

논문 2010-47TC-7-5

셀룰러 시스템의 섹터 간 협력 전송 시 최적의 안테나 틸팅 각도 결정 방식

(On Optimal Antenna Tilting Angles for Cooperative Transmissions
Between Sectors in Cellular Systems)

고진석*, 김재원*, 박종현*, 성원진**

(Jinseok Ko, Jaewon Kim, Jonghyun Park, and Wonjin Sung)

요약

최근 3GPP LTE-Advanced 및 IEEE 802.16m과 같은 차세대 통신 규격에서 섹터 간 협력 전송이 중요 연구주제가 되었고, 그에 따라 기존 비협력 전송에서와 마찬가지로 섹터 간 협력 전송 시에도 최적의 안테나 틸팅 각도를 결정하는 방식의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 섹터 간 협력 전송 및 비협력 전송 시 최적의 안테나 틸팅 각도를 결정하는 방식들을 제안한다. 제안하는 방식은 섹터 반경 내에 동일하게 분포하는 사용자의 전송률 평균인 셀 평균 전송률 또는 셀 평균 로그 전송률을 최대화하는 목적함수를 활용한다. 또한 이론적 용량인 Shannon 전송률 대신 실제 셀룰러 시스템에서 활용되는 AMC (adaptive modulation and coding) 방식을 고려한 셀 평균 AMC 전송률을 최대화하는 목적함수도 함께 활용한다. 협력 및 비협력 전송 시 셀 평균 전송률을 목적함수로 고려하는 경우에는 시스템 전송 효율성을 최대화 하며, 셀 평균 로그 전송률 및 AMC를 목적함수로 활용하는 경우에는 특히 셀 경계 사용자의 전송 효율성 증대를 크게 반영하는 최적의 안테나 틸팅 각도를 결정하는 방식을 제시한다.

Abstract

The cooperative transmission between sectors in next generation communications standards, e.g., 3GPP LTE-Advanced and IEEE 802.16m, has become an important research issue. Hence methods to decide the optimal antenna tilting angle in cooperative transmission between sectors are needed. This paper proposes methods to decide the optimal antenna tilting angle in cases of non-cooperative and cooperative transmissions between sectors. The proposed methods use an objective function that maximizes the cell average log rate or the cell average rate for users distributed uniformly within the radius of the sector. Also, the objective function which maximizes the cell average rate determined by adaptive modulation and coding (AMC) used in actual cellular systems is considered. When the cell average rate becomes the objective function, the system rate efficiency increases significantly for both cooperative and non-cooperative transmission. When the cell average log rate and the AMC rate become the objective functions, an optimal antenna tilting decision method which effectively increases the efficiency of cell boundary users is discussed.

Keywords : 안테나 틸팅 각도, 셀 평균 전송률, 셀 평균 로그 전송률, AMC

I. 서론

무선 이동통신 기술의 비약적 발전과 함께 사용자의 전송률을 증가시키기 위한 다양한 방법이 연구되고 있다. 셀룰러 시스템 사용자의 전송률 증대를 위해서는, 수신 전력을 증가시킬 뿐 아니라 인접 셀로부터의 외부

* 학생회원, ** 평생회원, 서강대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Sogang University)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1031-0009).

접수일자: 2010년6월9일, 수정완료일: 2010년7월17일

간섭량을 효과적으로 감소시켜야 한다. 수신 전력을 증가시키기 위한 방법으로는 기지국의 안테나 각도 조절을 통해 경로 손실을 감소시키는 방법이 연구된 바 있다^[1]. 또한 인접 셀 간섭을 줄이기 위한 방법으로 기지국간 협력 전송을 활용할 수 있으며, 이는 특히 최근 3GPP LTE-Advanced 및 IEEE 802.16m 등의 차세대 통신 규격에서 주요 기술로 인정받고 있다.

최적의 안테나 틸팅 각도를 구하기 위한 방법으로, 2-ray 모델에서의 최적의 안테나 틸팅 각도, 안테나 빔폭에 따른 안테나 틸팅 각도^[3], WCDMA 및 각종 시스템에 적용했을 때의 최적의 안테나 틸팅 각도^[4-5] 등이 연구되었다. 하지만 실제 환경에서는 여러 사용자가 동시에 서비스를 받고 있기 때문에, 셀 내에 여러 사용자가 존재할 경우에 최적의 안테나 틸팅 각도에 대한 수식적인 접근 및 분석이 요구된다.

