

대규모 랜덤 액세스 네트워크에서 병렬 직교매칭퍼쉴 기술을 이용한 사용자 검출 기법

박정홍¹ · 정방철^{1*} · 김진우² · 김정필³

A User Detection Technique Based on Parallel Orthogonal Matching Pursuit for Large-Scale Random Access Networks

Jeonghong Park¹ · Bang Chul Jung^{1*} · Jinwoo Kim² · Jeong-Pil Kim³

^{1*}Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

²Department of Applied Biology, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

³Department of Chinese Language and Literature, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea

요 약

본 논문은 사용자와 수신 안테나가 매우 많은 상향링크 다중사용자 랜덤액세스 네트워크에서 기존의 압축센싱 기반 병렬 직교매칭퍼쉴(parallel orthogonal matching pursuit, POMP)기법을 개선한 랜덤액세스를 위한 POMP 사용자 검출 기법을 제안한다. 일반적으로 다중사용자 랜덤액세스 환경에서는 기지국으로부터 자원을 할당 받은 사용자가 신호를 전송하는 것이 아니라 전송할 데이터를 가진 사용자는 기지국으로부터 어떠한 제어 없이 신호를 전송하기 때문에 활성화된 사용자의 수를 수신단에서 정확하게 아는 것은 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이러한 환경에서 기존의 병렬 직교매칭퍼쉴기법을 수정하여 활성화된 사용자 검출 기법을 새롭게 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 그 성능을 분석한다. 랜덤 액세스 네트워크에서 제안된 POMP 기법이 기존의 OMP방식보다 활성화된 사용자가 약 2%~8% 더 많은 환경에서도 정확하게 사용자를 검출 하는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a user detection technique based on parallel orthogonal matching pursuit (POMP) for uplink multi-user random access networks (RANs) with a number of users and receiver antennas. In general RANs, it is difficult to estimate the number of users simultaneously transmitting packets at the receiver because users with data send the data without grant of BS. In this paper, therefore, we modify the original POMP for the RAN and evaluate its performances through extensive computer simulations. Simulation results show that the proposed POMP can effectively detect activated users more than about 2%~8% compared with the conventional OMP in RANs.

키워드 : 랜덤액세스 네트워크, 성긴 신호 복원, 직교매칭퍼쉴, 다중입출력 시스템

Key word : Random access networks, sparse signal recovery, orthogonal matching pursuit, multiple input and multiple output(MIMO) system

Received 15 April 2015, Revised 28 April 2015, Accepted 11 May 2015

* Corresponding Author Bang Chul Jung(E-mail:bcjung@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9171)

Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.6.1313>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근 5 세대 (5th Generation, 5G) 이동통신을 위한 후보 기술에 대하여 많은 연구와 논의가 진행되고 있다. 5G 이동통신의 주요 성능 목표는 전송용량 증대, 서비스 지연시간 단축, 낮은 에너지 소비 등이다[1,2]. 그 중 많은 연구자들이 서비스 지연시간 단축에 대한 관심을 가지고 있다. 현재 상용화된 3GPP long-term evolution (LTE) 시스템에서는 CDMA 기반의 3G 이동통신 시스템에 비해 높은 전송속도를 제공하지만 사용자의 자원 할당, 동기화, 피드백 등을 위하여 많은 제어 신호가 요구 된다[3]. 또한 LTE시스템은 1ms서브프레임을 기반으로 동작하므로 단대단(end-to-end, E2E) 데이터 지연 시간이 약 15ms로 알려져 있다[4].

한편, 5G 이동통신 시스템을 위하여 제어신호에 따른 오버헤드 감소와 지연시간 단축을 위하여 랜덤 액세스(random access) 방식에 대한 연구가 최근 재조명 되고 있다[5]. 상향링크에서 사용자가 데이터를 전송하기 위하여 랜덤 액세스 방식을 이용할 경우 전송할 데이터를 가지고 있는 사용자가 기지국으로부터 자원을 할당 받지 않고 데이터를 전송하기 때문에 기지국으로부터의 자원 할당, 피드백, 동기화 등에 사용되는 시간을 줄일 수 있다. 그러나 랜덤 액세스 방식은 특정 심볼 전송 구간동안 2명 이상의 사용자가 동시에 전송 하면 기지국에서 그 신호를 검출하지 못하는 문제가 발생 한다[6,7]. 이 문제를 해결하기 위하여 현재 상용화된 LTE에서는 code-book 기반 랜덤 액세스 방식을 사용한다. 전송 데이터를 가지고 있는 사용자들은 미리 기지국과 사용자들이 알고 있는 code-book 중 랜덤하게 하나의 코드를 각각 선택하여 전송한다. 만약 두 명 이상의 사용자가 같은 코드를 선택하면 전송신호를 복호할 수 없지만, 다른 코드를 선택한 사용자들은 동시에 2명 이상이 전송하여도 기지국에서 전송신호를 복호할 수 있다. 그러나 이런 코드기반 랜덤 액세스 방식은 사용자가 선택할 수 있는 코드의 종류를 증가시키면 코드의 길이 또한 동시에 증가하게 되어 랜덤 액세스를 위한 오버헤드의 증가를 야기한다.

