

높은 상호간섭 환경의 광무선통신에서 일반화된 공간변조 방식의 효율적인 후보 활성화 패턴집합 생성방법

김정현* · 홍성훈**

An Efficient Candidate Activation Pattern Set Generation Scheme for GSM in Optical Wireless Communication with High Interference Environment

Jung-Hyun Kim* · Sung-Hun Hong**

요 약

OWC-MIMO시스템에서 GSM변조기법은 송·수신기의 위치에 따라 상호 간섭이 큰 환경에서 성능 최적화를 위한 활성화 패턴집합을 선택하는 과정이 중요하다. 하지만, 높은 연산 복잡도로 인해 최적의 활성화 패턴 집합을 선택하는 과정에서 높은 비용을 지불한다. 본 논문에서는 전송 활성화 패턴집합 선택을 위한 후보 활성화 패턴집합 생성 시 기본 활성화 패턴집합을 미리 결정하는 방식을 통해 후보 활성화 패턴 집합의 수를 감소시키는 방법을 제안한다. 모의실험 결과, 제안된 방법은 높은 간섭 환경에서 일반적인 GSM변조기법과 비교할 때 동일한 BER성능과 약 90%정도 감소된 후보 활성화 패턴집합의 수를 가져 복잡도가 크게 감소함을 확인하였다.

ABSTRACT

In the GSM method for OWC-MIMO System, it is important to select an activation pattern set(: APS) for the performance optimization in the environment where mutual interference is high depending on the location of the transmitter and receiver. However, due to the high computational complexity, a high cost is paid in selecting the transmission APS. In this paper, we propose a method to reduce the candidate APS by pre-determining basic APS when generating candidate APS. The simulation results show that the proposed method has the same BER performance and reduce the computational complexity by 90% compared to the general GSM method in the high interfering environment.

키워드

OWC, MIMO, GSM, Activation Pattern Set(APS)
광무선 통신, 다중 입출력 시스템, 일반화된 공간 변조, 활성화 패턴 집합

* 한국광기술원 μ LED연구센터(junghyunkim@kopti.re.kr) • Received : Sep. 02, 2019, Revised : Sep. 23, 2019, Accepted : Oct. 15, 2019

** 교신저자 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부

• Corresponding Author : Sung-Hun Hong

• 접수일 : 2019. 09. 02

School of Electrical, Electronic Communication, and Computer Engineering,
Chonnam National University.

• 수정완료일 : 2019. 09. 23

Email : hsh@jnu.ac.kr

• 게재확정일 : 2019. 10. 15

I. 서론

다양한 산업, 과학 및 의료분야에서 사용되는 무선 통신 시스템의 주파수 스펙트럼은 매우 혼잡하여 상호 간 간섭에 의해 시스템 성능저하가 발생한다. 최근에는 자유공간에서 광 복사기술을 통해 정보를 전달하는 광무선통신(Optical Wireless Communication - OWC)기술이 본 문제의 대안이 될 수 있는 연구영역으로 알려져 있다[1-3]. OWC기술에 적용되는 Light Emitting Diode(: LED)는 긴 수명 및 낮은 소비전력이라는 장점과 함께 On/Off 제어가 가능하기 때문에 OWC시스템에서 데이터를 전송하는 송신단으로 적용 가능하다[4].

실제 OWC시스템이 설치되는 사무실, 가정 등과 같은 환경은 충분한 조명을 제공하기 위해 일반적으로 여러 개의 LED Array가 배치되기 때문에 Multiple-Input Multiple-Output(: MIMO) 기법을 OWC에 적용하는 것은 실현 가능하다. 실내 공간에서 활용되는 MIMO기술은 Line-Of-Sight(: LOS) 환경이 대다수를 차지하기 때문에 Repetition Code(: RC)와 같은 diversity gain을 얻으려는 변조방식 보다 multiplexing gain을 얻는 Spatial Multiplexing(: SMP)와 Spatial Modulation(: SM)방식이 더 우수하다고 알려져 있다[5-6]. 특히, 수십에서 수백개의 LED가 적용 가능한 광무선통신의 시스템을 고려한다면 SM방식이 광무선통신시스템을 위한 효과적인 변조방식이며 이와 관련된 연구가 다양하게 진행중이다[7-9].

