

# 초고속 전송을 위한 Recursive Selected Mapping HCOC Multi-Code Spread Spectrum 시스템 설계

공형윤\*, 최정호\*, 서민구\*, 정휘재\*

\*울산대학교 전기전자정보시스템공학과

e-mail:{hkong, k9813013, sminkoo, hwijae78}@mail.ulsan.ac.kr

## Design of Recursive Selected Mapping HCOC Multi-Code Spread Spectrum System for high-speed data transmission

Hyung-Yun Kong\*, Jeoung-Ho Choi

\*Department of Electrical Engineering, University of Ulsan

### 요 약

본 논문은 초고속 전송을 위해 설계된 HCOC(High Capacity Orthogonal Code) 기술을 적용한 Multi-Code Spread Spectrum System에서 발생할 수 있는 PAPR(Peak to Average power Ratio) 문제해결을 위한 연구이다. H(HCOC)MC-SS 시스템의 PAPR 감소를 위해 기본적인 SLM(Selected Mapping) 기법을 적용하였으며, 또한 SLM 기법의 단점인 많은 계산량 감소를 위해 Recursive 방법을 적용한 Recursive SLM HMC-SS 시스템을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안하는 시스템을 검증하였으며, 또한 초고속 전송을 위한 16 QAM-SS 시스템과 4x4 HMC-SS 시스템의 성능을 비교 분석하였다.

### 1. 서론

현재 3G 이동통신은 2Mbps급 이상의 전송 속도로 사용자들이 원하는 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하고 있다. 그러나 이는 충분한 Qos(Quality of service)를 만족 시키지 못하여, 많은 연구자들이 차세대 무선 이동통신을 위한 초고속 전송기술에 대한 연구를 하고 있다. 이러한 초고속 전송기술로 Multi-Code 방식과 Multi-Carrier 방식이 많이 연구되고 있는 가운데 IMT-2000(WCDMA)에서는 Multi-Code Spread Spectrum(MC-SS)이 제안되었다. Conventional MC-SS는 많은 직교 코드워드를 사용하면서 멀티미디어 서비스를 제공하는 것뿐만 아니라 높은 데이터 전송률을 가진다. 그러나 두 가지 단점으로 인하여 실제 시스템 구현에 어려움이 있다. 첫 번째로 연속적인 "0" 레벨이 종종 나타남으로 인해 직교 CMC-SS 시스템의 전송신호는 큰 진폭 변동이 생긴다[1]. 두 번째로 CMC-SS 시스템은 매우 많은 직교열을 사용하여 하드웨어 복잡성이 크게 증가하게 된다. 이러한 문제점을 극복하기 위

해서, 직교열의 증가 없이 대용량의 데이터를 전송할 수 있는 HCOC 기술이 제안되었다[2]. 그러나 HCOC를 적용한 H(HCOC)MC-SS 시스템에서도 CMC-SS 시스템과 같이 다양한 Multi level로 인하여 높은 PAPR(Peak to Average power Ratio)과 높은 평균전력(Pavg)을 가지게 된다. 본 논문에서는 이러한 HMC-SS 시스템의 PAPR을 줄이기 위한 방법으로 Recursive Selected Mapping(SLM) 기법을 적용한 Recursive SLM HMC-SS 시스템을 제안하였고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 검증한다. 본 논문은 1장의 서론, 2장의 HMC-SS 소개, 3장의 제안한 Recursive SLM HMC-SS 소개, 4장의 Recursive SLM HMC-SS에서의 PAPR 감소 분석, 5장의 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 6장의 결론으로 구성되어 있다.

### 2. H(HCOC)MC-SS

그림 1을 통해 HMC-SS 시스템은 기존 MC-SS 시스템에 HCOC 기술을 추가함으로써 간단하게 설계

할 수 있다. M개의 신호 또는 코드워드의 집합인 하나의 HCOC 신호는 M×M/2인 bi-orthogonal 집합으로부터 구할 수 있다.