이런 랜덤 액세스 시스템은 사용자가 기지국으로 전송할 데이터가 있을 경우 바로 전송을 하기 때문에 특정 시간에 실제 전송하는 사용자는 전체 사용자 수보다 아주 작은 특징이 있다. 랜덤 액세스 시스템에서의 복

호는 전체 사용자 보다 작은 활성화된 사용자를 검출하게 되는데, 이러한 특징을 가진 신호는 압축센싱(compressed sensing, CS) 기반 검출 기법을 이용하여 활성화된 사용자를 검출할 수 있다는 것이 잘 알려져 있다[8]. 압축센싱 기반 검출 기법중 낮은 복잡도로 비교적 우수한 성능을 보이는 기법은 직교매칭퍼 suit(orthogonal matching pursuit, OMP) 기법이다[9]. OMP 검출 기법은 수신신호와 채널의 상관도를 이용하여 활성화된 사용자를 검출하는 기법이다. 또한 OMP기법의 검출 성능을 개선한 병렬 직교매칭퍼 suit(parallel-OMP, POMP) 기법이 제안 되었다[10].

POMP 검출 기법은 병렬적으로 OMP기법을 수행 후 나온 추정된 신호 중 송신된 신호와 같을 확률이 가장 높은 신호를 선택하여 성능을 개선하는 기법이다. 이런 직교매칭퍼 suit 기법들은 수신신호와 채널의 상관도를 이용하는 반면, 수신신호의 통계적 특성을 메시지 형태로 교환 하면서 압축센싱 분야에서 최적의 검출 성능을 보이는 메시지 패싱(message passing) 기법이 제안 되었다[11]. 하지만 메시지 패싱 기법은 검출 복잡도가 매우 높은 단점이 존재한다. 이외에 일반화된 공간변조 시스템에서 압축센싱 기반 검출기법인 일반화된 공간변조 기법을 위한 POMP(POMP for generalized space shift keying, GSSK)기법[12]과, 다중 사용자 공간변조(multi-user spatial modulation, MU-SM)시스템에서 압축센싱 기반 검출기법인 MU-POMP 기법[13]이 제안되었다. 공간 변조시스템은 수신단과 송신단의 다중 안테나(multiple input and multiple output, MIMO)를 이용하여 변조하는 방식으로 실제 신호를 전송하는 안테나는 전체 안테나의 수보다 작은 특성을 가진다. 이런 공간변조 시스템에서 만들어진 신호 또한 압축센싱 기반 검출기법으로 검출 할 수 있다는 것이 알려져 있다.

한편, 랜덤 액세스 시스템에서 사용자는 단일 심볼을 전송하는 것이 아니라 다중 심볼을 전송하게 된다. 압축센싱 분야에서 다중 심볼로 전송된 신호를 다중 측정벡터(multi measurement vector, MMV)라고 하며, MMV 신호를 복원하는 기법으로 동시직교매칭퍼 suit(simultaneous OMP, S-OMP)기법[14]이 제안 되었고, S-OMP검출기법의 성능을 개선한 MMV신호를 위한 POMP(POMP for MMV) 기법[15] 또한 제안되었다.

이와 같은 압축센싱 기반 검출 기법은 기본적으로 활성화된 사용자의 수를 수신단에서 정확하게 알고 있을 경우를 다룬다. 하지만 실제 랜덤 액세스 시스템에서는 기지국으로부터 자원을 할당 받은 사용자가 신호를 전송하는 것이 아니라 전송할 데이터를 가진 사용자는 기지국으로부터 어떠한 제어 없이 신호를 전송하기 때문에 활성화된 사용자의 수를 수신단에서 정확하게 아는 것은 어렵다.