OWC-MIMO시스템은 Intensity Modulation - Direction Detection(: IM-DD)의 기저대역 통신을 적용하기 때문에 변·복조 과정에서 음수 및 복소수값을 사용하지 않는다. 즉, Pulse Amplitude Modulation(: PAM)과 같이 양의 실수값을 가지는 신호 집합을 기반으로 LED 세기 변조를 고려한다. 이러한 기반 위에 Space Shift Keying(: SSK)와 그 일반화 기법 [10-11]이 제안되었으며, SM기법의 일반화인 General Spatial Modulation(: GSM)기법[12]이 연구되고 있다. 특히 GSM기법은 SMP기법의 공간 다중화 데이터 스트림과 비교하였을 때, 다수개의 LED 중 활성화 LED를 선택 가능하기 때문에 동일한 전송효율 환경에서 BER성능이 우월함을 확인하였다.

OWC-MIMO시스템에 적용되고 있는 GSM변조기

법은 다수 개의 활성화 패턴집합들의 각 성능이 채널 환경에 따라 다르기 때문에 전송 활성화 패턴집합의 선택이 중요하다. 하지만, 전송 LED수가 증가하면 전송 활성화 패턴집합 선택을 위한 후보 활성화 패턴집합의 수가 기하급수적으로 증가해 연산 복잡도가 증가하는 문제점이 있다. 본 논문에서는 낮은 연산 복잡도를 가지는 전송 활성화 패턴집합을 선택하는 효율적인 방법을 제안한다. 본 논문의 2장은 OWC-MIMO시스템 모델을 살펴보고, 3장에서는 GSM변조 기법과 후보 활성화 패턴집합 생성과정을 나타낸다. 4장에서는 GSM변조기법을 위한 효율적인 후보 활성화 패턴집합 생성방법을 제안하며, 5장에서는 연산 복잡도와 성능 측면에서 성능평가 결과를 제시하고 6장에서 결론을 논한다.

II. 시스템 모델

OWC-MIMO시스템 모델링을 위해 N_t 개의 송신 LED들과 N_r 개의 수신 PD들로 구성된 채널을 고려하였다. $N_t \times N_r$ OWC-MIMO시스템의 채널 행렬 \mathbf{H} 는 수식 (1)과 같이 표현된다.

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1N_r} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2N_r} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{N_t1} & h_{N_t2} & \dots & h_{N_tN_r} \end{bmatrix} \quad (1)$$

h_{ij} 는 j 번째 송신 LED와 i 번째 수신 PD 사이 채널 이득을 의미하며, h_{ij} 는 수식 (2)와 같이 계산한다.

$$h_{ij} = \frac{n+1}{2\pi} \cos^n(\phi_{ij}) \cos(\theta_{ij}) \frac{A}{R_{ij}^2} \text{rect}\left(\frac{\theta_{ij}}{FOV}\right) \quad (2)$$

ϕ_{ij} 는 j 번째 LED에서의 방사각이다. n 은 Lambertian emission의 차수로 $\frac{-\ln(2)}{\ln \cos \Phi_{1/2}}$ 로 구할 수 있으며, $\Phi_{1/2}$ 는 LED의 반전력 반치각이다. θ_{ij} 는 i 번째 수신 PD의 입사각이며, A 는 PD의 검출 면적이다. R_{ij} 는 j 번째 LED와 i 번째 PD 사이의 거리를 의미하며 FOV 는 PD의 화각을 나타낸다. $\text{rect}(x)$ 는 $|x| \leq 1$ 일 경우 $\text{rect}(x) = 1$ 로 변환하며, $|x| > 1$ 일 경우 $\text{rect}(x) = 0$ 으로 변환하는 함수이다. 채널 이득이 포함된 송신 신호 $\mathbf{x} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_{N_t}]^T$ 와 수신 신호 $\mathbf{y} = [y_1 \ y_2 \ \dots \ y_{N_r}]^T$ 의 관계는 수식 (3)과 같이 표현된다.

$$\mathbf{y} = \beta \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{n} \quad (3)$$

$x_j, j=1,2,\dots,N_t$ 는 j 번째 송신 LED에서 전송되는 신호이며, $y_i, i=1,2,\dots,N_r$ 은 i 번째 수신 PD에서 수신되는 신호를 의미한다. \mathbf{n} 은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 실수 가우시안 잡음이며, β 는 PD의 응답성이다.

