
전 이중방식 일반화된 공간변조 시스템을 위한 압축센싱기반 신호검출기법

박정홍* · 반태원* · 정방철*

*국립경상대학교

A signal Detection Technique based on Compressed Sensing for Full-Duplex Generalized Spatial Modulation Systems

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

*Gyeongsang National University

E-mail : jhpark81.win@gmail.com, twban35@gnu.ac.kr, bcjung@gnu.ac.kr

요 약

최근 전이중방식의 통신 개념이 차세대 이동통신의 유력한 기술로 주목받고 있다. 본 논문에서는 전 이중방식으로 동작하는 일반화된 공간변조시스템에서 전송된 신호를 압축센싱에 기반하여 검출하는 기법을 제안한다. 전 이중방식으로 동작하는 일반화된 공간변조 시스템에서는 전체 안테나 중 일부의 안테나가 신호를 전송하고 신호 전송에 사용되지 않은 나머지 안테나를 이용하여 동일한 주파수로 수신되는 신호를 검출한다. 본 논문에서는 최근에 개발된 자기 간섭 제거 기술을 활용하여 자신이 전송한 신호에 의한 간섭은 수신안테나로 사용되고 있는 안테나에서는 완벽히 제거된다고 가정한다. 제안된 압축센싱에 기반한 신호 검출 기법은 기존의 신호 검출 기법에 비하여 훨씬 더 좋은 성능을 보인다. 추후, 전 이중방식으로 동작하는 일반화된 공간변조 시스템에서 사용할 전송 안테나의 개수를 최적화 하는 연구를 진행할 예정이다.

ABSTRACT

Recently, full-duplex communications has been considered as one of the most promising techniques for net-generation mobile communication system. In this paper, we propose a compressed sensing based signal detection technique for full-duplex generalized spatial modulation (FD-GSM) systems. In FD-GSM systems, some antennas are used for signal transmission according to input data and the otehrs are used for detecting signals received over the same frequency band. The self-interference (SI) is assumed to be completely removed by help for the recently proposed SI cancellation techniques. The proposed signal detection technique significantly outperforms the conventional ones in terms of symbol error rate (SER). We will investigate the optimal number of used antennas in FD-GSM systems.

키워드

Full-duplex, 공간변조, 성긴 신호 복원, 압축센싱, 다중입출력 시스템

1. 서 론

최근 전이중방식의 통신 개념이 차세대 이동통신의 유력한 기술로 주목받고 있다. 이동통신 분야에서 “전송신호와 수신신호는 같은 주파수를

통하여 동시에 전송할 수 없다.”는 것이 일반적인 의견이다. 그 이유는 신호를 수신하는 동안 자신의 전송신호가 수신신호의 큰 간섭으로 작용하는 자기 간섭(self-interference, SI) 문제 때문이다. 하지만 최근 자기 간섭을 열잡음 수준 이하로 줄일

수 있다는 연구 결과가 발표되었다[1]. 따라서 본 논문에서는 자신이 전송한 신호에 의한 간섭은 수신안테나로 사용되고 있는 안테나에서는 완벽히 제거된다고 가정한다.

또한 본 논문에서는 전 이중방식으로 동작하는 시스템에 공간적 전송 효율을 높이기 위하여 일반화된 공간변조시스템(generalized spatial modulation, GSM)[2]을 결합한 전 이중방식 일반화된 공간변조 시스템(FD-GSM)을 가정한다. GSM은 기존의 심볼 변조에 추가적으로 안테나 인덱스에 정보를 실어 보내는 기법이다. 입력된 비트에 따라 전체 안테나 중 일부의 안테나만 신호 전송을 위해 선택되고 나머지 안테나는 사용되지 않는다. 그리고 변조된 심볼은 선택된 안테나를 통해서 송신된다. 이를 통해 추가적인 데이터를 전송할 수 있을 뿐만 아니라 MIMO시스템의 인접채널 간섭문제 또한 해결할 수 있다. 따라서 본 논문에서 가정하는 FD-GSM시스템은 선택된 안테나를 이용하여 신호를 전송하고 나머지 안테나를 이용하여 동일한 주파수로 수신되는 신호를 검출한다고 가정한다.