기지국간 협력 전송방식은 특히 셀 경계 사용자들의 수신 SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)을 효과적으로 향상시킬 수 있는 방식이다. 협력 전송에서 최대의 전송률을 얻기 위해 최적의 전송 방식^[6]을 위한 연구와 협력 전송을 사용했을 때 사용자 스케줄링 방법^[7] 등이 주요 연구가 되고 있다. 비협력적 전송의 경우와 마찬가지로, 협력 전송의 경우에도 최적의 안테나 틸팅 각도에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 협력 전송과 비협력전송에서의 최적의 안테나 틸팅 각도를 수식적인 분석을 통해 찾는다. 최적의 안테나 틸팅 각도를 찾기 위해 셀 내 균일하게 분포하는 사용자를 대상으로 전송 효율성과 공평성을 고려하고, 실제 셀룰러 시스템에서 사용하는 AMC (Adaptive Modulation and Coding)를 적용한다. 이를 기반으로 협력 전송과 비협력 전송에서의 최적의 안테나 틸팅 각도를 구한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 시스템 모델을 정의하고 전송 방식에 대한 설명을 한다. III 장에서는 셀 평균 전송률 및 셀 평균 로그전송률을 고려했을 때의 최적의 안테나 틸팅 각도 결정 방식을 제시하고 분석한다. IV 장에서는 AMC를 고려했을 때의 최적의 안테나 틸팅 각도 결정 방식을 제안하며, V 장에서는 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델 및 전송 방식

그림 1.(a)는 서빙 셀의 기지국으로부터 교신신호를

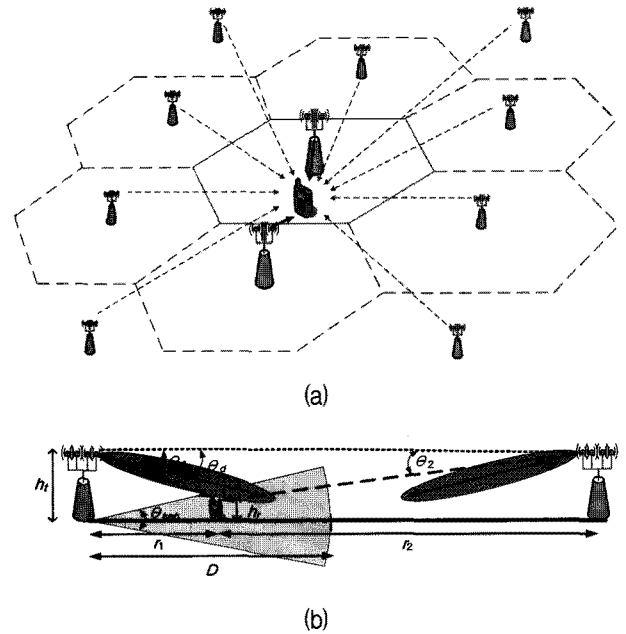


그림 1. 시스템 모델
(a) 다중셀 모델 (b) 단순화한 2셀 모델

Fig. 1. System model.
(a) Multi-cell model (b) simplified 2-cell model

수신하고 인접 셀 기지국들로부터는 간섭을 받는 일반적인 셀룰러 시스템의 환경을 나타낸다. 수신 전력의 경로 손실 전력은 $r^{-\alpha}$ 으로, r 이 증가함에 따라 지수적으로 급격히 작아지게 된다. 따라서 대부분의 경우 사용자는 인접한 기지국 두 개에 의한 영향을 가장 크게 받게 되고, 그림 1.(b)의 인접한 두 개의 기지국을 고려한 2셀 시스템으로 모델링할 수 있다.