III. GSM 변조기법

3.1 OWC-MIMO시스템에서 GSM변조기법

GSM의 전송비트는 PAM으로 변조된 심볼이 N_a 개의 활성화된 LED를 통해 전송되는 정보 뿐만 아니라 활성화 LED의 인덱스도 전송되는 정보비트에 포함된다. 각 활성화된 LED에서 방출되는 M -ary PAM 심볼 I_m 은 PAM 심볼 집합 M 에 속하며 수식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$I_m = \frac{2I_p m}{|M|+1}, \quad m = 1, 2, \dots, |M| \quad (4)$$

여기서 $|M|$ 은 PAM 심볼 집합의 원소 총 수이며 I_p 는 LED에서 방출되는 평균전력이다. GSM변조기법으로 총 가능한 후보 활성화 패턴 집합의 수는 전송 가능한 활성화 패턴 (N_t, N_a) 개에서 $2^{\lfloor \log_2(N_t, N_a) \rfloor}$ 개를 선택하는 조합의 수를 의미한다. 즉, 후보 활성화 패턴 집합 $((N_t, N_a), 2^{\lfloor \log_2(N_t, N_a) \rfloor})$ 개 중 하나를 전송 활성화 패턴 집합으로 최종 선택한다. 이렇게 선택된 전송 활성화 패턴 집합에 총 가능한 PAM 심볼을 적용한 벡터들의 집합을 $S_{N_t, N_a, |M|}$ 로 표시하며, 이는 $2^{\lfloor \log_2(N_t, N_a) \rfloor} \times |M|^{N_a}$ 개의 벡터로 구성된 GSM의 전송 벡터 집합이 된다.

예를 들어 $N_t = 4, N_a = 2$ 이고 $|M|=2$ 인 경우 활성화 패턴은 $(4, 2) = 6$ 개이며, 여기서 $2^{\lfloor \log_2(4, 2) \rfloor} = 4$ 개가 하나의 후보 활성화 패턴 집합으로 선택되어 후보 활성화 패턴 집합의 수는 $(6, 4) = 15$ 개가 된다. 그리고, 그 중 선택된 하나의 전송 활성화 패턴 집합에 $I_p = 1$ 로 고려할 경우 $I_1 = \frac{2}{3}$ 와 $I_2 = \frac{4}{3}$ 이며, 최종 전송 벡터 집합 $S_{4,2,2}$ 은 16개의 벡터로 구성된다. 최종 선택되어 전송되는 벡터 집합 $S_{1,2,2}$ 를 이용한 GSM변조방식은 그림 1와 같이 표현된다.

그림 1을 통해 GSM변조방식에서 입력의 첫 번째

두 비트 『10』는 활성화 되는 LED들의 인덱스인 [2,4]를 가르키며, 두 번째 두 비트 『01』은 각 활성화 LED에서 방사된 PAM 심볼 [2/3, 4/3]을 표현한다.

1 st Pair Bit	LED Activation Index	2 nd Pair Bit	PAM Symbol (Intensity Level)
00	[1,2]	00	[2/3, 2/3]
01	[1,3]	01	[2/3, 4/3]
10	[2,4]	10	[4/3, 2/3]
11	[3,4]	11	[4/3, 4/3]

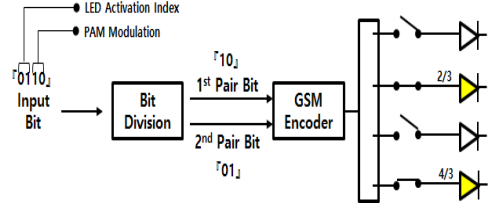


그림 1. 전송벡터집합 $S_{4,2,2}$ 을 이용한 GSM 송신기
Fig. 1 GSM transmitter using $S_{4,2,2}$

3.2 전송 활성화 패턴집합 선택

GSM변조기법은 전송 활성화 패턴집합의 선택으로 $S_{N_t, N_a, |M|}$ 을 결정하기 때문에 그 선택과정은 중요하다. 일반적으로 OWC-MIMO시스템에서는 송·수신부가 고정되어 채널행렬 \mathbf{H} 가 결정되기 때문에 주어진 채널 환경에서 후보 활성화 패턴 집합들의 평균 유클리디언 거리가 최대가 되는 후보 활성화 패턴 집합을 전송 활성화 패턴 집합으로 선택하는 것이 GSM변조기법의 성능을 최대화 할 수 있다. 그림 2는 $N_t = 4, N_a = 2$ 경우에서 전송을 위한 후보 활성화 패턴 집합의 생성 과정을 표현하였으며, 그림 3에서는 후보 활성화 패턴 집합들에서 하나의 전송 활성화 패턴 집합을 선택하기 위해 모든 후보 활성화 패턴 집합들의 평균 유클리디언 거리를 계산하는 과정을 의사코드로 표현하였다.