본 논문에서는 기존의 압축센싱 기법에서 제안된 S-OMP 기법과 POMP 검출기법을 다중 사용자 랜덤 액세스 시스템에 적용하여 활성화된 사용자의 수를 모르는 환경에서의 사용자 검출기법을 제안하고, 이 두 검출 기법의 활성화된 사용자 검출 확률 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석한다. 또한 본 논문에서는 사용자가 전체 심볼을 전송하는 동안 채널이 변하지 않는 slow fading 채널과, 각 심볼마다 채널이 변하는 fast fading 채널 두 환경 모두를 고려한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장은 랜덤 액세스 다중사용자 시스템 환경을 설명하고, 제 3장에서는 랜덤 액세스 다중사용자 시스템에 적용한 POMP 검출 기법을 설명한다. 제 4장은 POMP 검출기법의 성능분석을 위한 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 나타내었으며, 제 5장은 결론으로 이 논문을 전체적으로 요약한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 상향링크 랜덤 액세스 시스템과 MMV 신호 전송 환경을 가정하고, N , N_r , S 를 전체 사용자수, 기지국의 안테나 개수, 다중 심볼 개수라고 각각 가정한다. 각 사용자는 1개의 송신 안테나를 가진다고 가정한다.

본 논문은 기본적으로 $N_r \ll N$ 인 under-determined 환경을 가정한다. 각 사용자는 상대적으로 낮은 활성화 확률, $P_a \ll \frac{1}{2}$, 을 가지고 활성화 될 확률은 사용자간 독립 적이라고 가정한다. 따라서 평균적으로 활성화되는 사용자의 수를 n_t 라고 가정한다. s 번째 심볼의 n 번째 활성화된 사용자는 $x_{n,s} \in \{a_i : i = 1, \dots, |A|\}$ 변조 심볼을 전송하고 나머지 사용자는 $x_{n,s} = 0$ 을 전송 한다고 가정한다.

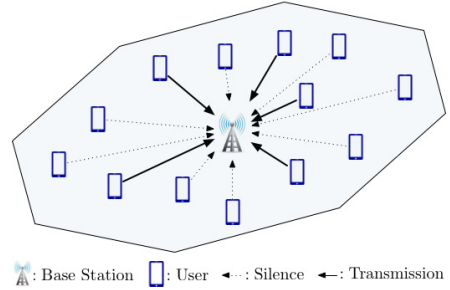


그림 1. 다중사용자 랜덤액세스 시스템 모델.

Fig. 1 Multiuser Random Access system model

여기서 $|A|$ 는 변조 심볼집합의 원소 개수이다. 따라서, s 번째 심볼의 전체 사용자 전송 심볼 벡터는 $\mathbf{x}_s = [x_{1,s} \ x_{2,s} \ \dots \ x_{N,s}]^T$ 로 나타낼 수 있고 여기서 $x_{n,s}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$x_{n,s} = \begin{cases} 0 & , \text{if } n \text{ th user is unactive,} \\ a_i & , \text{if } n \text{ th user is active.} \end{cases}$$

$\mathbf{x}_s \in C^{N \times 1}$ 는 각 사용자가 상대적으로 낮은 활성화 확률을 갖기 때문에 대부분 0이고 전체 사용자에 비해 매우 작은 사용자만 0이 아닌 값을 갖는 성긴 신호의 특징을 가진다. 그림1은 특정시간에서의 랜덤 액세스 단말기의 신호전송을 나타낸다. 이 때, 기지국에서 수신된 s 번째 심볼 신호 $\mathbf{y}_s \in C^{N_r \times 1}$ 는 다음과 같이 표현된다.

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

여기서 $\mathbf{H}_s \in C^{N_r \times N}$ 는 s 번째 심볼의 전송신호 $\mathbf{x}_s$ 가 전송 될 때 겪는 selective fading 채널 행렬로 각 인자는 평균이 0이고 분산이 $\frac{1}{N_r}$ 을 갖는 complex 가우시안 분포를 따르고, $\mathbf{H}_s \sim CN\left(0, \frac{1}{N_r}\right)$, 또한 independent and identically distributed (i.i.d) 특성을 따른다. 반면, 전체 사용자가 S 개의 심볼을 보내는 동안 채널이 변하지 않는 flat fading 채널을 가정하면 $\mathbf{H}_s = \mathbf{H} \quad s = 1, \dots, S$ 으로 나타낼 수 있고, 이때 수신신호 $\mathbf{Y} \in C^{N_r \times S}$ 는 다음과 같이 표현 된다.

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H}\mathbf{X} \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{X} \in C^{N \times S}$ 는 활성화된 사용자의 행만 0이 아닌 값을 갖고 나머지는 0행열을 갖는 S 개의 심볼 동안의 전체 전송신호 행렬이다.

