

# 셀룰러 시스템에서 하이브리드 빔형성을 이용한 간섭완화

황해광, 권중형, 최경준, 김광순\*

연세대학교, 연세대학교, 연세대학교, \*연세대학교  
hwang819@yonsei.ac.kr, mercury628@yonsei.ac.kr,  
kyungjun.choi@yonsei.ac.kr \*ks.kim@yonsei.ac.kr

## A Study on the interference mitigation using the hybrid beamforming for cellular systems

Hae Gwang Hwang, Joong Hyung Kwon, Kyung Jun Choi, Kwang Soon Kim\*  
Yonsei Univ., Yonsei Univ., Yonsei Univ. Yonsei Univ. \*Yonsei Univ.

### 요약

본 논문은 하이브리드 빔 형성 안테나를 이용하여 기지국과 사용자 사이의 정확한 빔 방향에 대한 정보 없이, 빔 방향성에 대한 통계적인 정보만을 이용하는 빔 형성 가중치 벡터 결정 기법을 제안하고 제안한 방법을 통해 셀룰러 시스템의 하향 전송 환경에서 빔 방향성의 오차에 의한 수신 신호 대 간섭 비 열화를 극복할 수 있음을 모의실험을 통해 보인다.

#### I. 서론

현재 상용화가 이루어진 3GPP LTE (long-term-evolution) 와 표준화 작업이 진행 중인 LTE-Advanced를 포함한 이동 통신 시스템은 급격하게 증가하는 데이터 전송률 요구치를 만족시키기 위하여 다중 안테나를 이용한 빔 형성 기술을 여러 가지 대안 중 하나로 선택하고 있다. 다중 안테나를 이용한 빔 형성 기술은 빔 형성 가중치 벡터 (weight vector)를 적용하는 위치에 따라 아날로그 빔 형성 안테나와 디지털 빔 형성 안테나로 구분할 수 있다. 디지털 빔 형성 안테나는 아날로그 빔 형성 안테나 보다 복잡한 디지털 신호 처리에 의한 다중 빔 형성, 빔 방향 추정 및 간섭 제어 등이 가능하기 때문에 상대적으로 높은 성능을 기대할 수 있으나 안테나의 수가 증가할수록 디지털 신호로 변환하고 처리하기 위한 하드웨어 복잡도 문제가 발생한다 [1][2].

이에 대한 대안으로 아날로그 빔 형성과 디지털 빔 형성을 순차적으로 수행하는 하이브리드 빔 형성 안테나가 제안되었다 [3]. 하이브리드 빔 형성 안테나는 아날로그 빔 형성을 우선적으로 수행함으로써 디지털 빔 형성에 관여하는 디지털 채널 수를 줄이는 과정을 통해 안테나 수 증가에 따른 하드웨어 복잡도를 줄일 수 있다.

그러나 안테나 수가 증가할수록 형성된 빔의 폭이 좁아지기 때문에 무선 채널의 특성에 의해 수신 신호의 전력을 최대화시키는 빔 방향과 기지국이 예측한 빔 형성 방향 사이의 오차에 의한 수신 신호 전력 감소는 형성되는 빔의 폭이 좁을수록 심해진다. 본 논문에서는 하이브리드 빔 형성 안테나를 이용하여 빔 방향성의 통계적인 특성을 이용한 빔 형성 기법을 제안한다. 제안한 빔 형성 기법을 통해 실제 빔의 방향성이 사용자의 이동과 측정 오차 등에 의해 랜덤하게 변할 때 빔 방향을 추적하지 않더라도 빔 방향성의 오차에 의한 수신 신호 전력 감소를 극복할 수 있음을 보인다.

#### II. 본론

본 논문에서는 그림 1 과 같은 M개의 안테나와 L 개의 물리적 디지털 채널로 구성된 하이브리드 빔 형성 안테나를 사용하는 셀룰러 시스템에서의 빔 형성 상황을 고려한다. 이 때 각 기지국은 라운드 로빈 스케줄링 (round robin scheduling) 에 의하여 한 명의 사용자에 대하여 빔 형성을 수행하며 기지국 간의 협력은 없다고 가정한다. 사용자가 수신하는 신호는 단일 경로만 고려할 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_{n,k} = \overline{h}_{n,k}(\theta_{n,k}) \overline{w}_{n,k}^T + \sum_{i=1, i \neq n}^L \overline{h}_{i,q}(\theta_{n,k}) \overline{w}_{i,q}^T \quad (1)$$