여기서 $\mathbf{A}_k, k=1, 2, \dots, ((N_t, N_a), 2^{\lfloor \log_2(N_t, N_a) \rfloor})$ 는 연산을 위한 후보 활성화 패턴 집합들이며, $ave()$ 함수는 입력 벡터나 행렬의 평균값 계산 함수를 의미한다.

전송 활성화 패턴 집합 선택을 위한 후보 활성화 패턴 집합의 수는 $((N_t, N_a), 2^{\lfloor \log_2(N_t, N_a) \rfloor})$ 개로 송신 LED 수인 N_t 가 증가할수록 그 수가 크게 증가한다. 예를 들어 N_t 가 4일 때 후보 활성화 패턴 집합의 수는 15개에 불과하지만 N_t 가 8으로 증가할 경우 후보 활성화 패턴의 수는 30,421,755개로 증가하고 N_t 가 10일 경우에는 73,006,209,045개로 증가하여 각 후보 활성화 패

턴집합의 평균 유클리디언 거리를 계산하여 전송 활성화 패턴집합을 찾기에는 연산 복잡도가 너무 높아 이에 대한 해결방안이 필요하다.

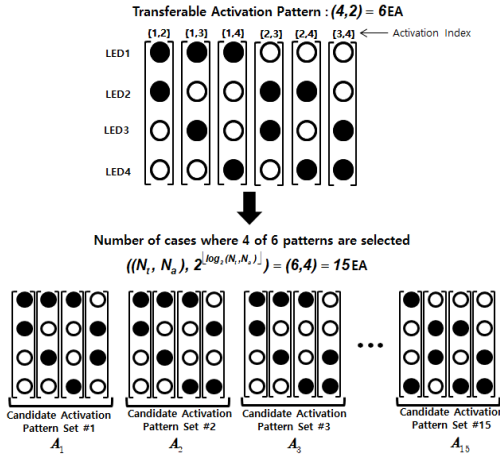


그림 2. 후보 활성화 패턴집합 생성 과정
Fig. 2 Generation of candidate activation pattern set

```

function  $[O] = APsel(A_k, H, N_t, N_a)$ 
1.  $L = (N_t, N_a)$ ;  $M = 2^{\lceil \log_2(N_t N_a) \rceil}$ ;  $N = (L, M)$ ;
2.  $\alpha = 0$ ;  $Num = 0$ ;
3. for  $k=1:N$ 
4.    $C = A_k$ ;
5.   for  $i=1:M$ 
6.     for  $j=1:M$ 
7.       if  $i < j$ 
8.          $a = \alpha + 1$ ;
9.          $tmp(a) = \|H \cdot (C(:,i) - C(:,j))\|^2$ ;
10.        end
11.      end
12.    end
13.     $Metric = ave(tmp(1,:))$ ;
14.    if  $Metric > Num$ 
15.       $Num = Metric$ ;
16.       $O = C$ ;
17.    end
18. end
    
```

그림 3. 전송 활성화 패턴집합 선택의 의사코드
Fig. 3 Pseudo code for transmission activation pattern set selection

IV. 제안된 후보 활성화 패턴집합 생성 기법

GSM변조기법에서 전송 활성화 패턴집합의 선택은 각 후보 활성화 패턴집합의 평균 유클리디언 거리를 모두 계산하기 때문에 높은 연산 복잡도 문제를 가지고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 제안된 방법은 기본 활성화 패턴집합을 먼저 결정하고 이에 따른

가중치 활성화 패턴집합을 결정한 후 두 패턴집합을 결합하는 과정을 통해 전송 활성화 패턴집합을 선택하기 위한 후보 활성화 패턴집합의 수를 감소시켰다.