사용자가 받는 수신 전력은 안테나 틸팅 각도에 따라 변화하게 되며, 그 시스템 모델은 그림 1.(b)에 도시하였다. h_t 와 h_r 은 각각 기지국과 사용자의 안테나 높이이고, 기지국에서의 안테나 틸팅 각도는 θ_t 이다. 사용자와 가까운 기지국과의 거리는 r_1 , 거리가 먼 기지국과의 거리는 r_2 로 정의하고 사용자와 가까운 기지국과의 각도를 θ_1 , 거리가 먼 기지국과의 각도를 θ_2 로 정의한다. 그리고 한 개의 기지국이 커버하는 셀 반경은 D , 안테나의 섹터 반경 각도는 θ_{sec} 으로 정의한다. 사용자와 기지국과의 각도는 사용자와 기지국 사이의 거리 r 과 안테나 높이 h_t, h_r 로 표현이 가능하다. 이때 기지국과 사용자의 각도 θ_i 는

$$\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{h_t - h_r}{r_i}\right), i = 1, 2 \tag{1}$$

와 같으며, 이 각도에 따른 손실 전력은

$$G(\theta_d - \theta_i) = -12 \left(\frac{\theta_d - \theta_i}{\theta_{3dB}} \right)^2, \quad i=1,2 \quad (2)$$

와 같다. 따라서 경로손실 및 안테나 패턴에 의한 손실을 함께 고려하여 사용자의 수신 전력을 표현하면

$$P_{dB}(r_i, \theta_d) = P_{\max} - 10\alpha \log r_i - G(\theta_d - \theta_i), \quad i=1,2 \quad (3)$$

와 같으며, 이때 α 는 경로 감쇄 상수이고, P_{\max} 는 기지국의 최대 송신 전력이다. 위의 수신 전력을 선형 스케일로는

$$P(r_i, \theta_d) = \frac{P_{\max}}{r_i^\alpha} 10^{-G(\theta_d - \theta_i)}, \quad i=1,2 \quad (4)$$

와 같이 표현 가능하며, 여기서 $r_2 = 2D - r_1$ 이기 때문에, $r = r_1$ 이라고 정의한다면 사용자와 가까운 거리에 있는 기지국으로부터 받는 수신 전력은 $P(r, \theta_d)$ 이 되고, 먼 거리에 있는 기지국으로부터 받는 수신 전력은 $P(2D - r, \theta_d)$ 가 된다.

이하에서는 분석 및 실험을 위해 기지국과 사용자 채널 사이의 경로 감쇄 상수는 $\alpha = 3.76$ 이고 안테나 당 최대 전송 전력은 $P_{\max} = 1$ 로 제한하였다. 또한 기지국과 사용자의 안테나는 각각 1개인 환경을 고려하며, θ_{sec} 은 $3/\pi$ 로 가정한다. 사용자는 셀 반경 내에 동일한 확률로 분포되어 있다고 가정한다. 기지국의 높이 $h_t = 32\text{m}$ 이고, 사용자의 높이 $h_r = 1.5\text{m}$ 로 가정한다.

신호 전송방식은 인접 기지국 간의 협력여부에 따라 두 가지로 나누며, 두 개의 기지국의 전송신호를 모두 교신 신호로 사용하는 방식을 협력 전송이라 하고, 가까운 기지국 신호를 교신 신호로 받고 먼 기지국의 신호는 간섭으로 작용하는 경우는 비협력 전송이라 한다. 따라서 (4)의 수신 신호 전력을 활용하여 협력 전송의 SINR를

$$\gamma_n = \frac{P(r, \theta_d)}{P(2D - r, \theta_d) + \sigma^2} \quad (5)$$

으로 나타내며, 비협력 전송의 신호 대 잡음비를

$$\gamma_c = \frac{P(r, \theta_d) + P(2D - r, \theta_d)}{\sigma^2} \quad (6)$$

으로 나타낸다. σ^2 은 잡음전력, 외부 셀 간섭, 그리고 안테나 패턴을 고려했을 때 인접 섹터로부터의 간섭성분이 더해진 간섭 수신 전력이다.

III. 셀 평균 전송률을 이용한 최적의 안테나 틸팅 각도 결정 방식

가우시안 코드북을 활용하는 Shannon 전송률 함수를 활용하여 사용자의 전송률을

$$C_1(r, \theta_d) = \log_2(1 + \gamma) \quad (7)$$

와 같이 나타낼 수 있으며, 이에 추가적으로 공평성을 고려하기 위해 로그함수를 적용하여

$$C_2(r, \theta_d) = \log \log_2(1 + \gamma) \quad (8)$$

와 같은 로그 전송률을 정의한다. 수식 (7), (8)에서의 γ 는 전송방식에 따라 수식 (5) 또는 (6)을 사용한다. 전송률과 로그 전송률은 모두 r 과 θ_d 로 이루어져있고, 사용자들이 기지국의 범위 내에 동등한 확률로 분포되어 있다고 가정하였기 때문에 r 에 대한 적분을 통해 평균 전송률 및 로그 평균 전송률을 구할 수 있다.

