

## A Study on Analysis Chip Waveforms for the DS/CDMA Communication System

洪 鉉 文<sup>†</sup> · 金 容 鷗<sup>\*</sup>  
(Hyun-Mun Hong · Yong-Ro Kim)

**Abstract** - As In DS/CDMA(direct sequence code division multiple access) system, the system capacity is limited by multiple access interference(MAI), and self-interference(SI) resulting from the multi-path propagation of the desired user signal. This paper, which the approximated analytic chip waveforms are nearly the same as the computer generated chip waveforms are shown. And then, the BER(Bit Error Rate) performances in CDMA system using the approximated analytic chip waveforms are shown.

**Key Words** : DS/CDMA, MAI, SI, BER

### 1. 서 론

현대사회에 있어 무선 이동 통신은 인간의 지속적인 생활영역의 확대요구와 시간적, 공간적 제약을 극복할 수 있는 통신수단의 욕구에 부응하는 것으로, 교통수단과 통신이 결합된 새로운 통신 영역으로 급속히 발전하고 있다. 따라서 우리들의 삶의 영역을 확대시켜준다는 점에서 생활에 미치는 영향이 지대하다는 것이다. 이러한 통신의 발전방향은 통신이 지향하는 목표, 언제 어디서나 누구와도 시간에 구애받지 않고 다양한 정보를 교환할 수 있어야 한다. 이러한 목표를 실현하기 위하여 무선 통신 시스템은 개인의 욕구에 충족하기 위해 개인화, 지능화 되고, 이들의 요구를 충족시킬 수 있는 각종 데이터를 제공할 수 있는 멀티미디어화를 이루어야 할 것이다. 미래의 무선통신 시스템은 음성서비스는 물론이고, TV 전화, 영상회의, 고해상의 동영상과 같은 고품질의 다양한 서비스를 대상으로 하고 있어 가변 전송률에서 수 Mbps 까지의 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 이용 효율을 크게 증가시킨 것이다. CDMA에서 중요한 성질은 다중 액세스 능력, 다중경로 간섭 제거, 협대역 간섭 제거, 보안/개인 통신을 위한 LPI 이다.

CDMA 방식은 FDMA나 TDMA 방식과는 달리 여러

가지 간섭 중에서 동시에 같은 채널을 사용하는 다른 사용자들에 의해 발생하는 다중 사용자 간섭(multiple access interference,MAI)에 영향을 받는 간섭 제한된(interference-limited) 시스템이다. MAI는 동채널을 사용하는 각각의 direct sequence 사용자의 간섭에서 발생한다. 이는 칩 파형을 완전하게 orthogonal하게 만들 수 없기 때문에 생기는 문제점이기도 하다. 또한 각 사용자의 전력이 커질수록 MAI가 증가한다. 지금까지 MAI를 줄이기 위한 방법으로는 전력제어, 다중 사용자 검출(multiuser detection), 스마트 안테나(smart antenna)등의 수신측면에서 연구되어져왔다.

그러나 송신측면에서 보았을 때 MAI는 칩 파형의 형태에 따라 다른 값을 갖기 때문에 MAI가 최소 값을 갖도록 하는 칩 파형 디자인은 매우 중요하다. 또한 CDMA의 성능 분석에 관한 대부분의 연구는 선형 HPA(high power amplification)를 가정하지만 실제 시스템에서 사용되는 HPA의 특성은 비선형이다. 따라서 비선형 HPA가 고려된 시스템에 대한 연구는 중요하다.

본 논문에서는 통신 시스템에서 칩 파형에서의 중요성이 부각되어 M. A. Landolsi와 W. E. Stark의 computer generated 칩 파형을 근사화된 해석적 칩 파형을 새롭게 제안하여 비교 연구하였다.

### 2. DS/CDMA 시스템의 Computer generated 최적 칩 파형

최근 BIST를 구현하는데 있어 고려해야 할 점은 효율성, 스피드, 경제성 등이다[6]. 미국 미시간 대학의 M. A. Landolsi와 W. E. Stark은 칩 파형이 직접 시퀀스-코드 분할 다중 접속 방식 시스템의 전력 스펙트럼 효율(spectral efficiency)에 주는 영향에 대해 연구하였고, 칩 파형을 shaping하여 다중 사용자 간섭을 최소화하는 방법에 대해

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 東海大 工大 電氣電子工學科 助教授 · 工博  
E-mail : hmhong@donghae.ac.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 開慶大 電子情報通信科 助教授 · 工博  
接受日字 : 2004年 5月 11日  
最終完了 : 1998年 6月 12日

연구하였다[6]. 1999년 M. A. Landolsi와 W. E. Stark는 prolate spheroidal wave 함수를 이용하여 다중 사용자 간섭을 최소화하는 연속위상(continuous phase)과 균일 엔벨로프(uniform envelope) 특성을 갖는 칩 파형과 연속위상과 비균일 엔벨로프(non-uniform envelope) 특성을 갖는 computer generated 칩 파형을 제안하였다[7].