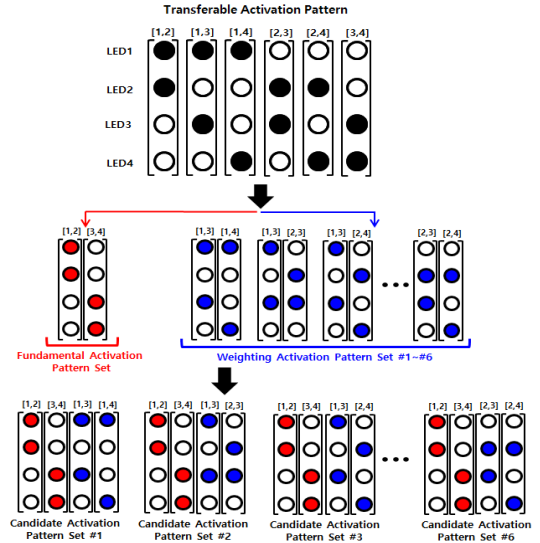


그림 4. 제안된 후보 활성화 패턴집합 생성과정
Fig. 4 Generation of proposed candidate activation pattern set

제안된 후보 활성화 패턴집합의 선택기법은 다음과 같은 과정을 따른다.

- 전송 가능한 활성화 패턴 (N_t, N_a) 개 중 선택하는 활성화 패턴의 인덱스가 LED 위치를 균등하게 채울 수 있는 활성화 패턴 α 개를 선택하여 기본 활성화 패턴 집합을 생성한다. 예를 들어 $N_t = 4$ 인 경우, 활성화 패턴 인덱스가 [1,2]와 [3,4]에 해당하는 활성화 패턴을 선택하고 $\alpha = 2$ 인 하나의 기본 활성화 패턴집합을 생성한다.
- $((N_t, N_a) - \alpha, 2^{\lceil \log_2(N_t N_a) \rceil} - \alpha)$ 개의 가중치 활성화 패턴집합의 수를 전송 가능한 활성화 패턴에서 기본 활성화 패턴집합이 포함한 활성화 패턴을 제외한 패턴인 $(N_t, N_a) - \alpha$ 에서 $2^{\lceil \log_2(N_t N_a) \rceil} - \alpha$ 개씩 조합하는 경우의 수이다. 예를 들어 $N_t = 4$ 인 경우 (4,2) = 6개의 전송 가능한 활성화 패턴이 생성되고, 기본 활성화 패턴집합 내 활성화 패턴 수인 $\alpha = 2$ 를 제외한 4개의 활성화 패턴이 결정된다. 이후, 결정된 4개에서 2개의 활성화 패턴을 조합하는 모든 경우의 수인 (4,2) = 6이 가중치 활성화 패턴집합의 수가 된다.

- 생성된 기본 활성화 패턴집합 1개와 가중치 활성화 패턴집합 $((N_t, N_a) - \alpha, 2^{\lfloor \log_2(N_t, N_a) \rfloor} - \alpha)$ 개를 각각 결합하여 전송을 위한 최종 활성화 패턴집합 선택을 위한 후보 활성화 패턴집합으로 활용한다. 즉, 가중치 활성화 패턴집합의 수와 후보 활성화 패턴집합의 수는 동일하지만, 그 내부의 패턴의 수는 다르다.

그림 4는 $N_t = 4, N_a = 2$ 인 경우 제안된 후보 활성화 패턴집합을 생성하는 과정을 표현하였으며, 생성된 후보 활성화 패턴집합 중 전송 활성화 패턴집합을 선택하는 과정은 그림 3과 동일하다.

V. 모의실험 결과

모의실험 환경은 4x4 및 6x6 MIMO 환경에서 송신 LED와 수신 PD의 위치에 따른 간섭 환경을 조성하여 GSM의 후보 활성화 패턴집합에서 전송 활성화 패턴집합의 선택이 GSM 변조기법의 성능에 미치는 영향을 살펴봄, 후보 활성화 패턴집합의 수 측면에서 제안된 방식의 복잡도 성능을 분석한다. 마지막으로 제안된 방식과 일반적인 GSM 변조기법의 BER 성능 비교를 진행한다. 모의실험 환경에서 MIMO 채널 계수 값은 수신단에서 알고 있다고 가정하였으며, PAM 변조 및 다중화된 MIMO 스트림 간섭제거를 위해서는 Maximum Likelihood(ML) 검출기법을 적용하였다. 이외에 추가적인 모의실험 환경인 천장과 바닥간 거리는 2m, LED 반전력 반치각 60°, PD FOV 70° 및 PD 응답성은 1로 설정하였다. 그림 5는 모의실험 시 간섭환경 생성을 위한 수신 PD의 위치 변화를 표현하였으며, 수신 PD 원의 반지름이 작으면 송·수신 사이 간섭이 높고 반지름을 증가시켜 송신 LED 원의 반지름과 수신 PD 원이 반지름의 차이를 줄이면 송·수신 사이 간섭이 줄어들게 되는 환경을 나타낸다.

