

일반화된 공간천이변조 시스템에서 압축센싱기술을 이용한 수신신호 복호 알고리즘

박정홍, 반태원, 정방철*

경상대학교

jhpark.win@gnu.ac.kr, twban35@gnu.ac.kr, *bcjung@gnu.ac.kr

The Compressed Sensing Based Signal Detection Technique for Generalized Space Shift Keying Systems

Jeonghong Park, Tae-Won Ban, *Bang Chul Jung

Gyeongsang National Univ.

요약

본 논문은 GSSK를 위한 NCS 검출 기법의 성능을 개선할 수 있는 POMP와 POMP-Q의 두 가지 검출기법을 제안하고 그 성능을 분석한다. 기존의 NCS기법은 매 반복과정에서 수신 신호와 채널 행렬과의 상관도가 높은 인덱스를 송신신호의 0이 아닌 인덱스로 1개씩 선택하여 최종적으로 송신신호를 복호한다. 반면 POMP알고리즘은 복수 개(L) 선택한다. 그 후, 선택된 각각의 인덱스를 첫 번째 인덱스로 하는 L개의 POMP블럭에서 NCS 알고리즘 기법이 병렬적으로 동작한다. 마지막으로 입력된 신호 복원을 위해 잔차가 가장 작은 POMP블럭의 \hat{x} 를 최종 복원 신호로 선택한다. POMP 알고리즘은 NCS대비 L배의 선형복잡도 증가는 있지만 성능면에서 매우 효과적이다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 SNR에 따른 BER를 나타내었고, L이 증가함에 따라 NCS검출 기법에 비해 성능이 향상되는 것을 확인하였다. POMP-Q검출 기법은 NCS검출기법과 POMP검출기법에 비해 더 좋은 성능을 보이는 것을 확인하였다.

I. 서론

공간천이변조 기법(Space Shift Keying : SSK)[1]은 다중입·출력(Multiple-input and output : MIMO)환경에서 실제로 송신할 안테나의 인덱스를 이용하여 변조를 하는 기법으로 안테나를 항상 1개만 선택한다. 따라서 모든 안테나를 사용함으로써 발생하는 에너지 비효율성 문제, 안테나가 많아짐으로 인해 발생하는 송·수신단의 복잡도 문제, 그리고 인접 부호간의 간섭문제 등을 줄일 수 있는 대안으로 논의되고 있다. 하지만 안테나의 개수에 의해 전송률이 정해지는 공간천이변조 기법은 기존의 변조 방식에 비해 전송률이 제한적이다. 이런 단점을 보완하기 위하여 2개 이상의 전송안테나를 사용하는 일반화된 공간천이변조기법(Generalized Space Shift Keying : GSSK)[2]이 제안되었다. 일반화된 공간천이변조기법 신호를 전송할 때 전송하는 안테나의 개수가 2개 이상 선택되기 때문에 공간천이변조 기법에 비해 전송률을 높일 수 있다. 하지만 송신 안테나와 활성화된 안테나의 개수가 증가함에 따라 수신단의 검출 복잡도가 매우 증가한다. 이런 검출 복잡도 문제를 해소하기 위해 제안된 기법이 압축센싱(Compressed Sensing : CS)을 이용한 검출 방법이다[3]. 압축센싱 기법중 일반화된 공간천이변조기법으로 전송된 수신신호를 복원하는 압축센싱 기법으로 정규화된 압축센싱(Normalized CS : NCS)기법이 제안되었다[4]. 정규화된 압축센싱기법은 일반화된 공간천이변조 기법으로 전송된 수신신호를 복호함에 있어서 Maximum Likelihood(ML)기법에 비해 복잡도는 낮지만 성능의 격차가 매우 큰 단점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 정규화된 압축센싱기법을 이용한 일반화된 공간천이변조기법으로 전송된 신호의 검출성능을 개선한 Parallel Orthogonal Matching Pursuit(POMP)검출기법과 POMP-Quantized(POMP-Q)검출기법을 제안 한다.

본 논문에서는 송신단의 안테나 수, 수신단의 안테나 수, 송신단에서 활성화되는 안테나(실제 변조된 신호를 전송하는 안테나)수를 N_t, N_r, n_t 로 각각 나타낸다. 그리고 수신단에서의 수신 신호 $\mathbf{y} \in C^{N_r \times 1}$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{z} \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{H} \in C^{N_r \times N_t}$ 는 블락 페이딩 채널, $\mathbf{x} \in R^{N_t \times 1}$ 는 비활성화된 안테나 인덱스에 해당하는 원소만 0인 전송 신호, $\mathbf{z} \in C^{N_r \times 1}$ 는 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN)이다.