한편, FD-GSM시스템으로 전송되는 신호에서 선택된 안테나 인덱스는 전송 심볼이 있고 나머지 인덱스는 0인 성긴신호 특성을 가진다. 이런 성긴신호를 검출하기 위하여 기존의 검출 기법인 maximum likelyhood(ML)검출기법을 사용 하게 되면, 전체 안테나의 개수와 선택되는 안테나의 개수가 적을 경우 ML검출기법으로 수신신호를 검출 가능하지만, 그것이 증가하는 경우 ML검출기법의 검출복잡도가 지수적으로 증가하는 문제점이 발생한다. 이런 검출복잡도 문제를 해결하기 위하여 압축센싱 기반 검출기법이 제안되었다[3].

본 논문에서는 압축센싱 검출기법중 비교적 검출성능이 좋고 복잡도가 낮은 직교 매칭퍼슈트기법(orthogonal matching pursuit, OMP)[4]과 OMP 검출 기법의 성능을 개선하기 위하여 제안된 병렬직교 매칭퍼슈트기법(parallel OMP, POMP)[5]을 이용하여 FD-GSM시스템의 수신신호 검출 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석하고, 기존의 OMP검출 기법의 성능과 POMP검출 기법의 수신신호 검출 성능을 비교하였다. 또한, ML, OMP 그리고 POMP검출 기법의 시뮬레이션 시간을 측정하여 전송비트에 따른 복잡도를 비교하였다.

본 논문의 나머지 구성은 다음과 같다. 제 2장은 FD-GSM의 시스템 모델을 설명하고, 제 3장에서는 FD-GSM에 적용한 OMP와 POMP검출기법을 설명한다. 제 4장은 검출성능 시뮬레이션 결과를 나타내고, 이 논문의 결론은 제 5장에 나타내었다.

II. FD-GSM 시스템 모델

본 논문은 단대단 FD-GSM 시스템을 가정한다. 그림1은 FD-GSM 시스템 모델을 나타낸다. 각 노

드는 입력된 비트 \mathbf{b} 에 따라 GSM모템에서 표1의 GSM mapping 테이블과 같이 전송 심볼 \mathbf{x} 을 생성한다. 예를 들어 $N_t=4, n_t=2, Mod=BPSK, R=4bit$ 일 때, $\mathbf{b}=[0101]$ 가 입력되면 $\mathbf{x}=[-1\ 0+1\ 0]^T$ 이 출력된다. 여기서 각 노드의 전송비트 R 은 다음과 같다.

$$R = \lceil \log_2(N_t C_{n_t}) \rceil + n_t \log_2(|A|) \quad (1)$$

그 후, 전송 심볼에 따라 전체 안테나 N_t 중 선택된 전송안테나 n_t 를 통해 변조된 심볼 $s = \{a_i : i = 1, \dots, |A|\}$ 을 전송한다. $|A|$ 는 변조 심볼 개수이다. 각 노드가 전송할 때 $N_t - n_t$ 개의 나머지 안테나는 다른 노드로부터 같은 채널로 송신된 신호를 동시에 수신한다. 이때 각 수신안테나는 최근 개발된 자기간섭 제거 기술을 활용하여 자기간섭이 완벽히 제거된다고 가정한다.

