

# 단거리 고속무선 통신에서 Marking 알고리즘을 이용한 신호검출연구

A study of detection scheme for Marking algorithm in short range high speed  
wireless channel

김영환, 손성환, 김재명

the Graduate School of Information Technology & Telecommunications  
Inha University

Key Words : Orthogonal frequency division multiplexing, Partial transmit sequence, Peak-to-average power ratio, Side information transmission scheme, Marking algorithm

## 목 차

I. 서론	IV. Embedded Side Information
II. Peak to Average Power Ratio	V. Simulation result
III. Partial Transmit Sequence	VI. 결론

## I. 서론

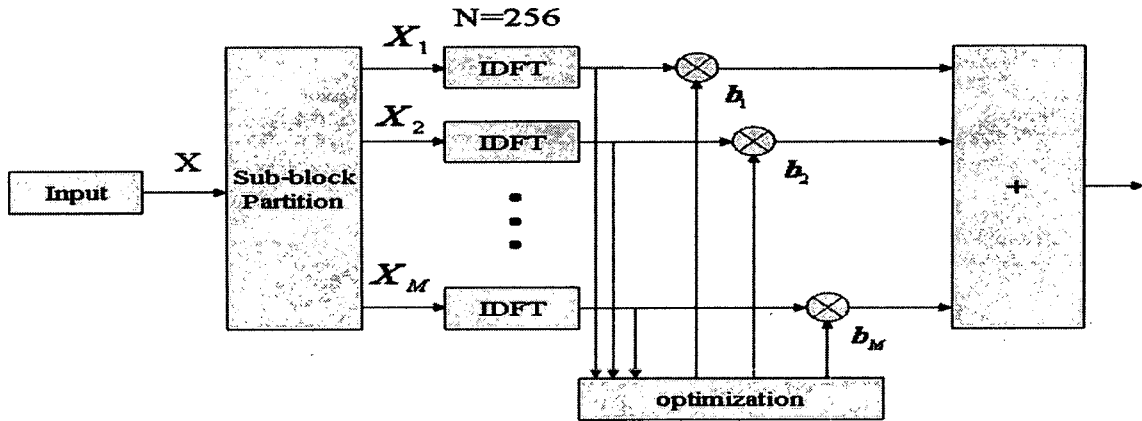
직교 주파수 분할 다중화 방식(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 주파수 선택적 페이딩 환경에서 광대역 데이터의 고속 전송을 가능하게 하는 차세대 변조 방식이다. 이 방식은 다중경로 페이딩 채널환경에서 우수한 고유의 특성으로 이미 유럽의 Digital Audio Broadcasting (DAB)와 Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T), IEEE 802.11a의 Wireless LANs과 같은 시스템에서 표준으로 채택되었으며, 차세대 이동통신, 단거리 무선통신 및 Telematics 등 차세대 통신 네트워크에 사용될 변조 방식으로 각광을 받고 있다.

하지만 OFDM 방식은 여러 개의 채널을 갖는 다중 반송파를 사용함에 따라 높은 첨두전력 대 평균전력 비(PAPR)를 나타내는 단점을 가지고 있다. 이러한 신호는 송신단에서 HPA(High Power Amplifier)와 같은 비선형 장치를 통과할 때 주파수 방출과 신호 왜곡 등 비선형 특성에 의해 크게 왜곡되어진다. 따라서 무선 어플리케이션에 사용되는 OFDM 방식의 높은 첨두치 문제를 개선하는 것은 아주 중요한 연구 과제가 임이 분명하다.