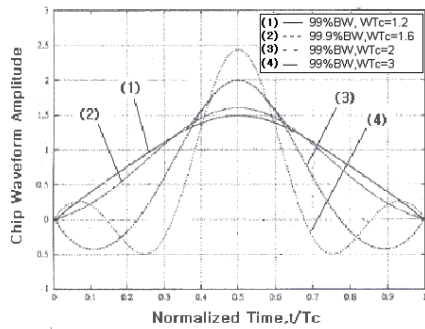


그림 1 Computer generated 균일한 칩 파형  
Fig. 1 Computer generated on-uniform chip waveforms

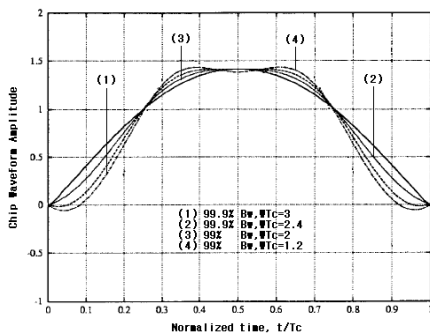


그림 2 Computer generated 균일칩 파형  
Fig. 2 Computer generated uniform chip waveforms

그림 1은 M. A. Landolsi와 W. E. Stark이 제안한 최적화된 비균일 칩 파형이고 표 1은 비균일 칩 파형의 PAPR이다. 그림 1에서 (1)은  $T_c=1$ 로 했을 때 99% 전력 대역폭이 1.2이고, (2)는 99.9% 전력 대역폭이 1.6인 칩 파형이다. (3)과 (4) 또한 99% 전력 대역폭이 2이고 3인 칩 파형이다. 표 3-5로부터 비균일 third와 비균일 fourth 칩 파형의 PAPR이 기존의 Raised cosine이나 Blackman 보다 매우 커 비선형 잡음에 의해 시스템 성능이 저하됨을 알 수 있다.

그림 2은 computer generated 최적화된 균일한 엔벨로프 특성을 갖는 칩 파형(uniform chip waveforms) 이고 표 2은 균일 칩 파형의 PAPR이다. 그림 2에서 (1)은  $T_c=1$  일 때 99.9% 전력 대역폭이 3이고, (2)는 99.9% 전력 대역폭이 2.4인 칩 파형이다. (3)과 (4) 또한 99% 전력 대역폭이 각각 2이고 1.2인 칩 파형이다. 표 2으로부터 기존 칩 파형보다 균일 칩 파형의 PAPR이 3.01dB로 매우 작음을 알 수 있다.

M. A. Landolsi와 W. E. Stark이 제안한 computer

generated 최적화된 비균일 칩 파형과 균일 칩 파형은 prolate spheroidal wave 함수를 이용하여 컴퓨터에 의해 발생된다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 컴퓨터에 의해 발생하는 이러한 단점을 보완하고자 최적화된 칩 파형을 해석적으로 근사화시킨다.

표 1 비균일칩 파형의 PAPR

Table 1 PAPR of non-uniform chip waveforms

칩 파형	PAPR
Non-uniform first	3.01dB
Non-uniform second	4.26dB
Non-uniform third	6.24dB
Non-uniform fourth	7.93dB

표 2 균일칩 파형의 PAPR

Table 2 PAPR of uniform chip waveforms

칩 파형	PAPR
Uniform first	3.01dB
Uniform second	3.01dB
Uniform third	3.01dB
Uniform fourth	3.01dB

최대의 고장 검출률을 유지하면서 오버헤드를 줄일 수 있는 방법은 결정 테스트와 의사 무작위 테스트를 혼용하는 혼합 테스트를 사용하는 것이다. 의사 무작위 테스트 저항 고장에 대해서만 결정 테스트를 하는 것이 합리적이다[7]. 이와 같은 방법을 내장된 자체 테스트라고 한다. 현재로서는 BIST가 가중되는 회로의 복잡도와 집적도에 기인한 테스트 문제를 해결할 최적의 해결책으로 여겨지고 있다[3]. 만일 256개의 의사 무작위 패턴이 가해졌을 때, 66개의 결정 패턴만을 가하면 고장 검출률 100%를 보장할 수 있다. 만일 256개의 의사 무작위 패턴이 가해졌을 때, 66개의 결정 패턴만을 가하면 고장 검출률 100%를 보장할 수 있다.

만일 256개의 의사 무작위 패턴이 가해졌을 때, 66개의 결정 패턴만을 가하면 고장 검출률 100%를 보장할 수 있다. 만일 256개의 의사 무작위 패턴이 가해졌을 때, 66개의 결정 패턴만을 가하면 고장 검출률 100%를 보장할 수 있다.