기존의 검출기법은 ML기법으로 $\hat{\mathbf{x}}_{ML}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{\mathbf{x}}_{ML} = \underset{\mathbf{x} \in S}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{y} - \mathbf{H}\mathbf{x}\|_{l_2}^2 \quad (2)$$

기존의 검출 기법인 ML기법의 복잡도를 줄인 정규화된 압축센싱 검출 기법은 매 반복과정에서 수신신호 \mathbf{y} 와 채널 \mathbf{H} 의 상관도를 측정할 때 정규화된 채널 \mathbf{H}' 을 새롭게 정의하여 \mathbf{y} 와 \mathbf{H}' 사이의 상관도를 이용하여 송신단에서 활성화된 안테나를 검출하는데 이용한다[4]. 정규화된 압축센싱 검출기법은 ML에 비해 검출 복잡도는 줄었지만 ML과의 성능의 격차가 매우 큰 단점이 있다.

이런 성능의 격차를 개선한 검출기법으로 본 논문에서는 POMP와 POMP-Q의 두 가지 검출기법을 제안하였다. POMP검출 기법은 기존의 정규화된 압축센싱 검출기법이 매 반복과정마다 송신단에서 활성화된 안테나 인덱스를 찾기 위해 수신신호와 정규화된 채널의 상관도가 높은 인

II. 본론

Iteration	OMP	POMP (M=3)
1	$\Lambda_1 = \{a_6\}$	$\Lambda_1^1 = \{a_6\}, \Lambda_1^2 = \{a_5\}, \Lambda_1^3 = \{a_4\}$
2	$\Lambda_2 = \{a_6, a_2\}$	$\Lambda_2^1 = \{a_6, a_2\}, \Lambda_2^2 = \{a_5, a_1\}, \Lambda_2^3 = \{a_4, a_7\}$
3	$\Lambda_3 = \{a_6, a_2, a_5\}$	$\Lambda_3^1 = \{a_6, a_2, a_5\}, \Lambda_3^2 = \{a_5, a_1, a_{10}\}, \Lambda_3^3 = \{a_4, a_7, a_1\}$
⋮	⋮	⋮

그림 1. POMP 검출기 기반의 인덱스 집합 형성 과정.
 Fig. 1 Example of index set generation of POMP detector in the case that $M = 3$.

텍스 1개씩을 선택하는 반면 POMP 검출기 기반의 첫 번째 반복과정에서 복수의 상관도가 높은 인덱스들(L)을 선택한 후 그 인덱스를 첫 번째 인덱스로 하는 L개의 POMP블럭에서 병렬적으로 정규화된 압축센싱 기법을 수행하고, 마지막과정에서 잔차[6]의 크기가 가장 작은 POMP블럭의 \hat{x} 을 최종 복호신호로 선택하는 기법이다.

그림1은 기존의 정규화된 압축센싱 기법과 POMP기법이 매 반복과정마다 활성화된 안테나 인덱스를 추정하는 과정을 도식화 한 것이다.

POMP-Q기법은 송신단에서 활성화된 안테나로 송신하는 신호를 알고 있다면, 매 반복과정에서 추정된 값을 제거 하고 다음 안테나 인덱스를 찾는 것이 아니라 알고 있는 송신신호를 제거하면서 다음 안테나 인덱스를 찾는 기법으로 추정된 성분을 제거하는 것이 아니라 정확한 성분을 제거함으로써 검출성능을 향상시킬 수 있다.

그림 2, 그림 3은 정규화된 압축센싱과 POMP 그리고 POMP-Q의 검출성능을 비교하기 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과이다.

그림 2는 $N_t = 256, N_r = 16, n_t = 2$ 를 가정하였다. 성능은 정규화된 압축센싱기법에 비해 POMP $L = 4$ 일 경우 SNR에 따라 약 0dB~19dB정도의 성능개선을 확인할 수 있고, $L = 8$ 일 경우 약 0dB~29dB, $L = 16$ 일 경우 약 0dB~39dB의 성능 개선을 확인할 수 있다. POMP-Q는 SNR이 낮을 경우 POMP검출 기법에 비해 0dB~8dB의 성능 개선을 확인할 수 있고, SNR이 높은 경우 성능이 근접하는 것을 확인할 수 있다.