본 논문에서는 노이즈가 없는 환경에서 사용자검출 성능을 분석 한다. 일반적으로 압축센싱에서 활성화된 사용자 검출성능을 분석할 경우 노이즈가 없는 환경에서 분석한다. 다음 연구로 노이즈가 있는 환경에서 SER(symbol error rate) 성능을 분석할 예정이다.

III. 제안한 랜덤 액세스 네트워크용 Parallel OMP 기법

본 장에서는 기존의 POMP 검출기법을 노이즈가 없는 환경에서 랜덤 액세스 다중사용자 네트워크와 MMV신호 전송을 고려한 시스템에 적용한 POMP기법을 제안한다. MMV압축센싱 검출기법 중 가장 대표적인 검출기법은 S-OMP검출 기법이다. 하지만 POMP 검출기법에서 초기에 다중인덱스 선택 개수인 M 이 1인 경우가 S-OMP와 일치한다. 따라서 본 논문에서는 S-OMP기법을 따로 언급하지 않고 일반화버전인 POMP기법에 대해서 나타낸다.

아래는 POMP기법의 수행과정이다.

POMP 알고리즘

입력:

- 수신신호: $\mathbf{Y} \in C^{N_r \times S}$
- 채널행렬: $\mathbf{H} \in C^{N_r \times N \times S}$
- 활성화된 안테나 개수: n_t
- POMP블럭 개수: M
- s 번째 심볼의 채널행렬 $\mathbf{H}_s$ 의 i 번째 열: $\mathbf{h}_{i,s}$
- 알고리즘 종료 기준값: ε

출력:

- Λ_t^m 는 $m(1 \leq m \leq M)$ 번째 S-OMP과정에서 t 번째 반복과정의 상관도가 가장 높은 안테나 인덱스들의 집합
- $\mathbf{R}_t^m$ 는 m 번째 S-OMP과정에서 t 번째 반복과정의 잔차 행렬
- Ψ_t 는 t 번째 반복과정의 알고리즘 종료 기준값 ε 를 만족하는 m 의 인덱스 집합
- $\hat{\mathbf{X}}$ 는 최종 복원된 송신신호

초기화 단계:

1. 각 $m(1 \leq m \leq M)$ 에 대하여 $\mathbf{R}_0^m = \mathbf{Y}$, $\Lambda_0^m = \emptyset, \Psi_0 = \emptyset, t = 1$ 로 초기화 한다.
2. s 번째 심볼의 수신된 신호와 s 번째 심볼 채널 각 열의 l_2 -norm으로 정규화된 채널행렬의 열과의 상관도가 가장 큰 M 개의 열을 $\lambda_t^m (m \in 1, 2, \dots, M)$ 의 인덱스로 결정한다. 수식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_t^1 &= \arg \max_{i=1}^N \left\{ \sum_{s=1}^S \left| \langle \mathbf{r}_{t-1,s}^m, \mathbf{h}_{i,s} / \|\mathbf{h}_{i,s}\|_2 \rangle \right|^2 \right\} \\ \lambda_t^2 &= \arg \max_{i=1, i \neq \lambda_t^1}^N \left\{ \sum_{s=1}^S \left| \langle \mathbf{r}_{t-1,s}^m, \mathbf{h}_{i,s} / \|\mathbf{h}_{i,s}\|_2 \rangle \right|^2 \right\} \\ \lambda_t^3 &= \arg \max_{i=1, i \neq \lambda_t^1, \lambda_t^2}^N \left\{ \sum_{s=1}^S \left| \langle \mathbf{r}_{t-1,s}^m, \mathbf{h}_{i,s} / \|\mathbf{h}_{i,s}\|_2 \rangle \right|^2 \right\} \\ &\vdots \\ \lambda_t^M &= \arg \max_{i=1, i \neq \lambda_t^1, \lambda_t^2, \dots, \lambda_t^{M-1}}^N \left\{ \sum_{s=1}^S \left| \langle \mathbf{r}_{t-1,s}^m, \mathbf{h}_{i,s} / \|\mathbf{h}_{i,s}\|_2 \rangle \right|^2 \right\} \end{aligned}$$

각 $m(1 \leq m \leq M)$ 에 대하여 아래 과정을 수행한다.