우리는 이 의사 무작위 테스트 저항 고장을 다음과 같이 정의한다. 우선 LFSR/SR을 사용하여 무작위 패턴을 얻어 고장 시뮬레이션을 수행하여 320개의 패턴이 연속적으로 고장을 검출하지 못한 순간 이후의 고장을 무작위 저항 고장으로 정의하고, 그 때까지를 의사 무작위 테스트 길이로 정의하였다. 만일 256개의 의사 무작위 패턴이 가해졌을 때, 66개의 결정 패턴만을 가하면 고장 검출률 100%를 보장할 수 있다.

따라서 총 322개의 패턴으로 고장 검출률 100%를 얻을 수 있는 것이다. 그리고 의사 무작위 패턴을 더 많이 가하면 총 테스트 수는 길어지지만 Ld 값을 줄일 수 있다. 총 5440개의 테스트로 100%를 얻을 수 있는 무작위 테스트보다 테스트시간을 상당히 단축시킬 수 있다.

### 3. 제안하는 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

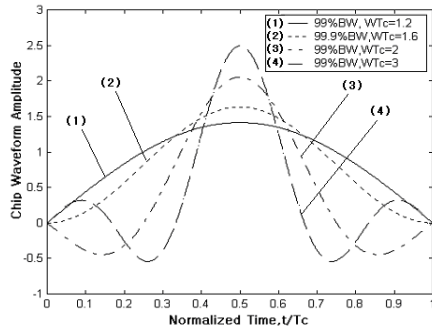


그림 3 비균일 칩 파형 해석  
Fig. 3 Analytical non-uniform chip waveforms

그림 3는 그림 1의 computer generated 칩 파형을 근사화하여 제안한 근사 해석적 비균일 칩 파형이다. 그림 1의 (1)를 그림 3의 non-uniform first 칩 파형으로 (2)를 non-uniform second 칩 파형, (3)을 non-uniform third 칩 파형 그리고 (4)를 non-uniform fourth 칩 파형으로 각각 근사화 하였다. 제안된 근사화된 해석적 칩 파형을 식으로 나타내면 다음과 같다.

a) Non-uniform first chip waveforms

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

b) Non-uniform second chip waveforms

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

c) Non-uniform third chip waveforms

$$\Psi_c(t) = k_1 \sin c\left(4\left(\frac{t - T_c/2}{T_c}\right)\right) u(t). \quad (3)$$

d) Non-uniform fourth chip waveforms

$$\Psi_c(t) = k_2 \sin c\left(6\left(\frac{t - T_c/2}{T_c}\right)\right) u(t). \quad (4)$$

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.

표.3과 4은 칩 주기,  $T_c=1$  인 경우 computer generated 비균일 칩 파형과 이를 근사 해석적 비균일 칩 파형의 대역폭과 엔벨로프의 균일성을 비교한 것이다. 위의 결과로부터 근사화 오차가 최대 6.87%로 computer generated 칩 파형과 거의 유사함을 알 수 있다. computer generated 비균일 칩 파형과 제안된 해석적 비균일 칩 파형의 대역폭과 엔벨로프의 균일성이 거의 같음을 알 수 있다.

표.5와 6은 칩 주기,  $T_c=1$ 인 경우 computer generated 칩

파형과 이를 근사화된 해석적 칩 파형의 위상의 연속성과 상관관계를 비교한 것이다.

표 3 전력 밴드폭

Table 3 Power bandwidth

칩 파형	Computer-generated waveforms	Analytical waveforms	Approximation error
Non-uniform first	1.2(99%)	1.19	0.83 %
Non-uniform second	1.6(99.9%)	1.71	6.87 %
Non-uniform third	2.0(99%)	2.13	6.50 %
Non-uniform fourth	3(99%)	3.07	2.33 %

표 4 엔벨로프 유일성

Table 4 Envelope uniformity

칩 파형	Computer-generated waveforms	Analytical waveforms	Notes
Non-uniform first	6%	0.07%	$T_c = 1$
Non-uniform second	14.7%	17.3%	
Non-uniform third	79%	75.2%	
Non-uniform fourth	85%	80.3%	

표 5 엔벨로프 유일성

Table 5 Phase continuity

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

표 6 평균자승 부분칩 상관관계

Table 6 Mean-squared partial chip correlation.

칩 파형	Computer-generated waveforms	Analytical waveforms	Approximation error
Non-uniform first	0.2821	0.2914	3.26%
Non-uniform second	0.2527	0.2414	4.47%
Non-uniform third	0.1382	0.1317	4.70%
Non-uniform fourth	0.0894	0.0865	3.24%

위의 결과로부터 computer generated 칩 파형과 해석적 칩 파형의 위상의 연속성과 상관관계가 거의 같음을 알 수 있다.

