

# 근사화된 해석적 칩파형을 사용한 DS/CDMA 통신 시스템의 선형 성능 분석

(Liner Performance Analysis on the DS/CDMA Communication System using the  
Approximated Analytical Chip Waveforms)

홍현문\* · 김용로

(Hyun-Moon Hong · Yong-Yo Kim)

## 요 약

본 논문에서는 근사화된 해석파형을 사용한 DS/CDMA 시스템에 적용하였다. 제안된 칩 파형은 균일 엔벨로프를 가진 균일칩 파형과 비균일 엔벨로프를 가진 비균일칩 파형의 두가지로 형태로 분류한다. 근사화된 해석칩 파형의 단순성은 칩파형, 엔벨로프, 위상, 상관관계와 대역폭 성질 등을 비교하고 증명하였다.

## Abstract

In DS/CDMA(direct sequence code division multiple access) system using the approximated analytic chip waveforms are applied. Proposed chip waveforms are classified into 2 types: uniform chip waveforms with uniform envelope and non-uniform chip waveforms with non-uniform envelope. It has confirmed that the similarity of the approximated analytical chip waveforms is compared using chip waveforms, envelope, phase, correlation, and bandwidth properties.

Key Words : DS/CDMA

## 1. 서 론

미래의 무선통신 시스템은 음성서비스는 물론이고, TV 전화, 영상회의, 고해상의 동영상과 같은 고품질의 다양한 서비스를 대상으로 하고 있어 가변

전송률에서 수 Mbps까지의 고속 데이터 전송이 요구된다. 이를 위해 무선 채널에서 효율적인 고속 데이터 전송방식이 연구되어 왔다.

이를 위한 디지털통신방식인 CDMA 기술은 기본적으로 오래 전부터 사용해왔던 대역확산 통신기술을 이용한 것으로, 대역확산 기술이 가지고 있는 모든 장점에 주파수 이용효율을 크게 증가시킨 것이다. 위의 예를 기술적으로 표현해 보면, 모든 서비스 영역에서 같은 주파수 대역을 사용할 수 있기 때문에 셀룰러 개념에서 보면 주파수 재사용 계수가 1이 되어, 주파수 이용 효율이 다른 방식에 비해서 월등히

\* 주저자 : 동해대학교 전기전자공학과 조교수

Tel : 033-520-9321, Fax : 033-521-9407

E-mail : hmhong@donghae.ac.kr

접수일자 : 2004년 5월 11일

1차심사 : 2004년 5월 17일, 2차심사 : 2004년 6월 16일

3차심사 : 2004년 7월 15일

심사완료 : 2004년 6월 16일

높다는 것과, 모든 서비스 영역에서 같은 주파수 대역을 사용할 수 있기 때문에 소프트 핸드오버가 가능하다는 점, 또한 서로 다른 코드를 사용하여 통신을 하기 때문에 무선 구간의 통신 비밀 보호 특성이 매우 우수하다는 장점이 있다.

또한, 1996년 P. I. Dallas와 F. N. Pavlidou는 기존에 제안된 Half sine, Raised cosine, Blackman, Kaiser 그리고 Lanczos 칩 파형의 성능을 다중경로 레일리 페이딩 채널에서 분석하였고[1], 1997년 B.K. Kok와 M.A.Do는 라이시안(Rician) 페이딩 채널에서 DS/CDMA 시스템의 성능을 분석하였다[2]. 1999년 M.L. Landolsi와 W.E. Stark는 prolate spheroidal wave 함수를 이용하여 MAI를 최소화하는 연속 위상(Continuous phase)과 비균일 엔벨로프(envelope) 특성을 갖는 computer generated 칩 파형을 제안하였다[3].

본 논문에서는 참고 논문[3]에서 MAI(Multifur Access Interferenc)를 최소화하는 computer generated 칩 파형을 근사화된 해석적 칩 파형으로 새롭게 제안한다[5, 6].

