

쿼터너리 준직교 시퀀스를 이용한 개선된 일반화된 공간 변조 기법

김 호 준*, 상 위 롱*, 정 태 진^o

An Improved Generalized Spatial Modulation Scheme Using Quarternary Quasi-Orthogonal Sequences

Hojun Kim*, Yulong Shang*, Taejin Jung^o

요 약

기존의 일반화 공간변조 (GSM : Generalized Spatial Modulation)는 기존의 SM의 전송량 증대를 위해 다수의 활성화된 송신안테나들, 즉 RF 체인들이 필요하게 된다. 이와 같은 높은 RF 복잡도를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 2개의 RF 체인만을 사용하는 기존 GSM과 길이가 2인 Q-QOS (Quarternary Quasi-Orthogonal Sequences)들을 결합한 새로운 I-GSM (Improved-GSM)을 제안한다. 제안한 I-GSM은 기존의 다른 SM 기법들과 비교하여 수신 성능 및 RF 송신 복잡도 측면에서 큰 장점들을 갖는다.

Key Words : Spatial Modulation, Generalized Spatial Modulation, Quarternary Quasi-Orthogonal Sequences

ABSTRACT

Conventional generalized spatial modulation (GSM) activates simultaneously multiple transmit antennas in order to improve data throughput of original SM. In this letter, a new improved GSM (I-GSM) is presented by combining the GSM with only two active antennas and the quarternary quasi-orthogonal sequences of length two to solve the hardware

problem of the multiple RF chains. Comparing with the other SM schemes, the I-GSM has significant benefits in average error performances and/or their hardware complexities of the RF systems.

I. 서 론

기존의 SM (Spatial Modulation) 기법^[1-2]은 공간 비트들로 맵핑된 하나의 송신 안테나만을 이용하여 변조된 신호를 전송한다. 따라서 수신단에서는 ISI가 발생하지 않아 간단한 수신 복잡도를 가지게 된다. 하지만 주어진 전체 송신 안테나 개수로 전송 가능한 최대 공간 비트 수는 제한되어 있기 때문에 전체 비트 전송량이 작다는 단점이 있다.

이러한 이유로 공간 비트들을 두 개 이상의 송신 안테나들에 맵핑하여 기존 SM 보다 많은 공간 비트들을 전송하는 GSM (Generalized SM) 기법^[3]이 제안되었다. 또한 공간 비트들을 Q-QOS^[4] (Quarternary Quasi-Orthogonal Sequence)들에 맵핑하여 모든 송신 안테나들을 동시에 사용하는 Q-QOS-SM 기법^[5]도 제안되었다. 하지만 이와 같은 GSM 및 Q-QOS-SM 기법들은 전체 비트 전송량 측면에서 큰 장점이 있지만, 처음 제안된 SM 기법에 비하여 필요한 RF 체인 수가 증가한다는 문제점이 발생한다.

본 레터에서는 기존의 두 개의 활성화된 송신 안테나들을 사용하는 GSM과 길이가 2인 Q-QOS들을 결합하여 오로지 두 개의 RF 체인만을 사용하고, 더불어 수신 성능도 개선되는 새로운 I-GSM (Improved GSM) 기법을 제안하고자 한다.

II. 기존의 SM, GSM, Q-QOS-SM

그림 1은 기존의 SM들^[1-3,5]에 대한 송수신 블록도를 나타낸다. 먼저, 길이가 $n = n_q + n_a$ 인 입력 벡터 \mathbf{b} 는 처음 n_q 변조 비트들로 QAM 신호 x_q 를 발생하고, 나머지 n_a 공간 비트들로 SMM (Spatial Modulation Matrix)의 j 번째 열벡터 \mathbf{s}_j 를 선택하여 x_q 와 곱한 뒤 N_i 개의 송신안테나로 전송된다. 각 SM 기법은 구체적 SMM에 의하여 구분이 되며, $N_i = 4$ 인 경우 각