$$\bar{C}_i(\theta_d) = \frac{2\pi}{\theta_{\text{sec}} \times \pi} \times \frac{1}{D^2} \int_0^D \int_0^{\theta_{\text{sec}}} C_i(r, \theta_d) d\theta dr, \quad i=1,2 \quad (9)$$

$\bar{C}_1(\theta_d)$ 는 셀 평균 전송률이고, $\bar{C}_2(\theta_d)$ 는 셀 평균 로그 전송률이다. 셀 평균 전송률은 사용자들의 평균 전송률로 전송률이 높은 사용자에 의해 주된 영향을 받고, 셀 평균 로그 전송률은 사용자들의 평균 로그 전송률로 로그 함수의 특성에 따라 전송률이 낮은 사용자에 의해 주된 영향을 받는다.

셀 평균 전송률과 셀 평균 로그 전송률을 각각 최대화 시키는 θ_d^* 값은

$$\theta_d^* = \arg \max_{\theta_d} (\bar{C}_i(\theta_d)), \quad i=1,2$$

와 같이 구할 수 있다.

그럼 2는 셀 평균 전송률 및 셀 평균 로그 전송률을 고려했을 때의, h/D 가 변화함에 따른 θ_d 를 나타낸다. θ_d 는 셀 반경 D 에 따라 그림 2와 같이 비례하는 양상을 보이며, 이는 셀 반경이 작아질수록 기지국과 사용자 사이의 각도가 커지고 그에 따라 최적의 안테나 틸팅 각도 θ_d 가 커지기 때문으로 해석 할 수 있다. 셀 평균 전송률 측면에서는 기지국에 인접한 사용자의 전송률이 큰 영향을 미치기 때문에, 협력전송과 비협력 전송의 최적의 안테나 틸팅 각도가 거의 유사하다. 셀 평균 로

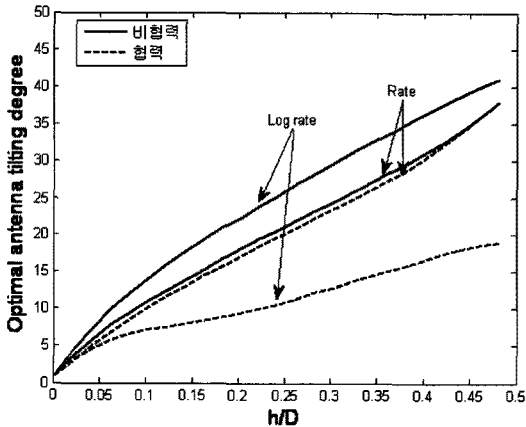


그림 2. h/D 에 따른 최적의 안테나 틸팅 각도
Fig. 2. Optimal antenna tilting degree with h/D .

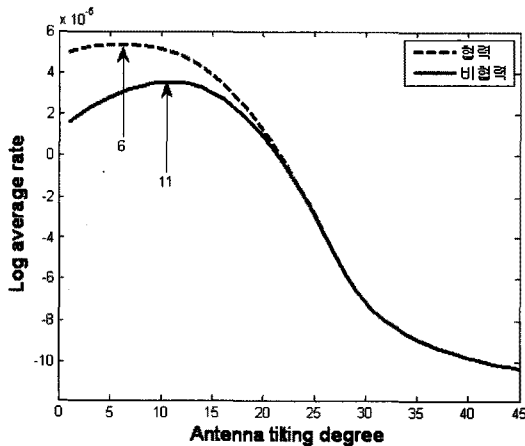


그림 3. θ_d 에 따른 셀 평균 로그 전송률 ($D = 500m$)
Fig. 3. Cell average log rate with θ_d ($D = 500m$).

그 전송률 측면에서는 셀 경계 사용자의 전송률이 큰 영향을 미치고, 셀 경계 사용자의 수신 전력의 증대를 위해 협력 전송 시 안테나 틸팅 각도가 비협력 시 안테나 틸팅 각도보다 낮아야 함을 알 수 있다.