Computer generated 칩 파형과 이를 근사화된 해석적 칩 파형의 근사성은 칩 파형의 기본 특성인 대역폭, 엔벨로프, 위상 연속성 그리고 부분 칩 상관관계(partial chip correlation)로 정확도를 평가한다. 또한 기존의 칩 파형과 제안된 칩 파형을 가지고, DS/CDMA에 적용하여 사용자 수와 IBO에(Input Back Off) 따른 BER(Bit Error Rate) 성능을 비교 평가 분석하였다.

## 2. 페이딩이 없는 환경에서의 DS / CDMA 시스템

다음 그림 1에 BPSK로 확산하는 DS/CDMA 송수신기의 구조를 보인다. 전송할 정보데이터  $d_k(n)$ 은 주기가 T이며, 비트율이  $R=1/T$  bps인 시간  $t=iT$ 에서 k번째 사용자의 정보데이터를 나타내며, 그 값은 +1 또는 -1이다. 정보 데이터는 주기  $T_c$ 의 확산 신호  $c_k(n)$ 에 의해 확산 변조된다. 여기서 확산 신호 칩 구간  $T_c$ 는 보통  $N=T/T_c$ 인 정수가 되며, N은 처리이득(processing gain)이다.

확산 신호 칩에서의 신호에너지는  $E_c$ 로 가정한다. 전달함수가  $H(f)$ 이고 임펄스응답이  $h(t)$ 인 선형필터는 신호가 할당된 스펙트럼 특성을 가지도록 해준다. 그림 1(b)에는 수신기의 구조를 보인다. 수신신호  $r(t)$ 는 정보신호  $s(t)$ 와 배경잡음  $N(t)$ , 그리고 다른 사용자의 신호로부터 영향을 받는 다중접속간섭(multiple access noise)  $O(t)$  등을 포함한다. 수신신호  $r(t)$ 는 전달함수가  $H^*(f)$ 인 정합필터를 통과하고 칩 구간  $T_c$ 마다 샘플링된다. 정합필터는 간섭신호 또는 잡음이 부가성 백색 가우시안 잡음(AWGN)특성을 가질 때만 출력신호 대 잡음비(output SNR)를 최대화한다. 수신기의 열잡음인 배경잡음은 전력 스펙트럼밀도가 양측 주파수대에서 균일하게  $N_0/2$ 인 백색 가우시안 잡음이다. 그러나 k번째 사용자의 주파수대에서 수신기가 받는 다른 사용자간섭  $O(t)$ 는 엄밀히 백색잡음으로 볼 수 없는데, 그 이유는 모든 사용자가 동일한 스펙트럼 정형필터(spectral shaping filter)를 사용하기 때문이다. 그러나 인접한 주파수대에서 다른 사용자가 있다고 보면, 가우시안 잡음으로 모델링할 수 있으므로 정합필터를 사용한 방식의 당위성을 세울 수 있다. k번째 사용자의 송신신호  $s_k(t)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$s_k(t) = \sqrt{2E_b} \sum_n d_k(n) c_k(n) h(t - nT_c) \cdot \cos(2\pi f_c t + \phi_k) \quad (1)$$

다음으로 복조기 국부발진기 위상의 부정확성 영향을 보면, k번째 사용자의 복조기의 위상이  $\phi_k$ 인 경우 BPSK 나 QPSK 의 복조기의 평균출력은

$$E[y_k(n) | d_k(n)] = \sqrt{E_c} d_k(n) \cos(\phi_k - \phi_k') \quad (2)$$

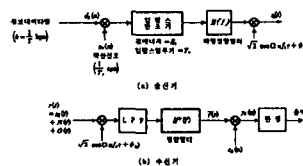


그림 1. BPSK DS/CDMA 통신 시스템  
Fig. 1. BPSK DS/CDMA Communication System

이 되며 배경 잡음이나 다중접속간섭의 분산은 영향을 받지 않는다[4].

### 3. DS/CDMA 시스템의 제안된 최적 칩 파형

본 논문에서는 M. A. Landolsi와 W. E. Stark의 computer generated 칩 파형을 근사화된 해석적 칩 파형으로 새롭게 제안한다. 근사화된 해석적 칩 파형은 크게 2종류로 나뉘는데 칩 파형 크기가 균일한 칩 파형(uniform chip waveforms)과 비균일 칩 파형(non-uniform chip waveforms)이다.