이때 2번째 노드의 수신신호 $\mathbf{y}^1 \in C^{(N_t - n_t) \times 1}$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{y}^1 = \mathbf{H}_{(I^2)^c} \mathbf{x}^1 + \mathbf{z}_{(I^2)^c} \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{x}^1 \in C^{N_t \times 1}$ 는 1번째 노드의 GSM모템에서 만들어진 송신신호 벡터이다. 안테나 조합은 $I^j = (I_1, I_2, \dots, I_{n_t}) \in \Theta$ 이고, I_n 은 j 번째 노드의 I 안테나 조합 안에서 n 번째 안테나가 되겠다. 그리고 Θ 는 전체 안테나 조합을 나타낸다. 채널 $\mathbf{H}_{(I^2)^c} \in C^{(N_t - n_t) \times n_t}$ 는 1번째 노드의 모든 안테

표 1. GSM mapping 테이블
(ex : $N_t = 4, n_t = 2, Mod = BPSK, R = 4bit$)

Input Bits	Total antenna combination	Antenna number	Transmit symbol 1	Transmit symbol 2
0000	1, 2	1, 2	-1	-1
0001	1, 3	1, 2	-1	+1
0010	1, 3	1, 2	+1	-1
0011	1, 4	1, 2	+1	+1
0100	1, 3	1, 3	-1	-1
0101	2, 3	1, 3	-1	+1
0110	2, 4	1, 3	+1	-1
0111	1, 3	1, 3	+1	+1
1000	3, 4	2, 3	-1	-1
1001		2, 3	-1	+1
1010		2, 3	+1	-1
1011		2, 3	+1	+1
1100		3, 4	-1	-1
1101		3, 4	-1	+1
1110		3, 4	+1	-1
1111		3, 4	+1	+1

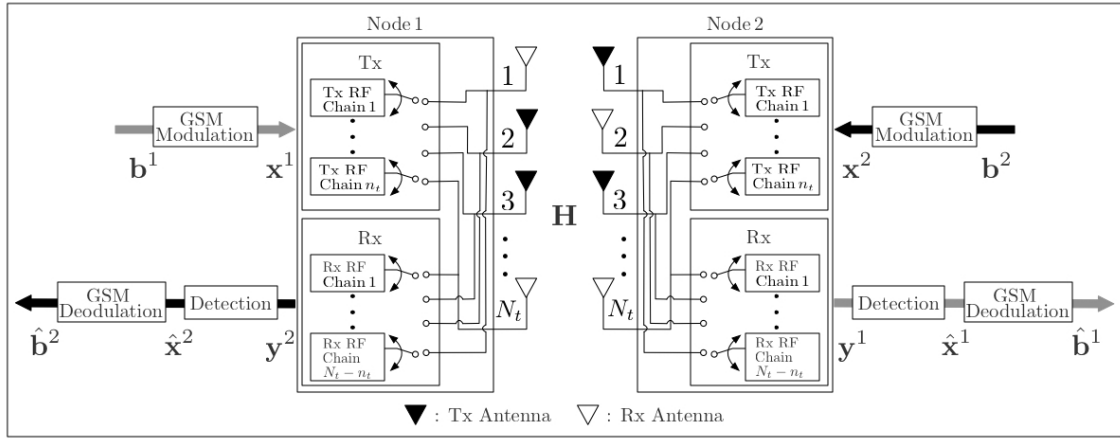


그림 1. FD-GSM 시스템 모델

나에서 두 번째 노드의 $(N_t - n_t)$ 개의 선택되지 않은 안테나로의 채널이다. complex independent and identically distributed (i.i.d.) slow 채널을 가정하고, 각각의 원소는 complex 가우시안분포 $CN(0, \frac{1}{(N_t - n_t)})$ 를 따른다. $\mathbf{z}_{(t^2)c}$ 는 2번째 노드의 $(N_t - n_t)$ 개의 선택되지 않은 안테나의 수신 화이트 가우시안 잡음(AWGN)을 나타내고, complex 가우시안 분포 $CN(0, \sigma^2)$ 를 따른다.

III. 제한한 FU-GSM시스템에서의 POMP검출기법

본장에서는 FD-GSM시스템에서 ML검출기법의 수신신호 검출 복잡도를 줄이기 위하여 제안된 압축센싱기반 수신신호 검출기법을 제시한다. 특히, 압축센싱기반 수신신호 검출기법 중 비교적 성능이 우수하고 복잡도가 낮은 OMP검출기법과 OMP검출기법을 병렬적으로 수행하여 다중화 이득으로 인한 수신신호 검출 성능을 개선한 POMP검출기법을 ML검출기법과 비교하였다.