높은 첨두치 문제에 대한 기존의 해결 방법으로는 고가의 선형증폭기를 사용하거나 HPA에 의한 비선형

왜곡을 피하기 위해 증폭기의 동작점을 크게 back-off 시켜 주는 방법이 있다. 하지만 이 두 방법 모두 전력 비효율적이라는 단점을 가진다. 이에 따른 대안책으로 몇 가지 다른 해법이 제안이 되었는데, 그 중 가장 단순한 방법으로는 신호를 증폭기에 통과시키기 전에 미리 첨두값을 제거해 주는 방법이다. 이 방법은 첨두치 대 평균전력 비 성능을 크게 개선하고, 구현이 간단하다는 장점이 있지만, 신호를 비선형적으로 왜곡시킴으로써 시스템의 성능을 열화시키는 단점을 가진다. 첨두치를 줄이는 또 다른 방법으로 블록 코딩을 사용하는 기법이 제안되었는데, 블록 코딩 기법은 OFDM 신호의 높은 첨두치 전력을 효과적으로 감소시키는 접근 방식이기는 하지만, 구현이 복잡하고, 낮은 데이터율로 인해 비실용적이다[1].

이에 대한 대안책으로 제시된 방법이 Selective mapping(SLM) 방식과 Partial transmit sequence(PTS) 방식이다. 이들은 OFDM 신호의 PAPR 특성을 통계적으로 향상시켜주는 방식으로, 입력 데이터열을 신호 집합에 사상시킨 후, 그중 가장 낮은 첨두전력 값을 갖는 신호를 선택하여 전송해주는 방식이다. 이 중 본 논문에서 다루게 될 PTS 방식은 위상 회전 요소에 의해 위상이 천이된 신호블록들을 결합해 주는 방식으로 왜곡이 없는 PAPR 감소 효과를 볼 수 있다. 하지만 이 방식에서 최적의 위상 회



<그림 1> Partial transmit sequence block diagram

전요소를 찾는 과정은 시스템의 복잡성을 높이는 결과를 초래하며, 이 때 사용되는 위상요소들 또한 데이터와 함께 전송되어야 한다는 점에서 대역폭 손실이 발생한다[2][3].

본 논문에서는 PTS 방식에 적용이 가능한 부가정보 전송방식 중의 하나인 Marking 알고리즘을 2패스 레일리 페이딩 채널에 적용하여 그 성능을 분석해 본다. 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 OFDM의 peak to average power ratio에 대하여 살펴보고, III장에서는 PTS 방식에 대하여 알아본다. IV장에서는 PTS 방식의 부가정보 전송 기법에 대하여 알아보고, 수신단에서의 신호검출방식에 대하여 알아본다. V장에서는 모의 실험을 통해 성능 분석을 하고 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. Peak to Average Power Ratio

길이가  $N$ 인 OFDM 데이터 블록을 다음과 같이 표기 하였을 때,  $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]^T$ , 이 식에서의  $N$ 은 부반송파의 개수를 의미한다,  $X$  벡터의 각 성분들은 서로 직교하는 부반송파집합,  $(f_n, n = 0, 1, \dots, N-1)$ 에 의해 변조되어진다. 이때, 전송되는 OFDM 신호의 복소 포락선은 다음과 같이 주어진다.

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} X_n e^{j2\pi f_n t}, \quad 0 \leq t \leq NT. \quad (1)$$

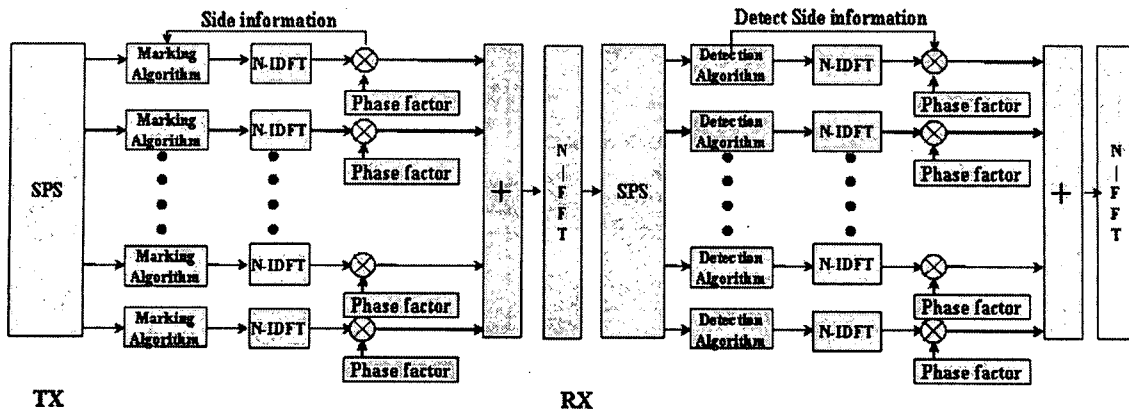
이 식으로부터 전송되는 OFDM 신호의 PAPR을 구해보면 다음과 같다.