위의 4가지 비균일 엔벨로프를 갖는 칩 파형의 특성을 비교한 결과로부터 M. A. Landolsi와 W. E. Stark이 computer generated 최적화된 칩 파형과 이를 제안된 근사 해석적 칩 파형이 거의 같음을 알 수 있다.

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

균일 칩 파형을 식은  $\Psi_c(t)$ 에 따라 나타내진다.

$$\Psi_c(t) = \sqrt{2} \sin\left(\frac{\pi t}{T_c} - \frac{1}{c} \sin\left(\frac{4\pi t}{T_c}\right)\right) u(t). \quad (5)$$

여기에서 상수,  $c$ 는 표 7과 같다.

표 7 균일 칩 파형의 상수

Table 7 Constant of uniform chip waveforms

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

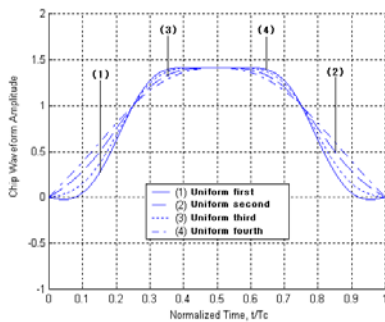


그림 4 균일 칩 파형 해석

Fig. 4 Analytical uniform chip waveforms

그림 4는 그림 2의 최적화된 균일 칩 파형을 근사화된 것이다. 그림 2의 (1)를 그림 4의 uniform first 칩 파형으로 (2)를 uniform second 칩 파형, (3)을 uniform third 칩 파형 그리고 (4)를 uniform fourth 칩 파형으로 각각 근사화 하였다.

표 8, 9, 10 그리고 11는 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 제안된 근사 해석적 칩 파형이 거의 같음을 알 수 있다.

표 8에서 근사화 오차가 최대 0.71%로 제안하는 해석적 칩 파형의 근사화가 잘되었음을 알 수 있다. 칩 파형 특성에 의하면 대역효율이 좋을수록 상관관계가 작아서 MAI에 의한 영향은 작고, PAPR은 모두 같아서 비선형 HPA에 의한 영향은 동일하다.

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

표 8 전력 밴드폭

Table 8 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 9 엔벨로프 유일성

Table 9 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 10 상 연속성

Table 10 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 11 평균자승 부분칩 상관관계

Table 11 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. 결 론

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

비균일 칩 파형은 위의 4가지 비균일 엔벨로프를 갖는 칩 파형의 특성을 비교한 결과로부터 M. A. Landolsi와 W. E. Stark이 computer generated 최적화된 칩 파형과 이를 제안된 근사 해석적 칩 파형이 거의 같음을 알 수 있었고, 또한 균일 칩 파형은 비교 결과로부터 computer generated 최적화된 균일 칩 파형과 이를 제안된 근사 해석적 칩 파형이 거의 같음을 있었다.

이것에 대한 적합성과 연구한 파형에 대한 실제 시스템에 적용 가능성에 대한 연구가 필요하다

## 참 고 문 헌

- [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-CDMA 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-CDMA 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] M. Sawada, M. Katayama, and A. Ogawa, "Effect of nonlinear amplifiers of transmitters in the CDMA system using offset-QPSK," *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E76-B, no.7, July 1993.

[5] A. Conti, D. Dardari and V. Tralli, "An Analytical framework for CDMA System With a Nonlinear Amplifier and AWGN," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 50, no. 7, July 1993.

[6] R. Anjaria and R. Wyrwas, "The Effect of Chip Waveform on the Performance of CDMA Systems in Multipath, Fading, Noisy Channels," *Proc. of 42nd VTS Conference'1992*, pp. 672-675, 1992.

[7] Y. Huang and T. S. Ng, "A DS-CDMA System Using Despreading Sequences Weighted by Adjustable Chip Waveforms," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 47, no. 12, pp. 1884-1896, December 1999.

저 자 소 개



**홍 현 문 (洪 鉉 文)**  
 1965년 11월 11일생. 1992년 충북대 전기 공학과 졸업. 1994년 동 대학원 석사졸업. 2002년 동 대학원 박사졸업. 1998년~현재 동해대학교 전기전자공학과 조교수.

Tel : 033-520-9321  
 Fax : 033-521-9407  
 E-mail : hmhong@donghae.ac.kr



**김 용 로 (金 容 鷗)**  
 1965년 11월 11일생. 1992년 충북대 전기 공학과 졸업. 1994년 동 대학원 석사졸업. 2004년 동 대학원 박사졸업. 1998년~현재 문경대학 전자정보통신과 조교수.

Tel : 054-559-1215  
 E-mail : yrkim@mkc.ac.kr