아래는 POMP알고리즘 수행과정이다. POMP알고리즘은 OMP알고리즘의 일반화 버전으로 POMP의 병렬 POMP과정 개수 $M=1$ 이면 OMP알고리즘과 동일함으로 POMP알고리즘의 수행과정만 제시한다.

여기서 POMP검출기법은 병렬적으로 M 개의 OMP검출기법을 수행 후 송신신호와 같을 확률이 가장 높은 추정신호를 최종 추정신호로 선택하는 간단하면서 강력한 기법이다. 비록, OMP검출기법을 M 개 수행함으로써 발생하는 검출 복잡도 증가문제가 있지만, ML검출 기법에 비해 현저히 낮은 검출 복잡도를 보이고, OMP기법에 비해 POMP검출기법의 M 이 증가함에 따른 복잡도 증가는 미비한 것을 그림 3과 4에서 확인할 수 있다.

Algorithm 1 POMP-based detection algorithm for FD-GSM

```

Input:
y : Received signal
H : Channel matrix
hi : i-th column of H
nt : The number of Users
M : The number of parallel OMPs in POMP
Initialize:
r0m = y, Λ0m = ∅, for each m(1 ≤ m ≤ M)
t = 0
λtm = arg maxi=1\Λt-1 |⟨rt-1m, hi / ||hi||2⟩|
λtm = arg maxi=1\Λt-1 |⟨rt-1m, hi / ||hi||2⟩|
⋮
λtm = arg maxi=1\Λt-1, Λt-2, ..., Λ0 |⟨rt-1m, hi / ||hi||2⟩|
for m = 1 to M do
Λtm = Λt-1m ∪ {λtm}
Ptm = { (HΛtm})T HΛtm }-1 (HΛtm})T
x̂tm = Ptm y
ŷtm = HΛtm } x̂tm
rtm = y - ŷtm
end for
for t = 2 to nt do
for m = 1 to M do
λtm = arg maxi=1\Λt-1 |⟨rt-1m, hi / ||hi||2⟩|
Λtm = Λt-1m ∪ {λtm}
Ptm = { (HΛtm})T HΛtm }-1 (HΛtm})T
x̂tm = Ptm y
ŷtm = HΛtm } x̂tm
rtm = y - ŷtm
end for
end for
m̂ = arg minm ||rKm||2
x̂ = PKm̂ y
    
```

그림 2. POMP검출기법의 수행과정

여기서 검출 복잡도를 측정하기 위하여 Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2650 2.00GHz 2.00GHz(듀얼 CPU), 32GB RAM, 64비트 윈도우 서버 2008 환경에서 MATLAB을 이용한 시뮬레이션 경과시간을 측정하였다. Data Rate은 수식(1)의 R 을 증가시키기 위하여 변조심볼을 BPSK, QPSK, 8-QAM, 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM으로 증가시켰다.