그림 3은 셀 평균 로그 전송률을 고려했을 때 $D = 500m$ 인 macro 셀의 경우, 안테나 틸팅 각도에 따른 셀 평균 로그 전송률에 대한 결과이며 이를 통해 최적 각도 θ_d 를 확인할 수 있다. 최적의 안테나 틸팅 각도에서 협력 전송이 비협력 전송보다 셀 평균 로그 전송률 관점에서 더욱 높은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

IV. AMC를 이용한 최적의 안테나 틸팅 각도 결정 방식

AMC는 SINR에 따라 사용자에게 비트수를 다르게

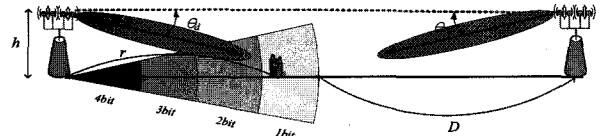


그림 4. AMC 변조 방식에 따른 섹터 내 영역 구분
Fig. 4. Division areas in sector by AMC modulation.

표 1. 변조방식에 따른 SINR 임계값 및 전송률
Table 1. SNR and bits for modulation scheme.

전송률 레벨	변조방식 & 코딩률	전송률 (bps/Hz)	임계값 (dB)
1	QPSK 1/12	0.16	-5.6
2	QPSK 1/8	0.25	-3.8
3	QPSK 1/4	0.5	-1.4
4	QPSK 1/2	1.0	2.1
5	QPSK 3/4	1.5	6.6
6	16QAM 1/2	2.0	7.2
7	16QAM 3/4	3.0	12.2
8	64QAM 1/2	3.0	12.5
9	64QAM 2/3	4.0	16.3
10	64QAM 3/4	4.5	18.6
11	64QAM 5/6	5.0	22.8

할당해 주는 방식으로써, 다양한 변조방식과 채널코딩을 사용하고 이에 따라 사용자의 전송률을 차등으로 배분한다. 그림 4에서는 안테나 틸팅과 AMC를 적용했을 때 발생하는 전송률 별 섹터 내 영역 구분을 예시하였다.

사용자는 셀 내에 동일한 확률로 분포되어있다고 가정하면, 각 전송률 영역에 해당하는 사용자의 수는 그림 4와 같이 그 영역 넓이에 비례하기 때문에 셀 평균 AMC 전송률 $\Pi(\theta_d)$ 를

$$\Pi(\theta_d) = \sum_{n=1}^N R_n S_n(\theta_d) \tag{11}$$

와 같이 정의할 수 있다. R_n 은 각 영역 별 전송률, N 은 전송률 레벨의 개수를 의미하는 값으로써 그 기준으로 표 1의 WiMAX 표준의 AMC를 활용하였다. $S_n(\theta_d)$ 은 n 비트를 사용하는 전송 영역의 넓이이고, 이 영역은 θ_d 에 따라 달라지기 때문에 θ_d 에 관한 함수로 표현이 가능하다. 전송 영역 별 경계 지점은 수신 SINR 값을 기준으로 임계 SINR 값을 갖는 지점 r 에 대한 함수로 표현할 수 있다. 수식 (11)은 θ_d 에 의한 함수이기 때문에 최적의 안테나 틸팅 각도는 수식 (11)번을 최대화 시키

는 θ_d 를 찾음으로써 구할 수 있다.

$$\theta_d^* = \arg \max_{\theta_d} \Pi(\theta_d) \quad (12)$$

하지만 $\Pi(\theta_d)$ 가 임계값을 가질 때의 거리 r 에 대해 닫힌 해 형태의 수식적인 유도가 복잡하기 때문에, 수식 (5), (6)번의 SINR식을 2차함수로 근사화 하여 분석하는 방식을 활용한다. 거리에 따른 SINR은 지수함수의 분포로 감쇄하는데 비해, 거리와 안테나 틸팅 각도를 동시에 고려하였을 경우 거리에 따른 SINR은 그림 5와 같은 concave 함수의 형태를 따른다. 이때 SINR이 최대가 되는 지점을 r_{\max} 라고 정의하고, 이를 수식적으로 유도한다. 거리에 따라 수식 (5)와 (6)을 도시한 그림 5에 따르면, 일반적으로 r_{\max} 는 기지국과 인접한 위치에 발생함을 확인할 수 있다. 따라서 간섭 성분의 양을 무시하고 $\text{SINR} \approx \text{SNR}$ 로 가정하면 SNR을 미분함으로써

$$r_{\max} \approx \arg \max_r \quad (13)$$

와 같이 구할 수 있다. 위의 r_{\max} 값을 통해 전체 구간을 두 개로 나누어 수식 (5) 및 (6)의 SINR을

$$N(r) \approx \begin{cases} a_1 r^2 + b_1 r + c_1 & r \leq r_{\max} \\ a_2 r^2 + b_2 r + c_2 & r > r_{\max} \end{cases} \quad (14)$$