#### 3.1 비균일 칩 파형

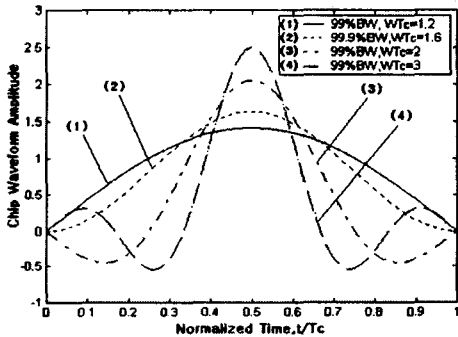


그림 2. 해석적 비균일 파형  
Fig. 2. Analytical non-uniform chip waveforms

그림 2는 computer generated 칩 파형을 근사화하여 제안한 근사 해석적 비균일 칩 파형이다.

그림 2에서 (1)은 비균일 첫번째 칩 파형, (2)는 비균일 두번째 칩 파형, (3)은 비균일 세번째 칩 파형 그리고 (4)는 비균일 네번째 칩 파형으로 각각 근사화 하였다.

제안된 근사화된 해석적 칩 파형을 식으로 나타내면 다음과 같다.

a) 비균일 첫번째 칩 파형

$$\Psi_c(t) = \sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi t}{T_c}\right) u(t) \quad (3)$$

b) 비균일 두번째 칩 파형

$$\Psi_c(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} \left[ 1 - \cos\left(\frac{2\pi t}{T_c}\right) \right] u(t) \quad (4)$$

c) 비균일 세번째 칩 파형

$$\Psi_c(t) = k_1 \sin\left(4\left(\frac{t - T_c/2}{T_c}\right)\right) u(t) \quad (5)$$

d) 비균일 네 번째 칩 파형

$$\Psi_c(t) = k_2 \sin\left(6\left(\frac{t - T_c/2}{T_c}\right)\right) u(t) \quad (6)$$

여기에서  $u(t)$ 는 단위계단 함수이고,  $k_1, k_2$ 는 칩 파형의 전력 정규화 상수이다

computer generated 칩 파형과 이를 제안된 근사 해석적 비균일 칩 파형의 유사성을 증명하기 위해서 앞에서 언급한 대역폭 특성, 칩 파형 엔벨로프의 균일성, 위상의 연속성 그리고 상관관계를 서로 비교한다. 그러나 칩 파형 특성으로 분석한 결과 비균일 칩 파형은 대역 효율이 좋을수록 칩 상관관계가 작아서 MAI영향을 덜 받지만, PAPR은 커지므로 비선형 HPA에 의한 신호의 왜곡은 크게 나타난다.

#### 3.2 균일 칩 파형

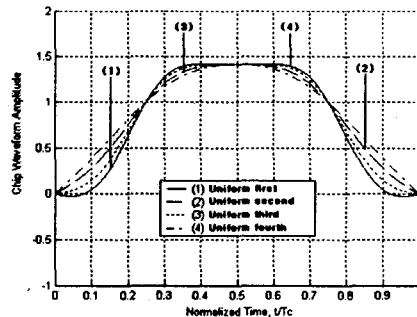


그림 3. 해석적 균일 칩 파형  
Fig. 3. Analytical uniform chip waveforms

그림 3은 최적화된 균일 칩 파형을 근사화된 것이다. 그림 3의 균일 첫번째 칩 파형으로 (2)를 균일 두번째 칩 파형, (3)을 균일 세번째 칩 파형 그리고 (4)를 균일 네번째 칩 파형으로 각각 근사화 하였다.

균일 칩 파형 식은  $\Psi_c(t)$ 에 따라 나타내진다.

$$\Psi_c(t) = \sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi t}{T_c} - \frac{1}{c} \sin\left(\frac{4\pi t}{T_c}\right)\right) u(t) \quad (7)$$

여기에서 상수,  $c$ 는 표 1과 같다.