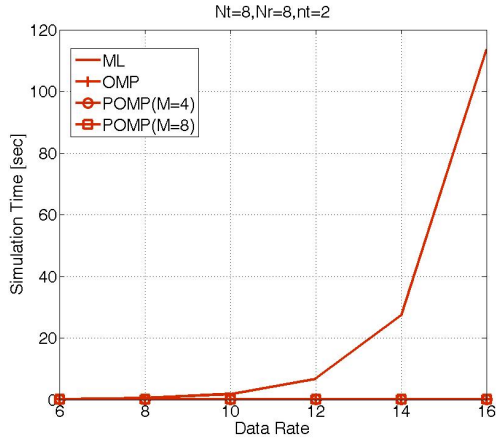


그림 3. $N_t = 8, N_r = 8, n_t = 2$ 에서의 전송비트에 따른 시뮬레이션 시간

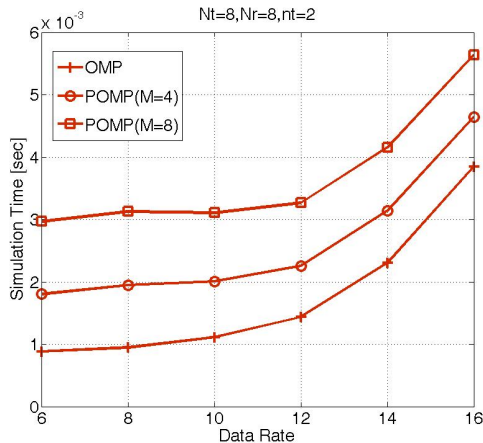


그림 4. $N_t = 8, N_r = 8, n_t = 2$ 에서의 전송비트에 따른 POMP와 OMP의 시뮬레이션 시간비교

IV. 시뮬레이션 결과

본장에서는 FD-GSM시스템에서 ML, OMP 그리고 POMP의 수신신호 검출성능을 나타내었다. 그림5는 $N_t = 16, N_r = 13, n_t = 3, R = 15bits, Mod = QPSK$ 에서 SNR에 따른 BER을 나타낸다. 비록 POMP 검출기법은 ML검출 기법에 비해 성능이 나쁘지만 복잡도 측면에서 ML검출기법은 현실적으로 적용이 불가능하며, OMP에 비해 검출복잡도 증가는 미비하지만 성능이 현저하게 개선되는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문은 FD-GSM시스템에서 압축센싱기반 수신신호 검출기법을 제시하고 그 성능을 분석하

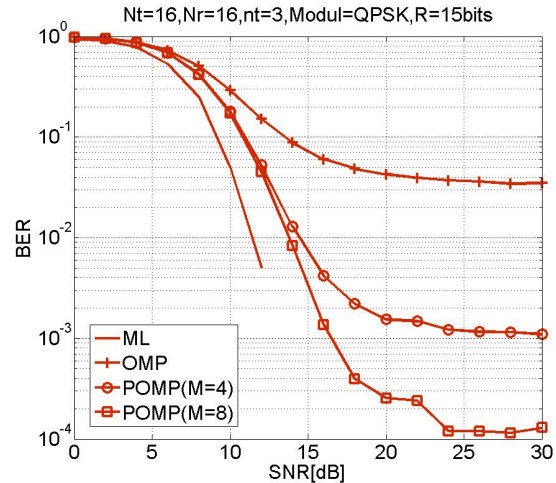


그림5 .

$N_t = 16, N_r = 13, n_t = 3, Mod = QPSK, R = 15bits$ 에서의 수신신호검출 성능

였다. 시뮬레이션 결과에서 OMP에 비해 검출 복잡도증가는 미비하지만 수신신호 검출 성능은 현저히 증가하는 것을 확인하였다. 이것으로 압축센싱기반 검출기법인 OMP와 ML사이에서 성능 격차를 매울 수 있는 대안이 필요한 시점에서 POMP는 그 해답이 될 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구원진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1272, 단말 협업형 Giga급 스마트 클라우드릿 핵심기술 개발]

참고문헌

- [1] D. Bharadia, E. McMillin, and S. Katti, "Full duplex radios," in *proc. ACM SIGCOMM*, Hong Kong, China, pp. 375-386, Aug. 2013
- [2] A. Younis, N. Serafimovski, R. Mesleh, and H. Haas, "Generalised spatial modulation," in *Proc. 2010 Signals, Syst. Comput.*, pp. 1498-1502, Nov. 2010
- [3] C. M. Yu, et al., "Compressed sensing detector design for space shift keying in MIMO systems," *IEEE Comm. Lett.*, vol. 16, no. 10, pp. 1556-1559, Oct. 2012.
- [4] J. A. Tropp and A. C. Gilbert, "Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 53, no. 12, pp. 4655-4666, Dec. 2007.
- [5] S.-W. Park, J. Park, and B. C. Jung, "On the sparse signal recovery with parallel orthogonal matching pursuit," *IEICE Trans. on Fundamentals*, vol. E96-A, no. 12, pp. 2728-2730, Dec. 2013.