* 이 논문은 2014년 교육부와 한국연구재단의 지역혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014H1C1A1066568)

• First Author : Chonnam N. University Department of Electronics and Computer Engineering, friendlyguy@jnu.net, 학생회원

◦ Corresponding Author : Chonnam N. University Department of Electronics and Computer Engineering, tjjung@jnu.ac.kr, 종신회원

* Chonnam N. University Department of Electronics and Computer Engineering, wxshangyulong@gmail.com, 학생회원

논문번호 : KICS2017-06-186, Received June 30, 2017; Revised July 27, 2017; Accepted July 27, 2017

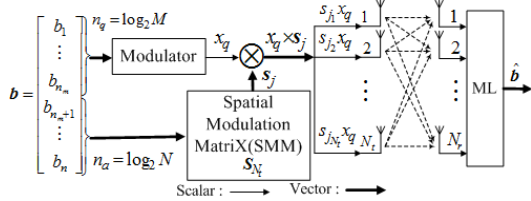


그림 1. 기존의 SM, GSM, Q-QOS-SM 블락도
Fig. 1. Block diagram for conventional SM, GSM and Q-QOS-SM

SMM은 아래와 같다.

$$S_4 = \begin{cases} I_4, & \text{SM}^{[1]} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}, & \text{GSM}(4,2)^{[3]} \\ Q_4, & \text{Q-QOS-SM}^{[5]} \end{cases} \quad (1)$$

여기에서 I_N 은 $N \times N$ 단위행렬이고, Q_N 은 길이가 N 인 총 N^2 개의 Q-QOS^[4]들로 구성된 $N \times N^2$ 행렬로서 서로 다른 Q-QOS간 최대 상관값 크기는 $|R_{max}| \cong \max_{j \neq k} |s_j^H s_k| = 1/\sqrt{N_t}$ ^[4]이다.

식 (1) 내 Q-QOS-SM 기법은 다른 SM 기법들에 비하여 낮은 $|R_{max}|$ 값으로 향상된 수신 성능을 보이지만, 총 N_t 개의 RF 체인들이 필요하다는 큰 단점이 존재한다. GSM 기법 역시 식 (1)에서는 두 개의 활성화된 송신 안테나, 즉 두 개의 RF 체인이 필요하지만, $N_t > 4$ 의 일반적인 경우 3개 이상의 RF 체인들⁽³⁾을 사용하게 되며, 따라서 동일한 RF 복잡도 문제점이 존재하게 된다.

III. 제안된 I-GSM 기법

본 레터에서 제안하고자 하는 I-GSM 기법은 먼저 기존의 GSM($N_t, 2$) 기반으로 2개의 활성화된 송신 안테나들을 선택한 뒤, 이 2개의 안테나들로 기존의 Q-QOS-SM 기법처럼 길이가 2인 총 4개의 Q-QOS, $Q_2 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & j & -j \end{bmatrix}$ 들중 하나의 시퀀스를 선택하여 전송하게 된다. 따라서 제안된 I-GSM 기법의 SMM, $S_{N_t}^{I-GSM}$ 은 다음과 같다.

$$S_{N_t}^{I-GSM} = [S_{N_t}^{GSM(N_t, 2)} \odot Q_2] \quad (2)$$

표 1. N_t 와 M 에 따른 SM들의 비교

Table 1. Comparison of the SMs with given N_t and M

Scheme	n	N_{RF}	$ R_{max} $
SM[1]	$\log_2 N_t + \log_2 M$	1	0
GSM(N_t, u)[3]	$\lfloor \log_2 C(N_t, u) \rfloor + \log_2 M u (\geq 2)$	$(u-1)/u$	$(u-1)/u$
Q-QOS-SM[5]	$2\log_2 N_t + \log_2 M$	N_t	$1/\sqrt{N_t}$
New I-GSM	$\lfloor \log_2 C(N_t, u) \rfloor + 2 + \log_2 M$	2	$1/\sqrt{2}$