그림 3는 최적화된 균일 칩 파형을 근사화된 것이다. (1)를 균일 첫 번째 칩 파형으로 (2)를 균일 두 번째 칩 파형, (3)을 균일 세 번째 칩 파형 그리고 (4)를 균일 네 번째 칩 파형으로 각각 근사화 된 것이다.

**표 1. 균일칩 파형의 상수**  
Table 1. Constant of uniform chip waveforms

	Uniform first	Uniform second	Uniform third	Uniform fourth	Notes
상수(c)	3.4	8.4	4.6	28	$T_c=1$

표 2, 3, 4 그리고 5는 칩 주기,  $T_c=1$ 인 경우, M. A. Landolsi와 W. E. Stark의 computer generated 칩 파형이 균일 크기 특성을 갖는 칩 파형과 이를 근사 해석적 칩 파형을 비교한 것이다. 위의 결과로부터 computer generated 최적화된 균일 칩 파형과 이를 제한된 근사 해석적 칩 파형이 거의 같음을 알 수 있다.

표 2에서 근사화 오차가 최대 0.71%로 제안하는 해석적 칩 파형의 근사화가 잘 되었음을 알 수 있다. 칩 파형 특성에 의하면 대역효율이 좋을수록 상관관계가 작아서 MAI에 의한 영향은 작고, PAPR(Peak to Average Power Ratio)은 모두 같아서 비선형 HPA(High Power Amplifier)에 의한 영향은 동일하다.

해석적으로 분석된 균일 칩 파형과 비균일 칩 파형 그리고 기존의 칩 파형을 비선형 HPA가 고려된 DS/CDMA 시스템에 적용하려 한다.

**표 2. 전력 밴드폭**  
Table 2. Power bandwidth

칩 파형	Computer-generated waveforms	Analytical waveforms	Approximation error
Uniform first	3.0(99.9%)	3.0060(99.9%)	0.02 %
Uniform second	2.4(99.9%)	2.4090(99.9%)	0.38 %
Uniform third	2.0(99%)	2.0142(99%)	0.71 %
Uniform fourth	1.2(99%)	1.2007(99%)	0.04 %

**표 3. 엔벨로프 균일성**  
Table 3. Envelope uniformity

칩 파형	Computer-generated waveforms	Analytical waveforms	Notes
Uniform first	2.0 %	0.17 %	$T_c=1$
Uniform second	0.3 %	0.11 %	
Uniform third	0.2 %	0.15 %	
Uniform fourth	0.2 %	0.09 %	

**표 4. 상 균일성**  
Table 4. Phase continuity

칩 파형	Computer-generated waveforms	Analytical waveforms	Notes
Uniform first	0°	0°	$T_c=1$
Uniform second	0°	0°	
Uniform third	0°	0°	
Uniform fourth	0°	0°	

**표 5. 평균자승 부분 칩 상관**  
Table 5. Mean-squared partial chip correlation

칩 파형	Computer-generated waveforms	Analytical waveforms	Approximation error
Uniform first	0.2361	0.2355	0.25 %
Uniform second	0.2720	0.2720	0%
Uniform third	0.2515	0.2521	0.23 %
Uniform fourth	0.2886	0.2871	0.51 %

### 4. DS/CDMA 통신 선형일 때의 BER 성능 분석 검토

본 논문에서는 각 칩 파형의 성능을 정확히 비교

하기 위하여 동일 정보 전송률과 동일 대역과 AWGN을 가정한다.

그림 4은 선형일 때 DS/CDMA 시스템에 제안한 칩 파형을 적용했을 때의 BER성능을 나타낸 것이다. 이때 사용자 수는 25명을 가정하였다. 이 경우 BER성능은 MAI의 영향을 받게 된다.