$$PAPR = \frac{\max_{0 \leq t \leq NT} |x(t)|^2}{1/NT \cdot \int_0^{NT} |x(t)|^2 dt} \quad (2)$$

위 식을 통해 알 수 있듯이 PAPR의 감소는  $\max|x(t)|$ 를 줄이는 것과 관련되어 있다. 하지만 대부분의 시스템에서는 이산 시간 신호를 사용하기 때문에 좀 더 나은 PAPR 특성을 보기 위해서는 신호를 oversampling 해주어야 한다. Oversampling 된 time-domain 신호는 LN길이의 IDFT단을 통과하여 얻어지고, IDFT 단을 통과시켜 주기 전에 각 블록마다  $(L-1)N$  길이만큼 제로패딩을 시켜준다[4].

## III. Partial Transmit Sequence

PTS 방식은 <그림 1>에서 보는 바와 같이 입력 데이터 블록을 여러 개의 부 블록 또는 클러스터로 나누고, PAPR을 감소시키기 위해 각 부 블록에 최적의 가중요소를 곱해주는 방식이다. 입력 데이터 블록을 다음과 같이 표기할 때, 즉  $\{X_n, n = 0, 1, \dots, N-1\}$ , 이것은 다시 벡터  $X = [X_0, X_1, \dots, X_{N-1}]$ 로 나타내어 질 수 있다. 이 벡터는 다시  $M$ 개로 분리된 부분집합으로 나뉘어지며, 다음과 같이 벡터로 표기된다



<그림 2> 주파수 도메인 Marking 알고리즘이 적용된 PTS 방식을 사용하는 OFDM 블럭도

$\{X_m, m = 1, 2, \dots, M\}$ . 여기서 각 클러스터 혹은 부블럭들은 연속하는 부분송파 집합들로 구성되어 있으며, 같은 크기로 이루어져 있다고 가정한다. PTS 방식은 이렇게 나누어진 M개의 클러스터들을 최적화하여 결합하는 것을 그 목적으로 한다. 이를 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$X' = \sum_{m=1}^M b_m X_m \quad (3)$$

이 식에서  $\{b_m, m = 1, 2, \dots, M\}$ 은 위상 회전 요소를 의미한다. 이 식을 IDFT를 통해 시간축의 합수로 바꾸어 보면, 다음과 같다.

$$x = \sum_{m=1}^M b_m x_m \quad (4)$$

이 식에서  $x_m$ 은  $X_m$ 의 IDFT를 수행한 결과이며, 이것을 부분전송열이라 칭한다. 이 식에 사용된 위상 회전요소는  $x$ 을 최소화 하는 순열로 결정되어진다. 보

통 최적의 위상요소를 찾는 과정에서의 복잡도를 줄이기 위하여 위상요소 집합은 유한 개의 원소를 갖는 집합으로 제한된다.

