

# 이기종 셀룰러 네트워크에서 다중안테나 시스템을 위한 압축 센싱 기술을 이용한 채널 추정 기법에 관한 연구

강재원, 박진배, 상영진, 김광순  
연세대학교

{kjwtvic, spacey2k, yjmich, ks.kim}@yonsei.ac.kr

## Channel Estimation Technique using Compressive Sensing for Heterogeneous MIMO Cellular Systems

Jae Won Kang, Jin Bae Park, Young Jin Sang, Kwang Soon Kim  
Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

### 요 약

본 논문은 이기종 셀룰러 네트워크에서의 다중 안테나 시스템을 위한 채널 추정 기법을 제안한다. 제안된 기법은 늘어난 다양한 계층의 기지국 및 안테나 수에 필요로 되는 파일럿 오버헤드를 줄이기 위하여 압축 센싱 기술을 적용하며 채널 추정 정확도 향상을 위하여 각 기지국 간 파일럿 시퀀스들의 상호 상관 관계의 최대값을 최소화하게 설계된다.

### I. 서론

최근 데이터 트래픽의 급격한 증가와 보다 우수한 질적 서비스에 대한 요구는 기존 3rd generation partnership project long term evolution (3GPP-LTE)와 같은 이동 통신 시스템에서는 한계에 도달하고 있다. 이기종 셀룰러 네트워크는 폭발적인 데이터 트래픽의 미래 수요를 충족하기 위한 차세대 통신 시스템이다. 매크로, 피코, 펌토 셀 및 중계기가 혼재되어 있으며, 유연하고 저렴한 비용으로 구축이 용이하며 매크로 셀룰러 시스템 비해 커버리지와 채널 용량 면에서 큰 장점을 보유한 유망한 시스템이다 [1].

이기종 셀룰러 네트워크 시스템에서의 동일 계층 및 타 계층간 간섭을 제거하기 위한 효과적인 기술 중 대표적인 기술은 coordinated multipoint (CoMP) 송수신 기술들이다. 그러나 협력 기지국 수 및 안테나 수의 증가로 인해 송신단에서 요구되는 채널 상태 정보 (CSI) 급격하게 증가하게 된다. 그러므로 CoMP 를 수행하는 그룹의 모든 기지국들에 대한 채널을 추정하기 위한 파일럿 오버헤드 및 채널 추정의 정확도는 매우 중요한 문제이다[2].

압축 센싱 기법은 응용 수학 및 신호 처리 분야에서 많은 주목을 받고 있다. 통신 분야에서는 압축 센싱 기법이 주로 sparse 한 채널 추정 및 그 응용 기술들에 대한 연구되고 있다. 물리적인 다중 경로 채널 계수의 대부분은 0 또는 0 에 가까운 sparse 구조를 가진다는 특성으로부터, 수신기에서 압축 센싱을 사용하는 효과적인 채널 추정 기법이 수행될 수 있다 [3].

본 논문에서는 이기종 셀룰러 네트워크 시스템에서 CoMP 기술을 사용하여 간섭을 줄이는 경우, CoMP 그룹내 기지국들의 파일럿 오버헤드 최소화 및 정확도 향상을 위하여 압축 센싱 기법을 이용한다. 이 경우 채널 추정 성능의 정확도는 각 기지국들의 파일럿 시퀀스들의

상호 상관 관계 최대 값에 의해 결정되게 된다. 그러므로 파일럿 시퀀스들은 이 값을 최소화하도록 각 기지국들에 할당된다.

### II. 본론

본 논문에서는 그림 1 과 같이 펌토 기지국들이 매크로 기지국들에 비해 높은 밀도를 가지며 기존 매크로 기지국 커버리지와 겹치는 두 계층의 네트워크 모형을 고려한다. 매크로 기지국들은 spatial Poisson point process 에 따라 랜덤하게 분포하며, 펌토 클러스터들은 homogeneous spatial Poisson point process 에 따라 랜덤하게 분포하며, 클러스터에 속한 펌토 기지국들은 Poisson clustered process 에 따라 랜덤하게 분포한다.

압축 센싱 기술을 채널 추정 기법에 적용할 경우 채널 추정의 성능은 채널의 sparsity 와 수신 신호 전력 대 잡음 전력비, 파일럿 시퀀스간의 상호 상관 관계 값의 최대값에 의해 결정된다. 채널 추정 오류값,  $\sigma_E^2$  은

$$\sigma_E^2 \leq \frac{N_0 + \epsilon}{\sqrt{1 - \theta(4S - 1)}}$$

와 같다 [4]. 여기서  $N_0$  는 수신기에서의 잡음 전력,  $\theta$  는 파일럿 시퀀스들간 상호 상관관계 함수의 최대값,  $S$  는 그룹내 채널 추정 해야 할 모든 기지국들의 채널의 sparsity 를 포함한 sparsity 이다 Pseudo-noise 시퀀스 또는 Chu 시퀀스는 비교적 좋은 상관 관계 특성을 가지고, 그리고 3rd generation partnership project long term evolution (3GPP-LTE) 많은 상업 셀룰러 시스템

