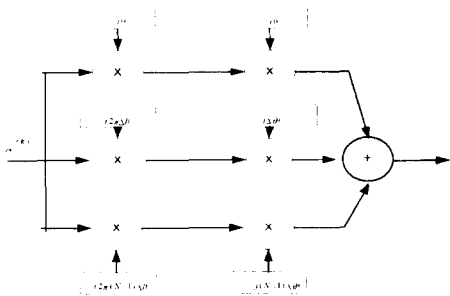


그림 1. CI 칩 파형필터. Fig.1. CI chip shape filter.

여기서 A는 확산 뒤 심볼에너지가 1이 되도록 하는 상수다. 이 신호는 주파수  $(N-1)/2\Delta f$ 를 갖는 정현파에 대응되며 진폭은 다음 (2)와 같다.

$$E(t) = \left| A \frac{\sin(2\pi N/2\Delta f t)}{\sin(2\pi\Delta f/2 t)} \right| \quad (2)$$

따라서 이 신호는 주기  $1/\Delta f$ , 주엽의 구간  $2/(N\Delta f)$  그리고  $(N-1)$ 개의 부엽은  $1/(N\Delta f)$  구간을 갖는다. 그림 1은 CI 칩파형 필터  $h(t)$ 의 구성도를 보인다.

III. CI/DS-CDMA 시스템

CI/CDMA에서 k 번째 이용자에 대한 송신기 출력신호는 다음 (3)과 같이 표현된다.

$$s_k(t) = b_k \sum_{i=0}^{N-1} \beta_i^{(k)} h(t - iT_s) g(t) = b_k \sum_{i=0}^{N-1} \beta_i^{(k)} \sum_{n=0}^{N-1} \cos(2\pi n\Delta f(t - iT_s)) g(t) \quad (3)$$

여기서  $b_k$ 는 k 번째 이용자의 입력 데이터 심볼로서 이진부호  $\{+1, -1\}$ 를 갖는다.  $g(t)$ 는 심볼구간  $T_s$ 인 단위 크기의 구형파, 그리고  $\beta_i^{(k)} \in \{+1, -1\}$ 은 이용자 k를 위한 확산 부호계열의 i 번째 값이다. CI/DS-CDMA에서 K명의 이용자에 의하여 송신되는 신호는 다음 (4)와 같이 정의된다.

$$s(t) = \sum_{k=0}^{K-1} b_k \sum_{i=0}^{N-1} \beta_i^{(k)} \sum_{n=0}^{N-1} \cos(2\pi n\Delta f t - n i 2\pi/N) g(t) \quad (4)$$

송신된 신호  $s(t)$ 는 정 방향 링크, 전력스펙트럼 밀도가  $N_0/2$ 인 AWGN 신호  $n(t)$ 와 느리게 변하는 주파수 선택성 Rayleigh 페이딩 채널을 가정하였다. 따라서 주파수의 선택은 통상적인 DS-CDMA 대역확산방식에서는 송신 전 대역에 대한 선택성을 의미하며 CI/DS-CDMA의 경우 대역이 부 반송파로 나누어지므로 선택성 페이딩의 영향을 적게 받게 된다. 수신된 신호

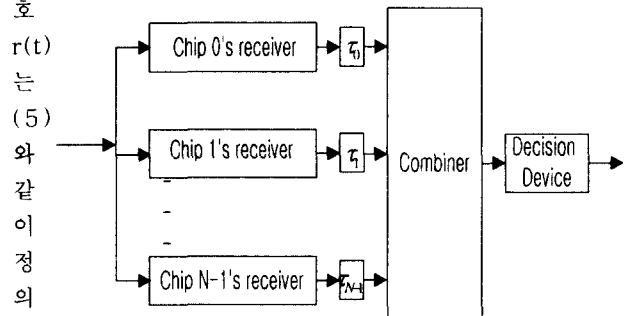


그림 2. 수신기 구조. Fig.2. Receiver structure.

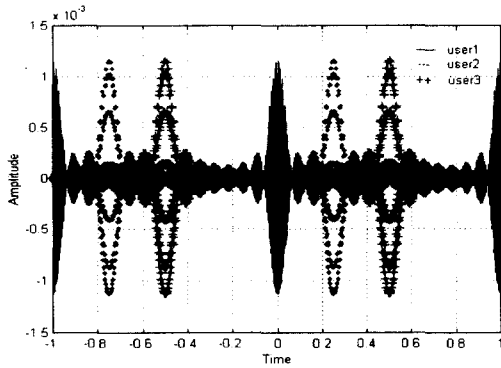


그림 7. 3명의 이용자를 위한 CI 신호.  
Fig.7. CI signals for 3 users.