만약, 입력 데이터 블록이 M개 부블럭으로 나뉘고, 위상회전요소 집합의 개수가 W라고 가정한다면, 첫째 부블럭을 제외한 나머지 M-1개의 부블럭들에 대하여 W가지의 위상 요소를 변화시켜 가면서 PAPR을 계산해 주어야 한다. 따라서, PTS 방식의 최적의 위상요소 결정을 위한 계산상의 복잡도는  $W^{M-1}$ 로 부블럭 개수가 증가함에 따라 지수함수적으로 증가하게 됨을 알 수 있다[5].

## IV. Embedded Side Information

송신단으로부터 보내진 신호를 올바르게 복원해 주기 위해서, 수신기는 송신기에서 사용된 위상회전 요소에 대한 정보를 알고 있어야만 한다. 이러한 정보는 데이터에 덧붙여져 추가적으로 보내지는 정보이기 때문에 대역폭 효율면에서 손실을 가져온다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법이 Cimini와 Sollenberger[6]에 의해 제안된 Marking algorithm이다. 이 알고리즘은 부가정보 또는 Marker를 전송되는 신호에 삽입해주고 수신단에서는 이 부가정보를 찾아내기 위해서 통계적인 결정방식을 사용한다.

Marking algorithm을 적용하기 위해서 다음과 같은 가정이 필요하다.

- 가정 1. 표본 데이터  $X[k]$ 의 성상은 M-ary PSK를 이루고, 그 크기  $|X[k]|$ 는 1이다.
- 가정 2. 위상 회전 요소  $b_m$ 은  $m=1,2,\dots,M$ 에 대하여, +1 또는 -1이 값을 취한다.

### 1. Marking algorithm

송신단에서 위상회전요소는 다음과 같은 과정을 통해 전송신호에 삽입되어진다. 만약,  $b_m$ 이 1인 경우, 알고리즘이 적용된 데이터 신호  $X'_m[k] = X_m[k]$ 와 같이 매핑되고, 그렇지 않을 경우  $X'_m[k] = X_m[k]e^{j\pi/M}$ 과 같이 매핑된다.

수신단에서, 수신된 신호는 가장 먼저 N-포인트 discrete Fourier Transform 이 수행되어지고, 채널에 의한 왜곡을 완화시켜주기 위해 등화기를 통과한다.

$Y_m[k], k=0, 1, \dots, (N/L)-1$ ,를 등화과정을 마친 신호라고 할 때, M-ary PSK 데이터에 대하여, 송신단에서 신호처리된 위상회전 요소  $b_m$ 은 다음과 같은 통계적인 신호결정과정을 거쳐 검출되어진다[6].

$$D_m = \sum_{k=0}^{N/M-2} (Y_m[k] Y_m^*[k+1])^M \quad (5)$$

위 식(5)는 아래와 같은 값을 갖는다.

$$D_m = \begin{cases} N/M-1, & \text{for } b_m = 1 \\ -(N/M-1), & \text{for } b_m = -1 \end{cases} \quad (6)$$

## 2. Detection scheme

식 (5)를 위한 다음 2가지의 검출 방식을 적용해 볼 수 있다.

1) 가장 간단한 접근 방법은  $Re[D_m]$ 을  $\pm 1$ 로 양자화하고 이를 각 부블럭에 대하여 결정을 내려주는 것이다. 이 방식은 간단하다는 장점이 있으나, 에러 정정을 할 수 없는 단점을 가지고 있다.