와 같이 2 차함수로 근사화 한다. 각각의 계수는 안테나 틸팅 각도 θ_d 에 따라 달라지고, 이 값은 Appendix에서 look-up table로 정리하였다. SINR이 concave 함수이므로, 각 임계값을 갖는 거리 r 은 두 개씩 존재한다. 따라서 임계값을 갖는 거리를 $r_{k,1}$ 과 $r_{k,2}$ 두 개로 나타낼 수 있고, k 는 각 MCS 레벨을 의미한다. 따라서 각 전송률 별 섹터 영역의 크기는 수식 (15)와 같이 나타낼 수 있다. 이를 활용하여 셀 평균 AMC 전송률을 수식 (15)와 같이 정의하고, 이를 미분함으로써 최적의 안테나 틸팅 각도를 구할 수 있다.

그림 6은 macro 셀 반경 $D = 500\text{m}$ 를 적용 시 근사화 수식 (16)의 $\Pi(\theta_d)$ 의 그래프이다. 셀 평균 로그 전송률을 고려했을 때와 마찬가지로 협력 전송 시의 θ_d 가 비협력 전송 시의 θ_d 보다 더 작은 것을 확인할 수 있다. 또한, 그림 5의 협력 전송과 비협력 전송의 거리에 따른 SINR을 비교하면, 셀 경계 근처의 사용자의 SINR

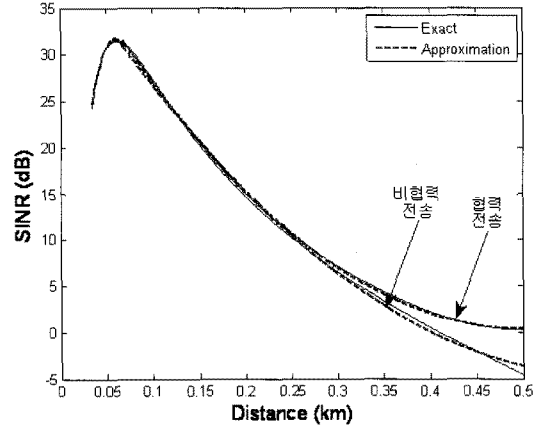


그림 5. 거리에 따른 SINR ($\theta_d = 15^\circ$)

Fig. 5. SINR with distance ($\theta_d = 15^\circ$).

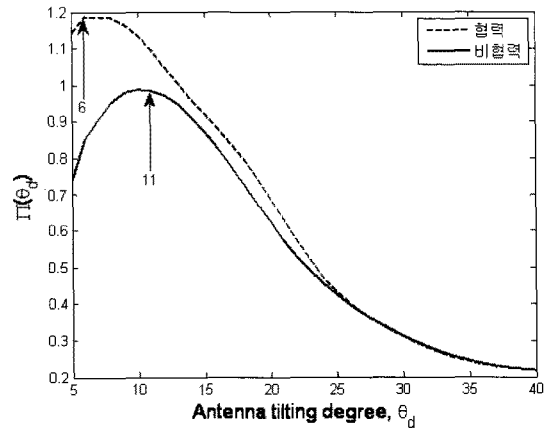


그림 6. 안테나 틸팅 각도에 따른 셀 평균 AMC 전송률 ($D = 500\text{m}$)

Fig. 6. Average AMC rate with antenna tilting degree. ($D = 500\text{m}$)

$$S_n(\theta_d) = \begin{cases} \frac{\theta_{\text{sec}}}{2\pi} \pi [r_{1,1}^2 R_1 + (D^2 - r_{1,2}^2) R_1] & n = 1 \\ \frac{\theta_{\text{sec}}}{2\pi} \pi [(r_{n,1}^2 - r_{n-1,1}^2) R_n + (r_{n-1,2}^2 - r_{n,2}^2) R_n] & n > 1 \end{cases} \quad (15)$$

$$\Pi(\theta_d) = \frac{\theta_{\text{sec}}}{2\pi} \pi \left(\sum_{n=1}^N [(r_{n,1}^2 - r_{n-1,1}^2) R_n + (r_{n-1,2}^2 - r_{n,2}^2) R_n] + R_1 (r_{1,1}^2 + D^2 - r_{1,2}^2) \right) \quad (16)$$