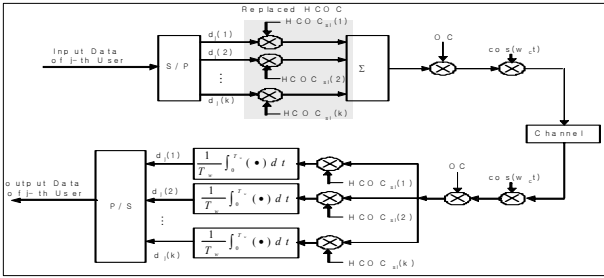


그림 1. HMC-SS 시스템의 블록 다이어그램

만약 직교코드(OC)가 Hadamard matrix에 의해 구성되고 CDMA 시스템에서 Walsh Code로 사용된다면 직교코드는 M×M 행렬을 갖는다. 또한 HCOC의 수는 각 사용자들이 요구하는 서비스의 종류에 따라 결정된다. 만약 HCOC가 (0,1,0,1,0,1,0,1)처럼 8×8 Walsh Code 중에서 선택이 된다면 HCOC의 종류는 HCOC(1)=(1,1,1,1), HCOC(2)=(1,0,1,0), HCOC(3)=(1,1,0,0), HCOC(4)=(1,0,0,1)이고, 그것은 4×4 code로 구성된다. M=8인 경우에 OC와 HCOC의 길이는  $8T_{OC}=4T_{HCOC}$ 의 관계에 있고, 여기서  $T_{OC}$ 와  $T_{HCOC}$ 는 OC와 HCOC 각각의 chip duration을 나타낸다. 우선 HMC-SS 시스템의 구조에서 보여주는 것처럼 입력 정보열은 HCOC와 OC에 의해 확산 변조된다. i번째 사용자의 전송 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S_{s,i}(t) = \sum_{j=1}^k d_i(j) \cdot HCOC_{s_i}(j) \cdot OC(i) \cdot \cos \omega_c t \quad (1)$$

HMC-SS 시스템에서 다른 사용자가 같은 HCOC를 사용하여도 Walsh code OC(i)에 의해 직교성 유지되므로 수신단에서는 각각의 사용자에게 대한 원래 데이터를 복구할 수 있다. HCOC를 사용한 결과 HMC-SS 시스템은 CMC-SS 시스템보다 훨씬 적은 수의 OC로 동작할 수 있음을 알 수 있다.

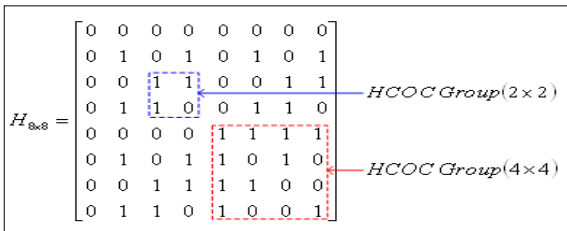


그림 2. OC와 HCOC를 위한 Hadamard matrix

그림 2에서는 8×8 Hadamard Walsh code에서 사용할 수 있는 HCOC code 부분을 나타내고,

HCOC를 AOCG에서 사용하였을 때, 데이터를 복구할 수 있다[2]. 사용되는 HCOC의 크기가 증가함에 따라 전송하는 데이터의 용량이 증가할 뿐만 아니라, 각 사용자에게 하나의 직교 코드만을 할당함으로써 사용자수도 증가시킬 수 있다. 즉, HMC-SS 시스템은 사용자들에게 적은 수의 직교 코드를 할당하는 대신 각 사용자들에게 HCOC 코드를 할당함으로써 전송용량을 증대시키고, 직교코드의 활용도를 높인다. 따라서 적은 수의 직교코드의 사용함으로 많은 사용자에게 직교코드를 할당할 수 있게 되어, 원활한 초고속 데이터 전송을 할 수 있도록 한다.

### 3. 제안한 Recursive SLM HMC-SS

그림 3은 기본적인 SLM 기법에 대한 블록 다이어그램을 나타낸 것이다.