이 때  $\overline{h}_{n,k}$ 는 n번째 기지국과 n번째 기지국의 k번째 사용자에 대한 채널로 기지국의 안테나 수가 M 이며 사용자의 안테나 수가 1인 열 벡터로 정의한다. 이 때 기지국과 사용자 사이의 빔 방향,  $\theta_{n,k}$ 를 평균 빔 방향  $\hat{\theta}_{n,k}$ 인 균등 분포 모형을 따르고 이 때 분포 범위를  $\Delta_{n,k}$ 로 정의한다.  $\overline{w}_{n,k}$ 는 그에 따른 기지국의 빔 형성 가중치 열벡터이며 수신시 발생하는 잡음은 편의상 생략한다. 각 기지국은 인접한 기지국으로부터의 간섭에 대한 정보는 없다고 가정한다. 각 기지국은 사용자와의 빔 방향에 대한 평균 방향과 분포 범위에 대한 통계적인 정보만 이용할 수 있다고 가정한다. 기지국은 형성된 빔의 폭을 결정하기 위해 평균 빔 방향과 분포 범위를 이용하여 식 (2)에 따라 빔 형성 가중치 벡터에 사용할 논리적 디지털 채널 수를 결정한다.

$$L_{n,k} = \underset{s}{\operatorname{argmin}} \left| B(s) - \Delta_{n,k} \right| \quad (2)$$

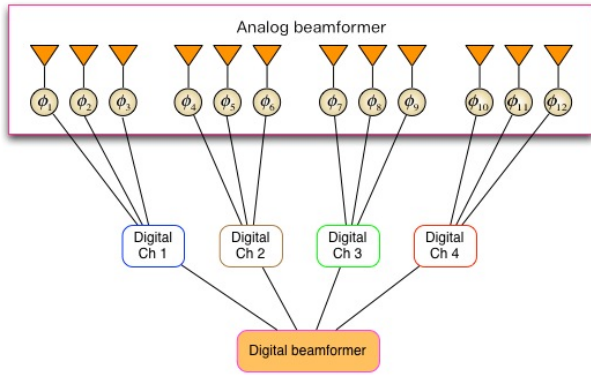


그림 1 하이브리드 빔 형성 안테나의 구조 (예: M=12, L=4)

식 (2)에서  $L_{n,k}$ 는 n번째 기지국의 k 번째 사용자에 대해서 사용할 논리적 디지털 채널의 수이고  $B(s)$ 는 s개의 논리적 디지털 채널을 사용할 경우에 대한 빔폭으로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$B(s) = \pi - 2\text{acos}\left(\frac{2 \times 1.391}{\pi s}\right) \quad (3)$$

$\Delta_{n,k}$ 는 n번째 기지국의 k 번째 사용자에 대한 빔 방향의 변화폭을 의미한다. 위의 논리적 디지털 채널 수 결정은 하이브리드 빔 형성 안테나의 디지털 빔 형성단의 추가적인 신호 처리를 통해 아날로그 빔 형성에 활용되는 안테나의 수가 물리적인 한 디지털 채널에 연결된 안테나 수 단위로 가변될 수 있음을 의미한다. 이를 바탕으로 기지국은 식 (4)의 빔 형성 가중치 벡터를 결정한다.

$$\bar{w}_{n,k} = [\bar{w}_1(\hat{\theta}_{n,k}) \cdots \bar{w}_{L_{n,k}}(\hat{\theta}_{n,k})]^T \quad (4)$$

$$\bar{w}_l(\hat{\theta}_{n,k}) = \cdots = \bar{w}_{L_{n,k}}(\hat{\theta}_{n,k}) \quad (5)$$

이 때  $\bar{w}_l(\hat{\theta}_{n,k})$ 은 l번째 디지털 채널에서 사용하는 빔 형성 가중치 벡터로 각 논리적 디지털 채널 단위로 동일한 빔 형성 가중치 벡터를 사용한다. 다중 사용자 전송을 할 경우 논리적 디지털 채널의 빔 형성 가중치 벡터  $\bar{w}_l(L_{n,k})$ 를 각 사용자의 빔 방향에 따라 맞춰줌으로써 빔의 방향성을 이용한 다중 사용자 전송이 가능하다. 제안하는 빔 형성 방법은 스케줄링된 사용자의 빔 방향성에 대한 통계적인 정보를 이용하여 빔 형성에 사용할 안테나의 수를 결정하고 사용자의 평균적인 빔 방향성에 맞춰서 송신 빔 형성하는 것이다 이를 통해 기지국에서 전송하는 신호가 채널의 변화에 빔 방향성이 변하더라도 변화 정도에 따라 안테나 수 조절을 통한 빔의 폭을 조절함으로써 약간의 수신 전력의 손해를 감수하고 빔 방향성 오차에 의한 수신 전력 변화폭을 낮춤으로써 빔 방향성에 대한 통계적인 정보를 이용할 수 있게 된다.