여기에서 $S_{N_t}^{GSM(N_t, 2)}$ 는 기존 GSM($N_t, 2$)의 SMM 이고, \odot 은 $S_{N_t}^{GSM(N_t, 2)}$ 의 각 열벡터 내 두 개의 1의 원소 값들을 Q_2 로 치환하는 연산자이다. 한 예로, $N_t = 4$ 인 경우, 식 (1) 내 GSM(4,2)을 이용한 제안된 I-GSM의 SMM은 아래와 같다.

$$S_4^{I-GSM} = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & j & -j & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & j & -j \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & j & -j & 1 & -1 & j & -j & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (2)의 제안된 기법의 SMM은 총 $4C(N_t, 2)$ 의 열벡터들을 가지며, 총 $n_a = \lfloor \log_2 C(N_t, 2) \rfloor + 2$ 개의 공간 비트들이 전송되게 된다. 여기에서 $C(a, b) \equiv a!/[b!(a-b)!]$ 이고, $\lfloor \cdot \rfloor$ 는 내림 연산자이다. 또한 이 SMM의 각 열벡터간의 최대 상관값의 절대값은 $|R_{max}| = 1/\sqrt{2}$ 임을 쉽게 확인할 수 있다. 표 1은 주어진 N_t , $M(=2^{n_a})$ 값들에서, 각 SM 기법의 전체 전송 비트 수 n , 필요한 RF 체인의 수 N_{RF} , 그리고 $|R_{max}|$ 값들을 나타낸다.

먼저 제안된 I-GSM은 $u = 2$ 의 GSM과 비교하면, 2개의 추가 공간 비트들을 전송할 수 있다. 물론 GSM이 $u = \lfloor N_t/2 \rfloor$ 을 사용할 경우 높은 N_t 에서 더 많은 공간 비트 전송이 가능하지만, 대신 GSM에 비하여 $|R_{max}|$ 및 N_{RF} 가 증가되는 문제가 발생한다. 다음으로 $N_t = 2^m$ 으로 $2m$ 정보 비트들을 전송하는 Q-QOS-SM과 비교 시, 제안된 I-GSM은 $\lfloor \log_2 C(2^m, 2) \rfloor + 2 = \lfloor \log_2 (2^m - 1) \rfloor + m + 1 = 2m$ 으로 동일한 개수의 정보 비트 전송이 가능하다.

IV. 실험 결과 및 결론

본장에서는 아래 표 2의 SM 기법들에 대하여 성능 실험을 제시한다. 모든 전산 실험에서 $N_r = 4$ 으로 i.i.d. Rayleigh fading 채널 모델과 수신단에서 채널값들을 완벽히 안다는 가정으로 수행하였다.

그림 2는 $N_t = 4$ 이고 $n = 6, 10$ 비트일 경우의 각 SM의 BER 성능을 나타낸다. 먼저 제안된 I-GSM은 $BER = 10^{-4}$ 영역에서 기존의 SM 및 GSM(4,2)보다 3~4dB SNR 이득이 존재하고, Q-QOS-SM과는 거의 동일한 성능을 가진다. 이는 표 2처럼 I-GSM은 SM 및 GSM(4,2)에 비하여 n_a 에 두 비트를 추가로 보낼 수 있어 낮은 차수의 변조 사용이 가능하고,

표 2. N_t 와 n 에 따른 $M(n_a, N_{RF})$ 비교
Table 2. Comparison of $M(n_a, N_{RF})$ with given N_t and n

	$N_t = 4$	
	$n = 6$ bits	$n = 10$ bits
SM[1]	16(2,1)	256(2,1)
GSM(4,2)[3]	16(2,2)	256(2,2)
Q-QOS-SM[5]	4(4,4)	64(4,4)
I-GSM	4(4,2)	64(4,2)
	$N_t = 8$	
	$n = 8$ bits	$n = 12$ bits
SM[1]	32(3,1)	512(3,1)
GSM(8,2)[3]	16(4,2)	256(4,2)
GSM(8,4)[3]	4(6,4)	64(6,4)
Q-QOS-SM[5]	4(6,8)	64(6,8)
I-GSM	4(6,2)	64(6,2)