그림 6은 4x4 MIMO 및 $N_t = 4, N_a = 2$ GSM 기법 적용 시 간섭환경 변화에 따른 활성화 그룹 선택의 성능비교 모의실험 결과이다. 그림 6에서 보이는 바와 같이 송신 LED 위치 원의 반지름과 수신 PD 위치 원의 반지름의 차이가 없는 환경에서는 유클리디언 거리 계산을 통한 전송 활성화 패턴그룹을 찾아내는

과정이 BER 성능에 영향을 주지 않는다. 하지만, 다중화되어 들어오는 신호의 간섭이 심한 경우 (송신 LED 위치 원의 반지름과 수신 LED 위치원의 반지름 차이가 큰 간섭환경인 경우) 후보 활성화 패턴집합에서 최대와 최소 유클리디언 거리에 해당하는 후보 활성화 패턴집합을 전송 활성화 패턴집합으로 선택할 시 둘 간의 BER 성능 차이는 10dB 이상 발생한다. 즉, 높은 간섭 환경에서 GSM 기법 사용시 후보 활성화 패턴집합 중 전송 활성화 패턴집합의 선택은 의미 있고 중요한 과정임을 보여준다.

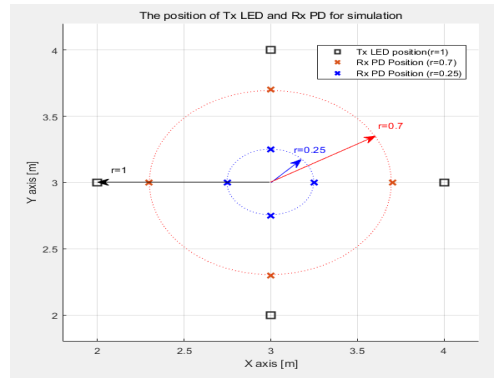


그림 5. 모의실험을 위한 LED 및 PD의 위치
Fig. 5 The position of LED and PD for simulation

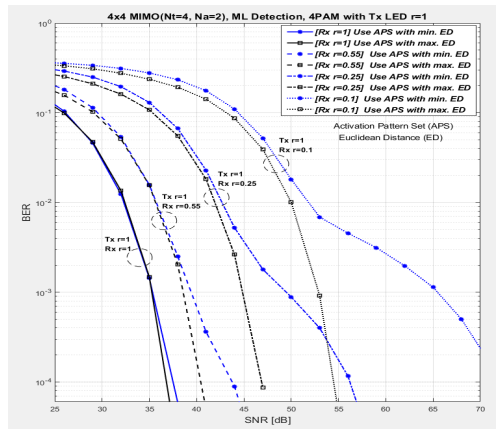


그림 6. 4x4 MIMO 및 $N_t = 4, N_a = 2$ GSM 기법 적용시 간섭환경에 따른 전송 활성화 패턴집합 선택 성능비교

Fig. 6 Performance comparison of transmission APS selection according to interference environment in 4x4 MIMO and $N_t = 4, N_a = 2$ GSM technique

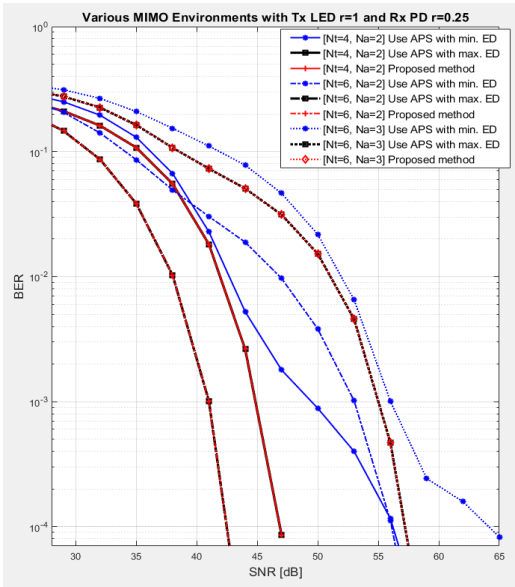


그림 7. 다양한 MIMO/GSM기법에서 일반적인 활성화와 패턴집합 선택 방법과 제안된 방식의 성능비교
 Fig. 7 Performance comparison of general APG selection and proposed method in various MIMO, GSM environments