1. 안테나 인덱스 λ_t^m 를 Λ_t^m 에 병합한다.

$$\Lambda_t^m = \Lambda_{t-1}^m \cup \{\lambda_t^m\}.$$
2. Pseudo-inverse를 통해 Λ_t^m 의 원소로 이루어진 채널행렬의 열들에 s 번째 심볼인 수신신호 $\mathbf{y}_s$ 를 정사영한 $\mathbf{P}_{t,s}^m$ 을 결정하고, $\hat{\mathbf{x}}_s$ 을 계산한다. 수식은 아래와 같다.

$$\mathbf{P}_{t,s}^m = \left\{ \left(\mathbf{H}_{\Lambda_t^m, s} \right)^T \mathbf{H}_{\Lambda_t^m, s} \right\}^{-1} \left(\mathbf{H}_{\Lambda_t^m, s} \right)^T, s = 1, 2, \dots, S$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{t,s}^m = \mathbf{P}_{t,s}^m \mathbf{y}_s, s = 1, 2, \dots, S$$
3. 추정된 수신신호 $\hat{\mathbf{Y}}_t^m$ 과 잔차행렬 $\mathbf{R}_t^m$ 계산하여 update 한다.

$$\hat{\mathbf{y}}_{t,s}^m = \mathbf{H}_{\Lambda_t^m, s} \hat{\mathbf{x}}_{t,s}^m, s = 1, 2, \dots, S$$

$$\mathbf{R}_t^m = \mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}}_t^m$$

4. 각 $m(1 \leq m \leq M)$ 에 대하여 잔차행렬의 파워가 알고리즘 종료 기준 값 ε 보다 작은 m 의 인덱스를 ψ_t 로 결정하고 Ψ_t 에 병합한다. 그리고 $\hat{\mathbf{X}}_{final}^{\psi_t}$ 와 $\mathbf{R}_{final}^{\psi_t}$ 을 결정한다.

$$\psi_t = \arg \left\{ \left\| \mathbf{R}_{t-1}^m \right\|_F^2 \leq \varepsilon \right\}$$

$$\Psi_t = \Psi_{t-1} \cup \{\psi_t\}$$

$$\mathbf{R}_{final}^{\psi_t} = \mathbf{R}_t^{\psi_t}$$

$$\hat{\mathbf{X}}_{final}^{\psi_t} = \hat{\mathbf{X}}_t^{\psi_t}$$

5. 초기화 단계를 수행 후 $t = 2$ 을 대입하고 반복단계로 넘어간다.

반복 단계:

반복단계에서는 Ψ 의 인덱스를 제외한

m ($1 \leq m \leq M \setminus \Psi$)에 대하여 아래 과정을 수행한다.

1. 각 s ($1 \leq s \leq S$)에 대해 잔차 행렬과 정규화된 채널행렬 중 Λ_{t-1}^m 인덱스를 제외한 각 열의 상관도가 가장 큰 열의 인덱스를 활성화된 안테나의 인덱스 λ_t^m 로 결정한다. 수식은 아래와 같다.

$$\lambda_t^m = \arg \max_{i \in \Lambda_{t-1}^m} \left\{ \sum_{s=1}^S \left| \langle \mathbf{r}_{t-1}^m, \mathbf{h}_i \rangle / \|\mathbf{h}_i\|_2 \right|^2 \right\}.$$

2. 안테나 인덱스 λ_t^m 를 Λ_t^m 에 병합한다.

$$\Lambda_t^m = \Lambda_{t-1}^m \cup \{\lambda_t^m\}.$$

3. Pseudo-inverse를 통해 Λ_t^m 의 원소로 이루어진 채널행렬의 열들에 s 번째 심볼인 수신신호 $\mathbf{y}_s$ 를 정사영한 $\mathbf{P}_{t,s}^m$ 을 결정하고, $\hat{\mathbf{x}}_s$ 을 계산한다. 수식은 아래와 같다.

$$\mathbf{P}_{t,s}^m = \left\{ \left(\mathbf{H}_{\Lambda_t^m, s} \right)^T \mathbf{H}_{\Lambda_t^m, s} \right\}^{-1} \left(\mathbf{H}_{\Lambda_t^m, s} \right)^T, \\ s = 1, 2, \dots, S$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{t,s}^m = \mathbf{P}_{t,s}^m \mathbf{y}_s, s = 1, 2, \dots, S$$

4. 추정된 수신신호 $\hat{\mathbf{Y}}_t^m$ 과 잔차행렬 $\mathbf{R}_t^m$ 계산하여 update한다.

$$\hat{\mathbf{y}}_{t,s}^m = \mathbf{H}_{\Lambda_t^m, s} \hat{\mathbf{x}}_{t,s}^m, s = 1, 2, \dots, S$$

$$\mathbf{R}_t^m = \mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}}_t^m$$