이 때 구형과 칩 파형의 성능이 가장 나쁘고, Raised cosine 파형과 균일파형은 비슷하게 나타나며, 비균일 칩 파형의 성능이 가장 좋다. 이것은 칩 파형에 따라 MAI의 영향이 다르기 때문이다. 즉, MAI를 측정할 수 있는 평가 지표는 평균자승 부분 칩 상관(Mean-squared partial chip correlation) 값인데, 평균자승 부분 칩 상관 값이 가장 큰 구형과 칩 파형의 성능이 좋지 않은 것을 알 수 있다. 반대로 평균자승 부분 칩 상관 값이 가장 작은 비균일 칩 파형의 성능이 가장 좋은 것을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 근사화된 해석적 칩 파형을 선형시스템 적용하였다. 이 때 구형과 칩 파형의 성능이 가장 나쁘고, Raised cosine 파형과 균일파형은 비슷하게 나타나며, 비균일 칩 파형의 성능이 가장 좋다. 이것은 칩 파형에 따라 MAI의 영향이 다르기 때문이다. 즉, MAI를 측정할 수 있는 평가 지표는 mean-squared 부분 칩 상관 값인데, mean-squared 부분 칩 상관 값이 가장 큰 구형과 칩 파형의 성능이 좋지 않은 것을 알 수 있다. 반대로 mean-squared 부분 칩 상관 값이 가장 작은 비균일 칩 파형의 성능이 가장 좋은 것을 알 수 있었다.

제안된 칩파형은 크게 2종류로 균일한 엔벨로프를 가진 균일한 칩파형과 비균일 엔벨로프를 가진 비균일 칩 파형 형태로 나눌수 있다. 근사화된 해석적 칩 파형의 단순성을 칩파형, 엔벨로프, 상,상관 관계와 밴드성질을 비교하였다. 본 논문에서는 근사화된 해석적 칩 파형이 컴퓨터 집적 칩 파형과 거의 같음을 알 수 있었다. 이것에 대한 적합성과 연구한 파형에 비선형 시스템에 대한 연구가 필요하다

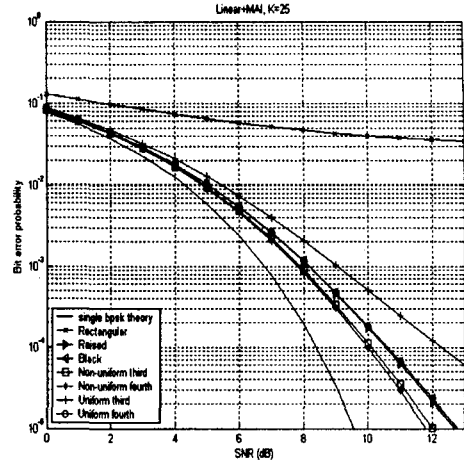


그림 4. 칩파형의 BER 성능(K=25)  
Fig. 4. BER performance of chip waveforms (K=25)

### References

- (1) P. I. Dallas and F. N. Pavlidou, "Innovative Chip Waveforms in Microcellular DS/CDMA Packet Mobile Radio," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 44, pp. 1413-1416, Nov. 1996.
- (2) B. K. Kok and M. A. Do, "Effects of spreading chip waveform pulse-shaping on the performance of DS-SS indoor radio personal communication system in a frequency-selective Rician fading channel," *IEEEISCE'97*, pp. 198-201, 1997.
- (3) M. A. Landolsi and W. E. Stark, "DS-SS Chip Waveform Design for Minimal Interference Under Bandwidth, Phase and Envelope constraints," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 47, no. 11, pp.1737-1746, Nov. 1999.
- (4) 박항구, 한영남, 김명진, CDMA 통신, 1999.
- (5) 엄금용, CDMA 이동통신(IMT-2000), 2003.
- (6) 조용수, 무선 멀티미디어 통신을 위한 OFDM, 2000.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 홍연문 (洪鉉文)

1992년 충북대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 석사졸업. 2002년 동 대학원 박사졸업. 1998년~현재 동해대학교 전기전자공학과 조교수.

#### 김용로 (金容羅)

1991년 충북대 전자공학과 졸업. 1994년 동 대학원 석사졸업. 2004년 동 대학원 박사졸업. 1998년~현재 문경대학 전자통신과 조교수.