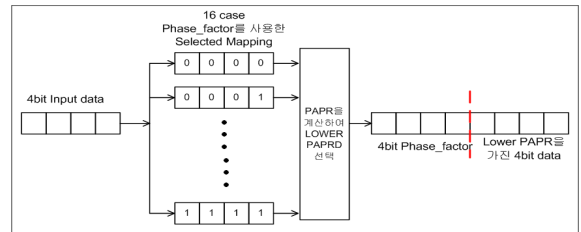


그림 3. 기본적인 SLM 기법

SLM 기술은 M bit 입력데이터를 그대로 전송하는 것이 아니라  $2^M$ 개의 위상회전 벡터(Phase rotation vector)와의 곱셈연산을 통해 가장 낮은 PAPR을 갖는 변환된 데이터와 연산에 사용된 위상회전 벡터를 함께 전송하는 기술이다[3]. 예를 들어 입력데이터가 4bit라면 (0,0,0,0), (0,0,0,1),..., (1,1,1,1)까지  $2^4 = 16$ 가지 위상회전 벡터와의 곱셈 연산을 통하여 변환된 16가지 데이터 중 PAPR이 가장 낮은 신호를 선택하고 연산에 사용된 4bit 위상회전 벡터를 같이 첨부하여 전송하게 된다. 하지만 4bit의 입력 데이터에 대하여 16번의 연산과 송신단에서 16가지 위상회전 벡터를 가지고 있어야 함으로 하드웨어의 복잡성이 크다는 단점을 지니게 된다. 또한 기본적인 SLM 방법을 HMC-SS 시스템에 접목할 경우 낮은 PAPR을 유지할 수 없게 된다.

이러한 단점은 Recursive 방법을 적용한 SLM을 통해 보완하였다. Recursive 방법은 3bit의 입력데이터를 EX-OR 연산을 통하여 1bit의 Parity bit를 반복적으로(Recursive) 생성하는 것이다[4].

그림 4는 Recursive SLM 방식의 블록 다이어그램을 나타낸 것이다.

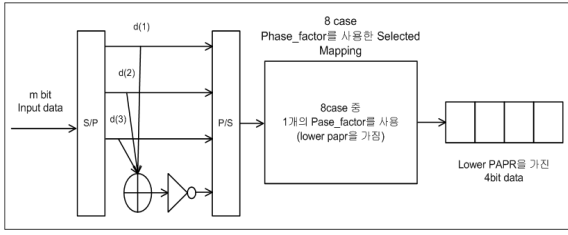


그림 4. Recursive SLM 기법

Recursive SLM 방식은 Recursive를 통해 “1” 혹은 “0”의 개수가 홀수로 유지된 4bit 출력 데이터가 16가지 위상회전 벡터와 곱셈연산을 하게 되면 8가지 경우에서 동일하게 낮은 PAPR을 가지게 된다. 8가지 위상회전 벡터는 (0,0,0,0), (0,0,1,1), (0,1,0,1), (0,1,1,0), (1,0,0,1), (1,0,1,0), (1,1,0,0), (1,1,1,1)이다. 그러므로 8가지 중 1가지의 위상회전 벡터의 사용이 가능하게 된다. 이것은 기존의 SLM 기술이 16번의 계산을 거치는 것과는 달리 단지 1번의 계산만을 하게 된다. 또한 송·수신단 모두 하나의 동일한 위상회전 벡터를 가짐으로써 하드웨어의 복잡성을 감소시키며, 위상회전 벡터의 제거를 통해 전송 데이터율과 시스템 성능을 향상시킬 수 있다.