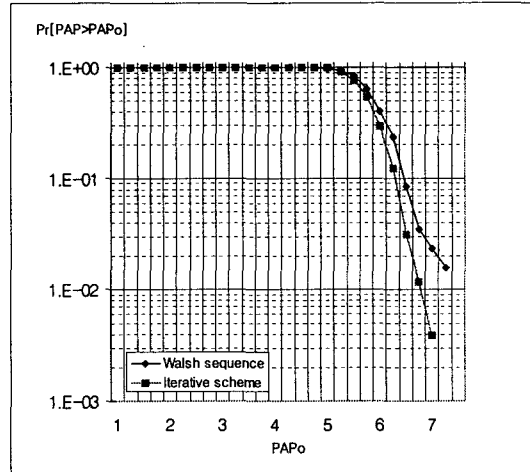
2) 식(5)에 대한 좀더 나은 성능을 보여주기 위해서 위상 순열 들을 알고 있는 코드로 대체 할 수 있다. 이 경우 PAPR특성은 다소 열화 되지만 알고있는 code들을 사용하여 에러 정정을 할 수 있는 장점이 있다. 만약 Walsh 코드를 사용할 경우에 Walsh 코드간의 해밍거리를 사용하면 수신된 위상 순열의 에러를 정정할수 있다. 위의 식 (6)을 사용하여 나온 각각 부블럭의 SI 값들을 알고 있는 코드인 16-Walsh code와 해밍거리와 비교하여 가장작은 해밍거리가 나온 것을 SI 순열로 사용한다. 이때 사용되는 16-Walsh code 의 최소해밍거리는 8로 4개의 에러까지 정정할수 있는 능력이 있다.

## V. Simulation result

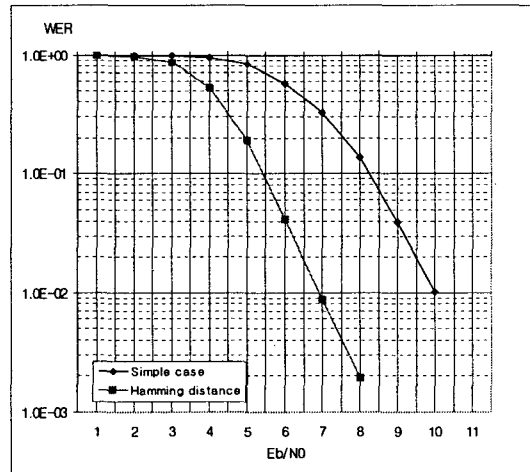
본 논문에서는 PTS 방식에 Marking 알고리즘을 적용하고 이를 2 path 레일리 페이딩 채널에 통과 시킴으로써 그 성능을 분석한다. 시뮬레이션에 적용된 파라미터들은 아래 <표 1>과 같다.

<표 1> 시뮬레이션에 적용된 파라미터

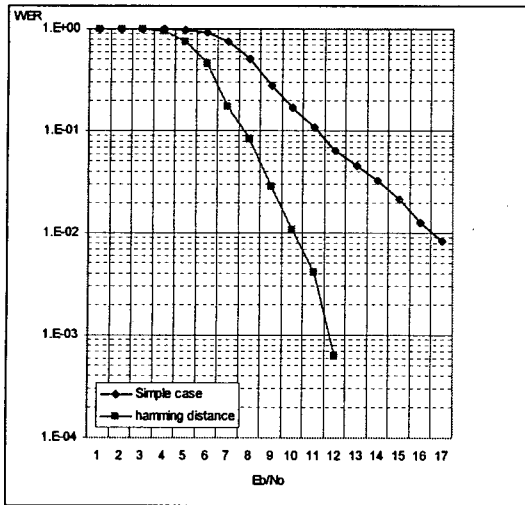
Parameter	Value
Number of subcarriers	128
Number of subblock	16
Subblock Partitioning Scheme	Adjacent
Modulation scheme	QPSK
Phase factor	+1,-1
Length of Walsh sequence	16
Data rate	20Mbps



<그림 3> Walsh sequence를 이용한 방식과 Iterative 방식과의 PAPR 성능 비교 곡선



<그림 4> AWGN 환경에서 Detection 방법에 따른 WER 성능 비교 곡선



<그림 5> 2 패스 레일리 채널에서 Detection 방법에 따른 WER 성능 비교 곡선

<그림 3>는 송신단에서 서로 다른 PTS 알고리즘간의 PAPR성능 곡선을 보여준다. 부블럭의 개수는 16개이고, 128개의 부반송파를 사용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 길이가 16인 Walsh sequence를 사용한 경우가 Iterative 방식을 적용시켰을 경우에 비해 다소 성능 열화를 보임을 알 수 있다. 하지만 walsh sequence를 사용했을 경우 코드간의 해밍거리를 이용 수신된 위상순열의 에러를 정정할 수 있다.