그림 3은 $N_t = 32, N_r = 16, n_t = 4$ 를 가정하였다. 그림2와 성능변화의 경향은 비슷하지만 그림2는 SNR이 높아짐에 따라 POMP와 POMP-Q의 성능이 근접하는 속도가 빠른 반면, 그림3은 성능이 근접하는 속도가 느린 것을 확인할 수 있다.

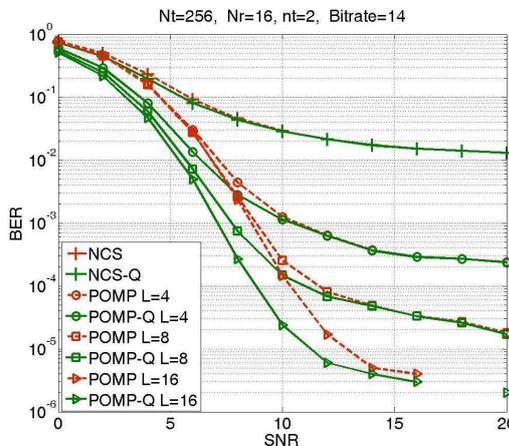


그림 2. $N_t = 256, N_r = 16$ 그리고 $n_t = 2$ 일 때 제한한 POMP 검출 기법의 BER 성능
 Fig. 2 Bit error rate(BER) of POMP detector for $N_t = 256, N_r = 16$ and $n_t = 2$.

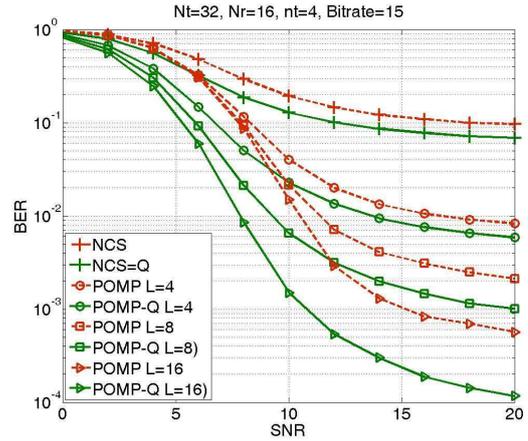


그림 3. $N_t = 32, N_r = 16$ 그리고 $n_t = 4$ 일 때 제한한 POMP 검출 기법의 BER 성능.

Fig. 3 Bit error rate(BER) of POMP detector for $N_t = 32, N_r = 16$ and $n_t = 4$.

III. 결론

본 논문에서는 일반화된 공간천이변조 기법을 통해 송신한 신호의 검출 기법에 대해 분석하고 검출 성능을 개선할 수 있는 POMP와 POMP-Q검출 기법을 제안하였다. 이론적 최적성능을 나타내는 ML검출 기법은 송신 안테나의 개수와 활성화되는 안테나의 개수가 증가할 수록 복잡도가 증가하는 반면에, NCS기법은 ML대비 복잡도는 낮지만 성능의 격차가 매우 큰 단점이 있다. 본 논문에서는 NCS의 성능을 개선 할 수 있는 POMP검출 기법과 POMP-Q검출기법을 제안하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 NCS기법보다 POMP기법과 POMP-Q기법의 성능이 우수한 것을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음

참 고 문 헌

1. R. Y. Chang, S.-J. Lin, and W.-H. Chung, "New space shift keying modulation with hamming code-aided constellation design," IEEE Wireless Commun. Lett., vol. 1, no. 1, pp. 2-5, Feb. 2012.
2. J. Jeganathan, A. Ghrayeb, and L. Szczecinski, "Generalized space shift keying modulation for MIMO channels," in Proc. 2008 IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications.
3. D. Donoho, "Compressed sensing," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 52, no. 4, pp. 1289-1306, Apr. 2006.
4. Chia-Mu Yu, Sung-Hsien Hsieh, Han-Wen Liang, Chun-Shien Lu, "Compressed Sensing Detector Design for Space Shift Keying in MIMO Systems," IEEE Commun. Lett., Vol. 16, no. 10, pp. 1556-1559, Oct. 2012.
5. J. A. Tropp and A. C. Gilbert, "Signal Recovery From Random Measurements Via Orthogonal Matching Pursuit," IEEE Trans. Inf. Theory, vol. 53, no. 12, Dec. 2007.