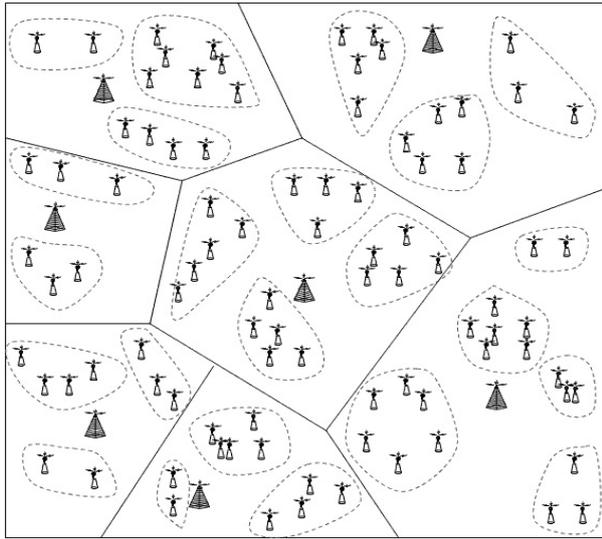


그림 1. 이기종 셀룰러 시스템

표준에 채택되었다. 특히, Chu 시퀀스의 경우, 시퀀스의 길이가 소수일 때, 상관 관계 값의 최대값이 항상 최소화된다.  $N$  과 서로 소인 수들의 집합  $\mathbf{R}_N$  에 대하여 길이가  $N$  의 Chu 시퀀스 집합은  $\mathbf{C}_N = \{a_N^r \mid r \in \mathbf{R}_N\}$  로 정의되며, 시퀀스  $a_N^r$  의  $k$  번째 원소는 다음과 같다.

$$a_N^r(k) = \exp\left(\frac{jrk(k+(N)_2)}{2}\right)$$

본 논문에서는 소수의  $N$  길이를 가지는 서로 다른 Chu 시퀀스를 각 기지국의 파일럿 시퀀스로 할당하며, 동일 기지국의 각각의 안테나들에는 안테나 파일럿간 직교성을 유지시키기 위하여 각 기지국에 할당된 Chu 시퀀스들을 보호 구간의 길이에 해당하는 샘플 수 만큼 자기 순환 쉬프트시키게 된다 그러면  $b$  번째 기지국의  $t$  번째 안테나 할당되는 파일럿 시퀀스는 다음과 같다.

$$P_t^b(k) = a_N^b(k + Lt)$$

이 경우, 각 기지국 파일럿들은 Chu 시퀀스의 상관 관계 특성에 의해 상관 관계 값의 최대값이 최소화되므로 효과적으로 압축 센싱 기법을 이용하여 채널 추정을 할 수 있다. 그림 2 에서는 압축 센싱 기법을 이용한 채널 추정 기법과 least square 방식을 이용한 채널 추정 기법의 이기종 셀룰러 네트워크의 클러스터 내 평균 기지국 수에 따른 채널 추정 MSE (mean square error) 값을 보여주고 있다. 각 기지국의 안테나에서 채널은 서로 독립적이며 sparsity 는 2 로 한정 하였다. 거리에 따른 경로 손실 상수는 1.75, 안테나 개수는 4, 채널 추정이 요구되는 협력 그룹내 기지국 수는 5 로 설정하였다. 결과로부터 볼 수 있듯이 채널이 sparse 할 경우 기존 least square 방식에 비해 압축 센싱 기법을 이용할 경우 월등한 성능 향상을 기대 할 수 있다.

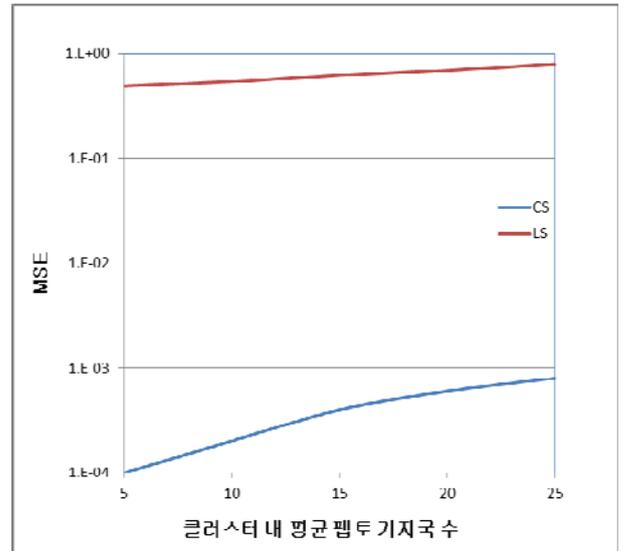


그림 2. 이기종 셀룰러 시스템에서의 클러스터 내 평균 펄드 기지국 수에 따른 채널 추정 MSE 값

### III. 결론

Chu 시퀀스를 이용한 파일럿 시퀀스를 이용한 압축 센싱 기법을 이용할 경우 기지국간 협력과 같이 많은 채널 정보와 파일럿 오버헤드가 필요로 되는 다중 안테나 이기종 네트워크 환경에서 효과적이고 정확하게 채널 추정을 할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2011-(C1090-1111-0005)).

### 참고 문헌

- [1] M. Danzeisen, T. Braun and S. Winiker, "Heterogeneous Communications Enabled by Cellular Operators," *IEEE Vehicular Technology*, vol. 24, no. 3, pp. 128-140, March 2006.
- [2] S. A. Ramprasad, G. Caire and H. C. Papadopoulos, "A Joint Scheduling and Cell Clustering Scheme for MU-MIMO Downlink with Limited Coordination", in *Proc. IEEE International Conference Commun.*, May, 2010.
- [3] J. Romberg, "Multiple channel estimation using spectrally random probes," in *Proc. SPIE Conference on Wavelets XIII*, vol 7446, pp. 744606- 1- 6, San Diego, CA, August 2009.
- [4] S. Gurevich and R. Hadani, "Incoherent dictionaries and the statistical restricted isometry property," submitted to *IEEE Trans. Inform. Theory*, Mars 2009.
- [5] D. C. Chu, "Polyphase codes with good periodic correlation properties," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-18, no. 4, pp. 531--532, July 1972.