그림 7은 다양한 MIMO/GSM기법에서 유클리던 거리가 최대 및 최소에 해당하는 전송 활성화 패턴집합 선택의 성능과 복잡도를 감소시킨 제안된 기법의 성능비교 결과이다. 그림 7에서 보이는 바와 같이 4x4 MIMO 환경뿐만 아니라 6x6 MIMO 환경에서 $N_t=4, N_a=2$ 와 $N_t=6, N_a=2$ GSM기법이 적용시 제안된 방식의 전송 활성화 패턴집합 선택과 높은 복잡도의 일반적인 GSM변조기법의 전송 활성화 패턴집합 선택방법이 동일한 전송 활성화 패턴집합을 선택하여 성능차이가 발생하지 않으며, 평균 유클리던 거리가 최소에 해당하는 전송 활성화 패턴집합의 선택과 비교시 약 10dB 정도의 성능이득이 발생한다. 또한, 6x6 MIMO 환경에서 $N_t=6, N_a=3$ GSM변조기법 사용시에도 일반적으로 사용하는 전송 활성화 패턴집합 선택기법과 제안된 방식이 동일한 전송 활성화 패턴집합을 선택하고, 가장 성능이 낮은 활성화 패턴집합과 비교시 8dB 이상의 성능이득이 발생한다.

전송 활성화 패턴집합 선택을 위한 후보 활성화 패턴집합의 수는 Tx LED 수인 N_t 와 활성화 되는 LED 수인 N_a 에 의해서 결정되며, $((N_t, N_a) - \alpha, 2^{\lfloor \log_2(N_t, N_a) \rfloor} - \alpha)$ 개

의 일반적인 GSM기법 내에서 사용되는 후보 활성화 패턴집합의 수와 $((N_t, N_a) - \alpha, 2^{\lfloor \log_2(N_t, N_a) \rfloor} - \alpha)$ 개의 제안된 방식의 후보 활성화 패턴집합의 수로 표현된다. 그림 8은 일반적인 GSM에서 전송 활성화 패턴 선택을 위한 후보 활성화 패턴집합의 수와 제안된 방식의 후보 활성화 패턴집합의 수를 N_t 와 $N_a=2$ 인 경우를 비교하여 복잡도 성능을 평가한 결과이다. 그림 8의 왼쪽 Y축은 일반적인 GSM기법의 후보 활성화 패턴집합의 총 수를 나타내며, 오른쪽 Y축은 제안된 기법의 후보 활성화 패턴집합의 총 수를 일반적인 GSM기법의 후보 활성화 패턴집합의 총수로 나눈 값인 P 를 의미한다. 즉, P 값이 1보다 작으면 제안된 기법의 후보 활성화 패턴집합의 총 수가 일반적인 GSM 기법의 후보 활성화 패턴집합의 총 수보다 적음을 의미하며, P 값을 통해 제안된 기법의 복잡도가 일반적인 GSM 방식과 대비하여 어느 정도 감소했는지 판단하는 지표가 된다. 그림 8에서 보이는 바와 같이 P 값은 평균 0.1 이하의 값을 가지고 있으며, 특별한 경우에도 0.3을 넘어가지 않는다. 즉, 제안된 방식의 연산 복잡도는 일반적인 GSM 방식과 비교하여 평균 90%이상 감소된 후보 활성화 패턴 집합의 수를 가져 그 연산 복잡도가 크게 감소됨을 알 수 있다.

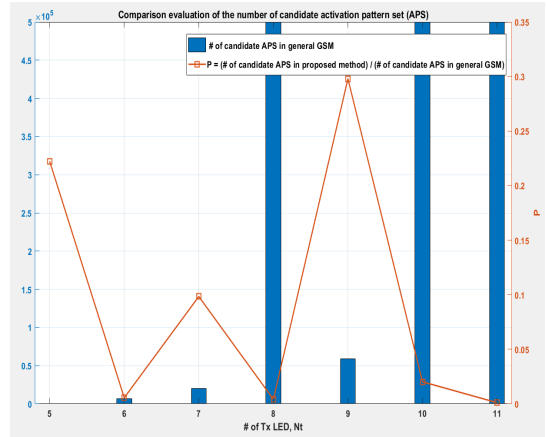


그림 8. 일반 GSM과 제안된 방식의 후보 활성화와 패턴집합의 수의 비교

Fig. 8 Comparison evaluation of the number of candidate APS in general GSM method and proposed method, respectively