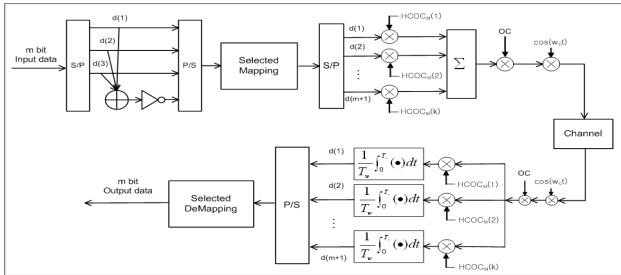


그림 5. Recursive SLM HMC-SS 시스템의 블록 다이어그램

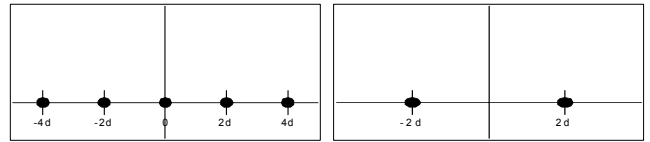
그림 5는 제안하는 Recursive SLM HMC-SS 시스템을 나타낸 것이다. 제안하는 시스템은 HMC-SS 시스템에서 Recursive SLM 블록을 첨가하여 설계할 수 있다. 예를 들어 3bit 입력데이터는 Recursive를 통해 1bit가 첨가된 4bit의 데이터가 되고 Selected Mapping 블록을 통하여 1번의 위상회전 벡터와의 곱셈연산을 통하여 변환된 데이터 출력을 가지게 된다. 그리고 4x4 HMC-SS를 통하여 적은 직교코드를 사용하면서도 대용량의 데이터 전송이 가능하게 된다. Recursive SLM을 통하여 생성된 홀수의 데이터열과 위상변위가 PAPR을 감소시키는 역할을 하게 된다. 또한 CMC-SS 방식에서의 단점인 연속적인 “0” 레벨이 제거되어 더 많은 PAPR 감소 효과를 얻게 된다.

#### 4. Recursive SLM HMC-SS에서의 PAPR 감소

시스템을 구현하면서 고려하여야 할 여러 가지 요인들 중에서 특히 PAPR과 평균전력은 하드웨어 구현에 있어서 아주 중요하게 고려되어야 할 사항들이다. PAPR이 높으면, 전송단의 증폭기에 있어서 여러 가지 비선형적인 동작들이 발생하고, 이로 인해 시스템의 성능을 저하시키는 요인이 된다. PAPR은 아래 식 (2)와 같이 정의 된다.

$$PAPR(dB) = 10 \log_{10} \frac{P_{peak}}{P_{avg}} \quad (2)$$

본 논문에서는 4x4 HMC-SS 시스템과 제안하는 시스템의 경우로 설명을 한다. 식 (1)과 같이 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 전송방식을 사용한 신호의 성상도를 그림 6에 나타내었고, 그림 6의 (a), (b)의 경우와 비슷한 데이터 bit를 전송하는 16QAM의 PAPR과 평균 전력을 비교하여 표.1에 작성하였다.



(a) 4x4 HCOCC (b) Recursive SLM HCOCC

그림 6. HCOCC와 Recursive SLM HCOCC 신호의 성상도

표.1. 전송 시스템간의 PAPR 및 평균전력 비교

	PAPR(dB)	Average Power
(a) 4x4 HCOCC	3	8
(b) Recursive SLM HCOCC	0	4
16 QAM	2.55	10

제안하는 시스템은 데이터 전송률에서는 3/4을 가지지만 표.1에서 확인할 수 있듯이 Recursive SLM 기법을 적용하여 기존의 시스템보다 PAPR과 평균전력이 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

#### 5. 시뮬레이션 결과

제안한 시스템의 성능평가 및 검증을 위해서 컴퓨터 모의실험을 하였다. 동일한 환경에서 실험을 하기 위해 10<sup>8</sup>개의 데이터를 전송하였고, 일반적인 AWGN 채널 환경에서 실험을 수행하였다.

우선 Recursive SLM 방법을 통하여 동일한 PAPR을 갖는 8가지의 위상회전 벡터들 중 각각의 벡터를 사용한 경우에 대해 성능을 비교해 보았다. 그림 7과 같이 8가지 경우에 대해 모두 동일한 성능을 가짐으로 제안하는 시스템은 단지 1가지 위상회

전 벡터만 사용하여도 데이터 송·수신이 가능하다.