그림 2는 PPP (poisson point process)로 기지국과 사용자를 발생시킨 환경에서 기지국의 안테나 수가 6개, 디지털 채널의 수가 2개인 하이브리드 빔 형성 안테나를 사용하였을 때, 하향 링크 환경에서 제안한 빔 형성 기법의 수신 신호 대 간섭 비의 분포를 모의실험을 통하여 구한 결과이다. 제안한 빔 형성 기법과 기지국이 단일 안테나를 사용하였을 때 ('Single Antenna'), 6개의 안테나를 이용하여 미리 정해진 빔 방향에 대한 빔 형성 가중치 벡터 중 평균 빔 방향인  $\hat{\theta}_{n,k}$ 를 기준으로 빔 방향을 결정한 고정 빔 형성 기법 ('Fixed Beamforming'), 채널의 변화에 따른 빔 방향

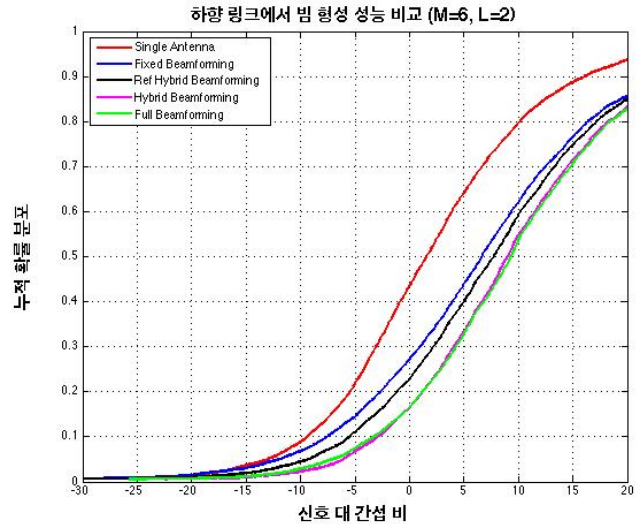


그림 2 하향 링크에서 하이브리드 빔 형성 성능 비교

성의 변화폭을 제외한 평균 빔 방향만을 고려할 경우 ('Ref. Hybrid beamforming')와 실제 기지국과 사용자 사이의 빔 방향성을 알고 있을 때 ('Full Beamforming')에 대한 모의실험 결과와 비교하면 제안하는 빔 형성 기법이 채널 변화에 의한 빔 방향성의 변화에 대한 통계적 특성을 추가로 고려하여 빔폭을 조절함으로써 실제 기지국과 사용자 사이의 빔 방향성을 알고 있을 경우에 근접한 신호 대 간섭 비의 분포를 보여줌을 확인할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 안테나 수의 증가에 따른 디지털 빔 형성 안테나의 복잡도 문제를 해결하기 위한 하이브리드 빔 형성 안테나의 구조적 특성을 이용하여 채널 변화에 따른 빔 방향성의 통계적 특성을 활용하여 기지국에서 알고 있는 방향성 정보와 실제 빔 방향성 사이의 오차에 의한 수신 신호 전력의 감소에 의한 성능 열화를 극복할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 방법과 빔 방향성만을 이용하는 방법들에 대한 모의실험을 통하여 제안한 방법의 수신 신호 대 간섭 비의 개선을 확인할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the KCC (Korea Communications Commission), Korea, under the R&D program supervised by the KCA (Korea Communications Agency). (KCA-2012-12-911-04-004).

### 참고 문헌

- [1] S. D. Blostein and H. Leib, "Multiple antenna system: Role and impact in future wireless access," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 5, pp. 2373-2378, 2011.
- [2] F. Gholam, et al., "Beamforming design for simplified analog antenna combining architectures," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 5, pp. 280-283, 2006.
- [3] N. Celik, et al., "Implementaion and experimental verification of hybrid smart-antenna beamforming algorithm," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 5, pp. 280-283, 2006.