$$r(t) = \sum_{k=0}^K b_k \sum_{i=0}^{N-1} \beta_i^{(k)} \sum_{n=0}^{N-1} \alpha_n \cdot \cos(2\pi n \Delta f t - n 2\pi / N + \phi_n) g(t) + n(t) \quad (5)$$

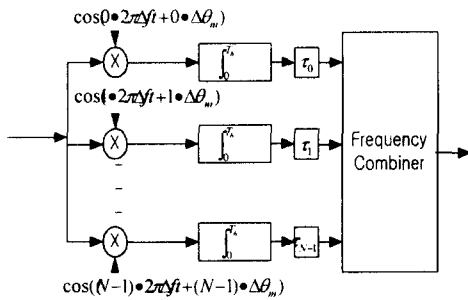


그림 3. m 번째 칩 수신기.  
Fig.3. The mth Chip receiver.

여기서  $\alpha_n$ 은 n번째 CI 펄스의 반송파에서 채널이득을 나타내며  $\phi_n$ 은 위상 오프셋(offset)이다. 그리고  $n(t)$ 는 AWGN을 의미한다.

그림 2와 같은 CI/DS-CDMA 수신기에서 m번째 칩은 N개의 반송파성분으로 나누어지고 n번째 반송파에 의하여 발생하는 결정변수  $r_{m,n}$ 은 식 (6)으로 된다.

$$r_{m,n} = \sum_{k=0}^{K-1} b_k \sum_{i=0}^{N-1} \beta_i^{(k)} \alpha_n \cdot \cos(2\pi n m / N - n 2\pi / N) + n_{m,n} \quad (6)$$

$r_{m,n}$ 은 두 단계의 결합을 거쳐 이루어지는데 하나는 간섭을 제거하고 주파수 다이버시티 효과를 얻기 위한 주파수결합기를 이용하여 반송파에 이용되며 아래첨자 n에 해당, 그리고 다른 것은 칩 결합기로서 나머지 다중 사용자 간섭을 제거하기 위한 것으로 아래첨자 m에 해당한다. 그림 3은 m번째 칩을 추출하기 위한 수신기의 구조를 보인다.

### VI. 시뮬레이션

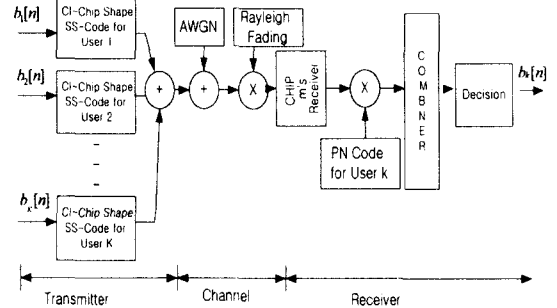


그림 4 CI/DS-CDMA 시뮬레이션 구성도  
Fig.4. Block diagram for CI/DS-CDMA simulation

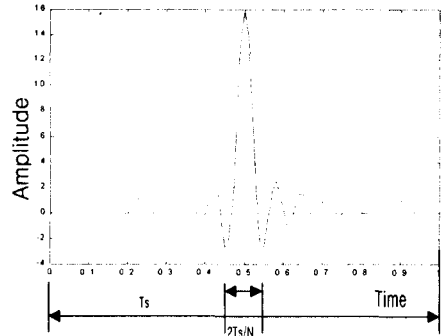


그림 5. CI 칩 모형(A=1, N=16)  
Fig.5. CI-Chip shape(A=1, N=16)

그림 4는 시뮬레이션을 위한 시스템의 블록도를 보인다. 본 시스템의 시뮬레이션을 위하여 정 방향 링크를 설정하고 다중경로를 갖는 채널환경을 고려하여 MATLAB을 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4에서 각 이용자에 대한 CI 펄스 파형 형성은 그림 1과 같

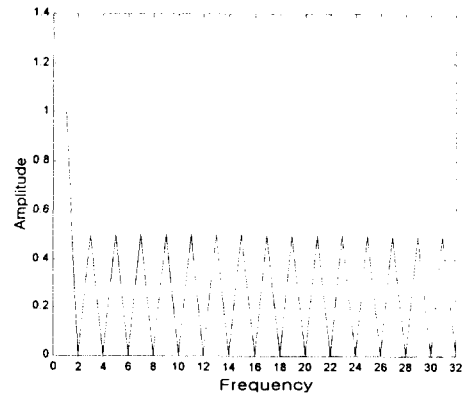


그림 6. CI 신호의 FFT.  
Fig.6. FFT of CI signals.  
은 CI 필터  $h(t)$ 를 이용하여 발생되며 SS(Spread

Spectrum) 부호는 대역확산에 이용되는 확산부호계열을 의미한다. 그림 5는 크기 A=1로 하고 부 반송파의 수를 16으로 하였을 경우의 CI 칩 모형을 보인다.