5. 각 m ($1 \leq m \leq M$)에 대하여 잔차행렬의 파워가 알고리즘 종료 기준 값 ε 보다 작은 m 의 인덱스를 ψ_t 로 결정하고 Ψ_t 에 병합한다. 그리고 $\hat{\mathbf{X}}_{final}^{\psi_t}$ 와 $\mathbf{R}_{final}^{\psi_t}$ 을 결정한다.

$$\psi_t = \arg \left\{ \|\mathbf{R}_{t-1}^m\|_F^2 \leq \varepsilon \right\}$$

$$\Psi_t = \Psi_{t-1} \cup \{\psi_t\}$$

$$\mathbf{R}_{final}^{\psi_t} = \mathbf{R}_t^{\psi_t}$$

$$\hat{\mathbf{X}}_{final}^{\psi_t} = \hat{\mathbf{X}}_t^{\psi_t}$$

6. Ψ 의 원소의 개수가 M 보다 작으면, $|\Psi| \leq M$ $t = t + 1$ 대입 후 반복단계를 다시 수행하고, 그렇지 않고 $|\Psi| = M$ 면 선택단계로 넘어간다.

선택 단계:

1. 잔차행렬 $\mathbf{R}_{final}$ 이 가장 작은 m 번째 S-OMP과정의 $\hat{\mathbf{X}}_{final}$ 을 복호된 $\hat{\mathbf{X}}$ 으로 결정한다.

$$\hat{m} = \arg \min_m \|\mathbf{R}_{final}^m\|_F^2$$

$$\hat{\mathbf{X}} = \hat{\mathbf{X}}_{final}^{\hat{m}}$$

기존의 S-OMP와 POMP는 활성화된 사용자의 수를 정확하게 안다고 가정하고 있기 때문에 알고리즘 수행 과정을 활성화된 사용자 수와 같은 n_t 번 반복한다. 반면, 본 논문에서 제안한 알고리즘은 수신신호 $\mathbf{Y}$ 와 추정신호 $\hat{\mathbf{Y}}$ 의 차이가 특정 임계 값 ε 보다 작을 때의, $\|\mathbf{Y} - \hat{\mathbf{Y}}\|_F^2 \leq \varepsilon$, $\hat{\mathbf{X}}$ 을 추정하는 기법이다 [16]. 따라서 활성화된 사용자의 수 n_t 를 정확하게 알 수 없는 랜덤 액세스 시스템 환경에서 POMP 검출 기법을 이용한 사용자 검출을 가능하게 한다. 또한, 이 종료 기준 값 ε 은 반복회수로 인한 복잡도와 검출 성능사이의 trade-off관계에 있다.

IV. 모의실험 결과 및 분석

본 논문에서는 노이즈가 없는 환경에서 제안한 POMP검출 기법의 성능 분석을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 심볼 개수 S 가 각각 1, 3, 5일 때 S-OMP검출 기법과 POMP에서 초기 선택 인덱스 개수 M 이 4, 16일 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 사용자 수는 N 이고, 수신단의 안테나 개수는 N_r 로 나타내었다. 그리고 알고리즘 종료 기준 값 ε 은 일반적으로 노이즈의 파워로 설정을 하지만 [16] 본 논문에서는 노이즈가 없는 환경을 고려하였기 때문에 $\varepsilon = 10^{-2}$ 라고 가정하였다. 그림 2,3의 성능 그래프는 x 축은 전체 사용자중 평균적으로 활성화되는 사용자의 비율을 나타내고 y 축은 평균적으로 활성화되는 사용자에 따른 활성화된 사용자 검출 확률을 나타낸다. $S = 1, S = 3, S = 5$ 는 심볼의 개수를 나타낸다.

그림 2는 slow fading 채널, 즉 모든 심볼을 전송하는 동안 채널이 변하지 않는 환경을 가정하였고, QPSK 변조를 가정하였다. 또한, $N = 256, N_r = 128$ 을 가정하였다. 왼쪽에서부터 심볼의 개수가 1, 3, 5로 증가해갈 때 활성화된 사용자 검출 확률 성능이 전체 적으로 좋아지는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 각 심볼당 S-OMP는 매 반복과정에서 활성화 되는 사용자의 위치를 1개씩 추정을 하는데 반해 POMP는 여러 개의 활성화 되는 사용자의 위치를 추정 후 병렬적으로 S-OMP를 수행하고, 마지막에 송신신호와 같은 확률이 가장 높은

추정신호를 선택하기 때문에, S-OMP기법의 성능보다 POMP기법이 다중사용자 랜덤 액세스 환경에서 활성화된 사용자 개수가 약 2%~8% 더 많은 환경에서도 정확하게 사용자를 검출하는 것을 확인하였다.