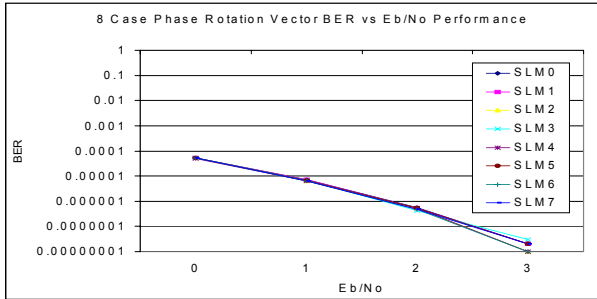


그림 7. 8 Case Recursive SLM HMC-SS 시스템 성능비교

또한 각 시스템 간의 BER 성능을 동시에 비교하기 위해 각 비교 시스템들의 distance는 동일하다고 가정하고 실험을 하였다. 실험상에서 HMC-SS 시스템, 기존 SLM-SS 시스템, QAM-SS 시스템과 3/4 rate Recursive SLM HMC-SS 시스템을 비교하기 위해 동일한 확산이득(Spreading Gain)을 가지도록 하였다. 위의 4가지 시스템의 SF(Spreading Factor)는 Walsh code로 현재 이동 통신에서 쓰이는 chip rate가 64인 것을 동일하게 사용하였다. 각 시스템의 전송 데이터는 16QAM-SS(4bit)와 기존 SLM-SS(4bit)를 선택하였고, HMC-SS와 3/4 rate Recursive SLM HMC-SS는 HCOC의 크기를 4×4(4bit)인 경우로 실험하였다. 그림 8은 각 시스템의 BER 성능을 서로 비교한 것이다.

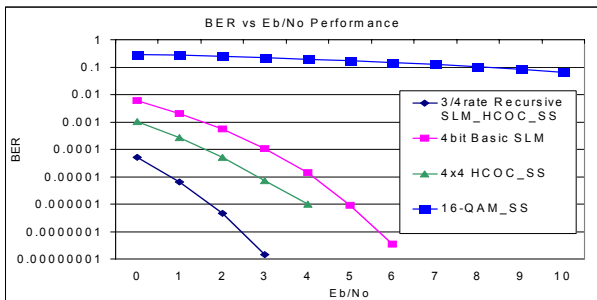


그림 8 HMC-SS 시스템 기존 SLM-SS 시스템 3/4 rate Recursive SLM HMC-SS 시스템 16QAM-SS 시스템의 성능 비교

제안하는 시스템은 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있듯이 기존 SLM-SS 시스템에 비해서 3dB 정도의 성능향상을 확인할 수 있었고 4×4 HMC-SS 시스템에 비해서도 2dB 정도의 성능향상을 확인하였다. 또한 16QAM-SS 시스템에 비해서 아주 좋은 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 이러한 성능향상은 위상회전 벡터의 제거와 줄어든 PAPR과 평균전력에서 기인하였고, 또한 성좌도에서 “0” 레벨의 제거에 따른 것으로 사료된다.

## 6. 결론

차세대 무선 통신 및 이동통신 시스템에서는 초고속 멀티미디어 데이터를 효율적으로 각 사용자들에게 서비스할 것이 요구된다. 이를 위해서 본 논문에서는 각 사용자에게 할당되는 직교코드의 수를 줄여주면서 고속 데이터 전송을 가능한 HMC-SS를 기반으로 높은 PAPR과 평균전력을 극복하기 위해 Recursive SLM 방식을 연구하였다. 기존의 SLM 기법에서의 많은 계산량을 Recursive SLM 방식으로 계산량을 감소 시켰고, 정상도를 통한 전력 계산으로 PAPR 및 평균전력이 크게 줄어드는 것을 확인하였다. 그리고 MC-SS 시스템의 단점중 하나인 연속적인 “0” 레벨이 없어지는 것을 확인하였고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 성능 또한 향상되는 것을 확인하였다.

향후 다양한 채널을 적용해 제안한 시스템의 실제적인 성능을 분석하고 직교코드 간의 상관성에 대한 연구를 진행하여 시스템의 활용도를 높인다.

## Acknowledgement

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.

## 참고문헌

- [1] T. WADA, T. YAMAZATO, M. KATAYAMA, and A. OGAWA, “A Constant Amplitude Coding for Orthogonal Multi-Code CDMA Systems,” IEICE Trans. on Fundamentals, VOL.E80-A, NO.12 DECEMBER, 1997, pp.2477-2484.
- [2] H.Y.Kong, “Design of Multi-Code CDMA System based on SOC Technique” IEICE Transactions Communication, 2002
- [3] H.G.Ryu, Tran Phuong Hoa, K.M.Lee, S.W.Kim, J.S.Park, “Improvement of power efficiency of HPA by the PAPR reduction and predistortion”, Consumer Electronics, IEEE, February 2004, pp.119-124
- [4] Y.C.Kim, “Recursive generation of constant amplitude multi-code DS-CDMA signal”, Electronics Letters, December 2003, Vol.39, No 25