VI. 결론

본 논문에서는 높은 간섭 환경의 OWC-MIMO 시스템에 사용되는 GSM 변조기법에서 전송을 위한 활성화 패턴집합의 선택의 중요성에서 대해서 살펴보았으며, 후보 활성화 패턴집합들에서 하나의 전송 활성화 패턴집합을 선택하는 과정에서 발생하는 연산 복잡도를 감소시키기 위한 후보 활성화 패턴집합의 수를 감소시키는 방법을 제안하였다. 모의실험 결과 제안된 방식은 일반적인 GSM 방식과 동일한 BER 성능을 얻었으며, 연산 복잡도는 후보 활성화 패턴집합 수 비교를 통해 성능평가 결과 약 90% 이상 감소됨을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 문화체육관광부의 문화기술 개발지원사업(R2018020026)의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] H. Elgala, R. Mesleh, and H. Haas, "Indoor optical wireless communication: potential and state-of-the-art," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 9, Sep.2011, pp.56-62.
- [2] T. Jang, J. Kwon, Y. Kim, and C. Park, "A LED Light Communication Transceiver Module for Ubiquitous Sensor Networks," *Journal of the KIECS*, vol.7, No.6, Dec.2012, pp.1513-1518
- [3] J. Kim and W Lee, "An User-aware System using Visible Light Communication," *Journal of the KIECS*, vol.14, No.4, Aug. 2019, pp.715-722
- [4] D. O'Brien, "Visible light communications: challenges and potential," *In Proc. IEEE Photon. Conf.*, Virginia USA, Oct. 2011, pp. 365-366.
- [5] R.Mesleh, R. Mehmood, H. Elgala, and H.Haas, "Indoor MIMO optical wireless communication using spatial modulation," *Proc. IEEE ICC 2010*, Cape-Town South Africa, May.2010, pp.1-5.
- [6] T. Fath and H. Hass, "Performance comparison of MIMO techniques for optical wireless communication in indoor environment," *IEEE Trans. Commun.*, vol.61 no.2, Feb.2013, pp.733-742.
- [7] R. Mesleh, H. Elgala, R. Mehmood, and H. Haas, "Performance of Optical Spatial Modulation with Transmitters-Receiver Alignment," *IEEE Commun. Letters*, vol.15, Jan. 2011, pp.79-81.
- [8] M. D. Renzo, H. Hass, A. Ghayeb, S. Sugiura, and L. Hanzo, "Spatial Modulation for Generalized MIMO:Challenges, Opportunities, and Implementation," *Proc. of the IEEE*, Vol. 102, No. 1, Jan. 2014, pp. 56-103.
- [9] P. Yang, M. Di Renzo, Y. Xiao, S. Li, and L. Hanzo, "Design Guidelines for Spatial Modulation," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, Vol. 17, No. 1, Mar. 2015, pp. 6-26.
- [10] Y. Gong, L. Ding, Y. He, H.Zhu, and Y.Wang, "Analysis of space shift keying modulation applied to visible light communications," *Proc. IETICT 2013*, Apr. 2013, pp.503-507.
- [11] W. O. Popoola, E.Pove, and H. Haas, "Error performance of generalised space shift keying for indoor visible light communications," *IEEE Trans. Commun.*, vol.61 no.5, pp.1968-1976, May 2013
- [12] S. P. Alaka, T.Lakshmi Narasimhan, and A. Chockalingam, "Generalized spatial modulation in indoor wireless visible light communication," *Proc. IEEE GLOBECOM 2015*, San Diego, USA, Dec. 2015

저자 소개

김정현(Jung-Hyun Kim)



2007년 한국항공대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)

2009년 과학기술연합대학교 대학원 이동통신 및 디지털방송공학과 졸업(공학석사)

2017년 전남대학교 전자컴퓨터공학과(박사수료)

2009년~2010년 한국전자통신연구원 연구원

2010년~2013년 Motorola Korea 주임연구원

2013년~2015년 LG전자 선임연구원

2015년~현재 한국광기술원 선임연구원

※ 관심분야 : 광무선통신시스템, 영상처리, 멀티미디어 시스템

홍성훈(Sung-Hun Hong)



1988년 영남대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1999년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1991년~2000년 LG전자 DTV연구소 책임연구원

2000년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야 : 영상처리, 영상부호화, 멀티미디어 시스템