그림 6은 그림 5의 CI신호의 주파수 스펙트럼을 보인다. 그림 7은 이용자 3명을 위한 반송파 변조된 CI 코드화된 칩 신호 형태를 보여 준다. 그리고 대역확산 부호로는 길이 64인 Walsh 부호를 이용하여 DS-CDMA신호를 생성하였다.

시스템의 성능비교를 위하여 다중경로 감쇄는 직접파에 비하여 3dB씩 감소되도록 설정하였다. 그림 8은 이용자가 30명일 때 신호 대 잡음비 SNR에 따른 비트 오류율(BER)을 보인다. DS-CDMA의 경우 20dB 이상에서 관심이 있는 오율에 도달하나 CI/DS-CDMA의 경우 낮은 SNR에서부터 좋은 BER을 갖는다.

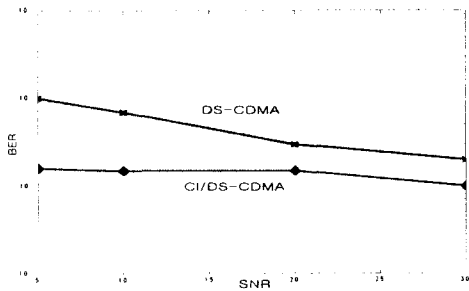


그림 8 SNR에 대한 BER(이용자 30명).  
Fig.8. BER vs SNR for 30 users.

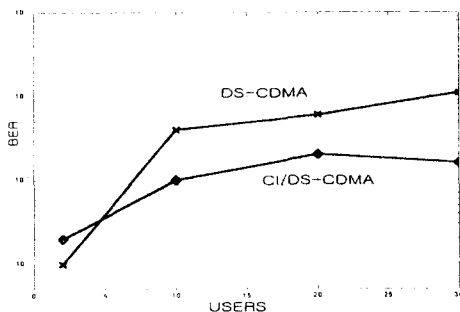


그림 9 이용자수에 따른 BER(SNR 5dB).  
Fig.9. BER vs users for SNR 5dB.

그러나 SNR 변화에 따른 개선효과가 DS-CDMA에 비하여 민감하지 않음을 알 수 있다. 그림 9는 SNR이

5dB인 경우 이용자 수에 따른 BER을 보인다. 그림 9에서 알 수 있는바와 같이 DS-CDMA의 경우 이용자의 증가에 따라 BER이 급격히 감소하는 것을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 DS-CDMA의 단점을 보완하고 MC-CDMA의 효과를 가질 수 있는 CI 칩 파형필터를 이용한 새로운 통신방식인 CI/DS-CDMA 통신방식을 소개하였다. 이 시스템은 직교성을 가지며 주파수 다이버시티 효과를 얻을 수 있는 CI 칩 파형필터를 사용하기 때문에 DS-CDMA에 비하여 주파수 선택성 페이딩 채널에서 이용자수의 증가에 따른 성능 개선효과를 기대할 수 있음을 보였다. 향후 CI/DS-CDMA 관련 기술은 신호처리 기술의 발달과 함께 차세대 이동통신을 위한 기반기술 확보에 기여할 수 있으리라 생각한다.

### 참 고 문 헌

- [1] N.Yee, J.P.M.G. Linartz and G.Fettweis, "Multi-Carrier CDMA indoor wireless networks," IEICE Trans. on Commun., Vol. E77-B, No.7, Japan, July 1994.
- [2] N.Yee and J.P.M.G.Linartz, "Controlled equalization for Multi-Carrier CDMA," Proc.of 1994 IEEE VTC'94, pp.1665-1669, Stockholm, Sweden, June 1994.
- [3] N.Yee and J.P.M.G.Linartz, "Winer filtering for Multi-Carrier CDMA," IEEE/ICC conference on Personal Indoor Mobile Radio Communications(PIMRC) and Wireless Computer Networks(WCN), Vol.4, pp.1344-1347, THE Hague, September 1994.
- [4] C.R.Nassar. B.Natarajan, and S.Shattil, "Application of Interferometry to MC-CDMA," submitted to IEEE Trans. on VTC.
- [5] C.R.Nassar. B.Natarajan, and S.Shattil, "Introduction of Carrier Interference to Spread Spectrum Multiple Access," Proceeding of IEEE Emerging Technologies Symposium on Wireless Communications and Systems, Richardson, Texas. pp.II.2.1-4, April 12-13, 1999.