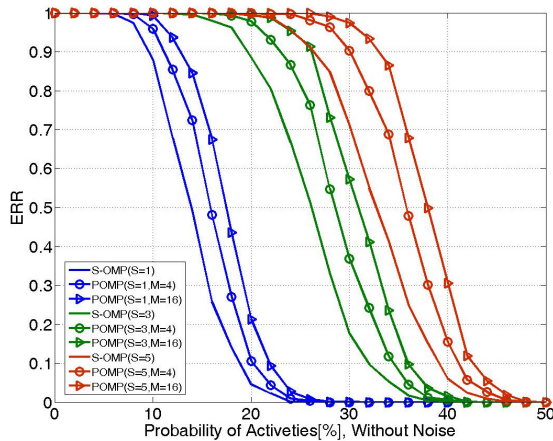


그림 2. A slow fading 채널과 노이즈가 없는 환경에서 $N=256$, $N_r=128$ 일 때 POMP 검출 기법의 활성화된 사용자 검출 확률 성능

Fig. 2 The prob. of perfect user detection of a POMP detector for $N=256$, $N_r=128$ with a slow fading channel without a noise

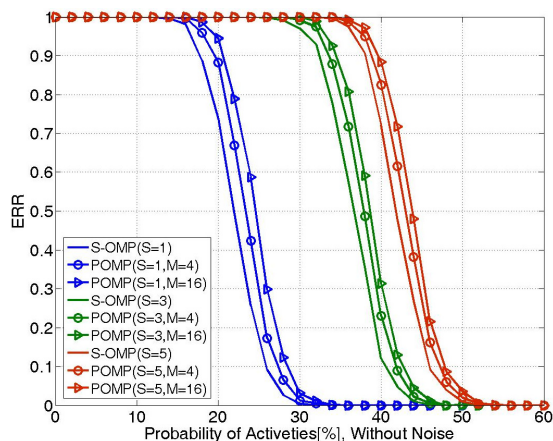


그림 3. A fast fading 채널과 노이즈가 없는 환경에서 $N=256$, $N_r=128$ 일 때 POMP 검출 기법의 활성화된 사용자 검출 확률 성능

Fig. 3 The prob. of perfect user detection of a POMP detector for $N=256$, $N_r=128$ with a fast fading channel without a noise

그림 3은 fast fading 채널, 즉 각 심볼이 전송될 때 마다 채널이 변하는 환경을 가정하였고, 다른 변수들은 그림 2와 같다. 성능의 경향 또한 비슷하지만 slow fading 채널 환경에서보다 전체적인 활성화된 사용자 검출 확률성능이 x 축 측면에서 오른쪽으로 이동되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이것은 각 심볼 별로 채널이 변하기 때문에 시간 다중화 이득 효과에 따른 성능 개선 효과가 있음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 노이즈가 없는 상향링크 다중사용자 랜덤 액세스 시스템을 고려한 다중 심볼 전송시스템에서 기존에 제안된 S-OMP와 S-OMP의 성능을 개선한 POMP기법을 적용하여 활성화된 사용자의 수를 모르는 상황에서 활성화된 사용자 검출 확률성능을 분석하였다. 다중사용자 랜덤 액세스 환경에서 또한 S-OMP보다 POMP의 성능개선 효과를 확인할 수 있으며, 다중 사용자 랜덤 액세스 환경에서 압축센싱기반의 복호 알고리즘을 충분히 이용할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 다중 심볼을 전송하는 동안 채널이 변하지 않는 slow fading 채널 환경에서보다 채널의 다중화 이득을 얻을 수 있는 fast fading 환경에서의 활성화된 사용자 검출성능이 더 좋은 것을 확인할 수 있다. 다음 연구로 노이즈가 존재하는 환경에서의 평균적 활성화된 사용자 수에 따른 SER 성능 분석 연구를 진행 중에 있으며 추가적으로 LTE표준에 따른 실제적인 랜덤 액세스 환경에서의 압축센싱 기반 사용자 검출 성능 분석을 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the research group promotion program (2014-02-0003) of Gyeongsang National University.