<그림 4>는 AWGN 채널 환경에서 서로 다른 detection 방식을 사용한 경우의 성능 비교 곡선이다. 그림에서 볼 수 있듯이  $10^{-2}$  WER에서 walsh sequence를 사용해 hamming distance를 이용했을 경우가, 단순한 detection 방식에 비해 3dB 정도 성능 향상을 보여준다.

<그림 5>는 2-패스 레일리 페이딩 채널에서 simple detection과 해밍거리를 이용한 detection 방법간의 성능을 비교 분석하였다.  $10^{-2}$  WER에서 해밍거리를 이용하여 detection 하였을 경우 simple detection 방법을 이용했을 경우보다 약 6.5dB 성능 향상을 보이는 것을 확인하였다.

그림 4와 5를 요약하면 아래 표와 같다.(WER= $10^{-2}$ )

<표 2> 채널에 따른 detection방법의 성능비교

	AWGN	Rayleigh
Simple case	10dB	16.5dB
Hamming distance	6.8dB	10dB

<표 2>에서 보는 바와 같이 AWGN 환경에서 해밍거

리를 사용한 방식은 simple detection 방식을 사용한 경우에 비해 약 3dB정도의 성능차를 보이지만 fading 환경의 경우 약 6.5dB의 성능 차이를 보이고 있다. 따라서 해밍거리를 사용한 방식은 fading 환경에 의한 영향을 조금 덜 받는다는 것을 알 수 있다.

## VI. 결론

본 논문에서는 PTS 방식에 추가적인 대역폭 없이 부가정보의 전송을 가능하게 하는 Marking 알고리즘을 적용하여 2 패스 레일리 채널에서 그 성능을 분석해 보았다. 그 결과 Marking 알고리즘을 이용하여 부가정보를 전송하는 경우,  $10^{-2}$  WER에서 detection 방식에 따른 성능차가 약 6.5dB 정도 발생함을 확인하였다. 또한 채널 변화에 따른 detection 방법의 성능은 해밍 거리를 계산해 주었을 때가 simple case에 비해서 좀 더 강인한 것을 알 수 있다.

본 연구는 대학 IT연구센터(인하 UWB-RC) 육성. 지원사업의 연구 결과로 수행되었음.

## 참고 문헌

1. Richard Van Nee and Ramjee Prasad. OFDM for Wireless Multimedia Communications. Arthch House Publishers. 2000.
2. S. H. Muller and J. B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences," Electronics Letter, vol. 33, no.5, pp. 368-369, Feb 1997.
3. S. H. Muller, R. W. Bauml, R. F. H. Fischer, and J. B. Huber, "OFDM with reduced peak to average power ratio by multiple signal representation," Annals of Telecommun., vol. 52, no. 1-2, pp. 58-67. Feb. 1997.
4. S. H. Muller and J. B. Huber, "A novel peak power reduction scheme for OFDM," Proc. of IEEE PIMRC'97, Helsinki, Finland, pp. 1090-1094, Sep. 1997.
5. L. J. Cimini, Jr., and N. R. Sollenberger, "Peak-to-Average Power Ratio Reduction of an OFDM Signal Using Partial Transmit Sequences," IEEE Commun. Letters, vol. 4, no. 3, pp. 86-88, March 2000.

6. L. J. Cimini, Jr. and N. R. Sollenberger,  
"Peak-to-average power ratio reduction of an  
OFDM signal using partial transmit sequence  
with embedded side information," Proc. IEEE  
GlobeCom'00, Nov. 2000, pp. 746-750