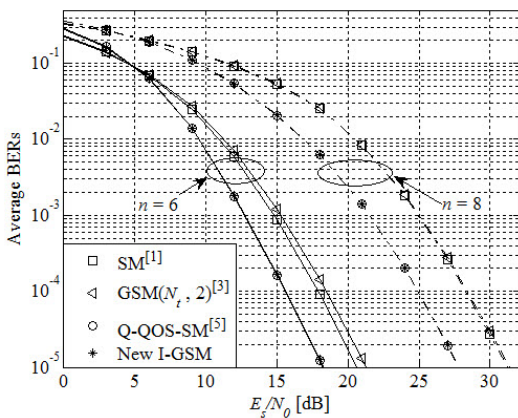


그림 2. $N_t = 4$ 이고 $n = 6, 10$ 비트일 경우 평균 BERs
Fig. 2. Average BERs for $N_t = 4$ and $n = 6, 10$ bits

Q-QOS-SM과는 동일한 n_a 로 동일한 차수의 변조 사용이 가능하기 때문이다.

그림 3은 $N_t = 8$ 이고 $n = 8, 12$ 비트일 경우의 성능을 나타낸다. 먼저 그림 2 실험 결과들과 거의 동일한 경향을 보이지만, Q-QOS-SM이 가장 좋은 성능을 보이는데, 이는 표 1과 같이 가장 작은 $|R_{max}|$ 을 가지기 때문이다. 하지만 제안된 I-GSM은 Q-QOS-SM과 성능 차이가 크게 발생하지 않고, 표 2와 같이 N_t 개의 RF 체인을 사용하는 Q-QOS-SM과 달리 오직 두 개의 RF 체인만을 사용하여 RF 복잡도 측면에서 큰 장점이 존재한다.

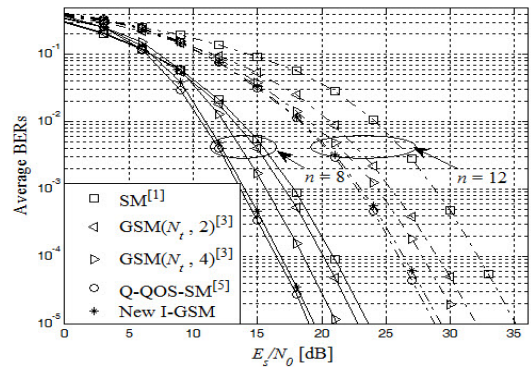


그림 3. $N_t = 8$ 이고 $n = 8, 12$ 비트일 경우 평균 BERs
Fig. 3. Average BERs for $N_t = 8$ and $n = 8, 12$ bits

References

- [1] R. Mesleh, H. Haas, S. Sinamovic, C. W. Ahn, and S. Yun, "Spatial modulation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 4, pp. 2228-2241, Jul. 2008.
- [2] Y. Shang, H. Kim, H. Kim, and T. Jung, "New PAPR reduction method for spatial modulation," *J. KICS*, vol. 39A, no. 1, pp. 12-18, Jan. 2014.
- [3] A. Younis, N. Serafimovski, R. Mesleh, and H. Haas, "Generalised spatial modulation," in *Proc. ASILOMAR*, pp. 1498-1502, Pacific Grove, US, Nov. 2010.
- [4] K. Yang, Y. K. Kim, and P. V. Kumar, "Quasi-orthogonal sequences for code-division multiple-access systems," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 46, no. 3, pp. 982-993, May 2000.

- [5] H. Kim, Y. Shang, and T. Jung, "New spatial modulation scheme using quaternary quasi-orthogonal sequence," in *Proc. IEEE Int. Conf. Cons. Electorn.*, pp. 1498-1502, Las Vegas, US, Jan. 2015.