REFERENCES

- [1] J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi, S. V. Hanly, A. Lozano, A. C. K. Soong, J. C. Zhang, "What will 5G be?," *IEEE J. on select. Areas in Commun.*, vol. 32, no. 6, pp.1065-1082, Jun. 2014.
- [2] E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, J. Peisa, J. Sachs, Y. Selen, and J. Skold, "5G wireless access : Requirements and realization," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 12, pp. 42-47, Dec. 2014.
- [3] B. Clerckx, A. Lozano, S. Sesia, C. van Rensburg, and C. B. Papadias, "3GPP LTE and LTE-advanced," *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, vol. 2009, no. 1, p. 472-124, Sep. 2009.
- [4] A. Ghosh, J. Zhang, J. G. Andrews, and R. Muhamed, *Fundamentals of LTE*, Prentice-Hall, 2010.
- [5] G. Wunder, P. Jung, C. Wang, "Compressive random access for post-LTE systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Workshop (ICC)*, pp. 539-544, Jun. 2014
- [6] H. Jin, B. C. Jung, H. Y. Hwang, and D. K. Sung, "A MIMO-based collision mitigation scheme in uplink WLANs," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, no. 6, pp. 417-419, Jun. 2008.
- [7] H. Jin, B. C. Jung, and D. K. Sung, "A trade-off between single-user and multi-user MIMO schemes in multi-rate uplink WLANs," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 10, no. 10, pp. 3332-3342, Oct. 2011.
- [8] D. Donoho, "Compressed sensing," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 52, no. 4, pp. 1289-1306, Apr. 2006.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] B. C. Jung and W. Chang, "A message passing algorithm for compressed sensing in wireless random access networks," in *Proceeding of APCC*, pp. 463-464, Aug. 2013.
- [12] J. Park, T.-W. Ban, and B. C. Jung, "A compressed sensing based signal detection technique for generalized space shift keying systems," *JKIICE*, vol. 18, no. 7, pp. 1557-1564, Jul. 2014.
- [13] J. Park, T.-W. Ban, and B. C. Jung, "A compressed sensing based signal recovery technique for multi-user spatial modulation systems," *KICS*, vol. 39A, no. 7, pp. 424-430, Jul. 2014.
- [14] J. A. Tropp, A. C. Gilbert, M. J. Strauss "Simultaneous sparse approximation via greedy pursuit," in *proceeding of ICASSP*, vol. 5, pp. 721-724 Mar. 2005.
- [15] J. Park, T.-W. Ban, and B. C. Jung, "Sparse signal recovery with parallel orthogonal matching pursuit for multiple measurement vectors," *JKIICE*, vol. 17, no. 10, pp. 2253-2258, Oct. 2013.
- [16] J. A. Tropp, "Average-case analysis of greedy pursuit," in *Proc. SPIE 5914*, Wavelets XI, 591412, Sep. 2005.

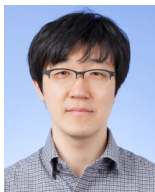


박정홍(Jeonghong Park)

2011년 2월 한국평생교육진흥원 정보통신공학 학사

2014년 2월 경상대학교 정보통신공학과 석박사통합과정 수료

※관심분야: 압축센싱, 차세대 이동통신 시스템(4G, Beyond 4G, and 5G), 간섭 정렬, MIMO, 공간변조시스템



정방철(Bang Chul Jung)

2002년 2월 아주대학교 전자공학부 학사

2004년 8월 KAIST 전자전산학과 석사

2008년 2월 KAIST 전자전산학과 박사

2008년 3월~2009년 8월 KAIST IT 융합연구소 팀장

2009년 9월~2010년 2월 KAIST IT 융합연구소 연구교수

2010년 3월~2014년 2월 경상대학교 정보통신공학과 조교수

2014년 3월~현재 경상대학교 정보통신공학과 부교수

2010년 4월~현재 KAIST IT 융합연구소 겸직교수

※관심분야: 무선통신, 통계적 신호처리, 정보이론, 압축센싱, 이동통신 시스템



김진우(Jinwoo Kim)

2006년 2월 서울대학교 응용 생명과학 박사
2006년 7월 서울대학교 박사후 연구원
2006년 8월~2007년 10월 인디애나 대학 박사후 연구원
2010년 3월~2014년 2월 경상대학교 응용생물학과 조교수
2014년 03월~현재 경상대학교 응용생물학과 부교수
※관심분야: 세포간 통신, 식물 세균학과 질병 발병, 미생물학, 다중세포 습성



김정필(Jeong-Pil Kim)

1990년 2월 부산대학교 중어중문학과 학사
1995년 1월 대만 국립정치대학 중국문학연구소 석사
2006년 8월 경북대학교 대학원 중어중문학과 박사
2005년 9월~2006년 8월 부산대학교 중어중문학과 조교
2010년 3월~2014년 2월 경상대학교 중어중문학과 조교수
2014년 3월~현재 경상대학교 중어중문학과 부교수
※관심분야: 어법론, 의미론, 언어문화론, 매체언어, 광고 언어