이 협력 전송 시에 더 높은 것을 알 수 있다. 따라서, 셀 평균 AMC 전송률도 셀 평균 로그 전송률과 같이 사용자의 공평성을 고려하여 협력 전송 시의 θ_d 가 비협력 전송 시의 θ_d 보다 작음을 해석할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 셀 반경 내에 사용자가 동일한 확률로 분포되어 있을 경우에 최적의 안테나 틸팅 각도를 결정하는 방식을 제안하였다. 제안 방식 중 셀 평균 전송률을 최적화 성능 지표로 활용하는 경우에는 기지국에 인접한 사용자에 의해 최적 틸팅 각도가 주된 영향을 받으므로 협력 전송과 비협력 전송 시의 최적의 안테나 각도가 유사함을 확인할 수 있었다. 그러나 셀 평균 로그 전송률 및 실제 시스템에 적용되는 셀 평균 AMC 전송률을 성능 지표로 사용하는 경우에는 협력 전송 시에는 비협력 전송 시보다 안테나 틸팅 각도를 낮추어 셀 경계 사용자들의 전송률에 큰 비중을 두어 셀 내 다양한 지역에 위치하는 사용자간 공평성을 향상시켜야 함을 알 수 있다.

APPENDIX: Look-Up Tables

수식 (14)번을 위한 각각의 a, b, c 값을 아래의 표로

표 2. 파라미터 값 ($\sigma^2 \ll P$)

Table 2. Parameter value ($\sigma^2 \ll P$).

	안테나 각도(°)	a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2
비협력	5	-928.3	251.0	18.2	51.0	-110.6	42.3
	10	-8546.4	1165.6	-1.3	81.2	-136.8	48.6
	15	-12122.9	1416.6	3.8	117.5	-167.5	55.3
협력	5	-915.5	265.9	29.5	110.5	-109.8	54.7
	10	-8530.0	1180.3	8.2	131.4	-136.5	59.4
	15	-12107.6	1430.4	10.6	169.5	-168.1	63.2

표 3. 파라미터 값 ($\sigma^2 \gg P$)

Table 3. Parameter value ($\sigma^2 \gg P$).

	안테나 각도(°)	a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2
비협력	5	-9668.1	1478.9	-41.5	65.2	-95.7	23.3
	10	-10963.8	1476.0	-30.5	98.2	-123.4	28.1
	15	-12108.6	1430.4	-19.4	138.8	-155.9	32.2
협력	5	-9609.6	1471.0	-41.2	100.5	-109.8	24.7
	10	-10956.4	1475.2	-30.5	131.4	-136.5	29.4
	15	-12107.6	1430.4	-19.4	169.5	-168.1	33.2

정리한다. $D = 500m$ 인 매크로 셀로 고정하고, $\sigma^2 \ll P$ 와 $\sigma^2 \gg P$ 인 경우 두 개로 나누어 정리한다. 2차 함수로의 근사는 MATLAB의 polyfit 함수를 사용한다.

참고 문헌

- [1] E. Benner and A. Sesay, "Effects of antenna height, antenna gain and pattern downtilting for cellular mobile radio", *IEEE Trans. Vehicular technology*, vol. 45, no. 2, pp. 217-224, May 1996.
- [2] M. V. S. N. Prasad, M. M. Gupta, S. K. Sarkar, and I. Ahmad, "Antenna beam tilting effects in fixed and mobile communication links," *Current Sci.*, vol. 88, no. 7, pp. 1142 - 1147, 2005.
- [3] E. Siachalou, T. Samaras, C. Koukourlis, and S. Panas, "On the beam tilting and bit rate selection in mobile systems," *Electrical Engineering*, vol. 89, no. 2, pp. 107 - 116, 2006.
- [4] J. Niemela, T. Isotalo, and J. Lempinen, "Optimum antenna downtilt angles for macro cellular WCDMA network," *EURASIP Journal on Wireless Commun. Networking*, vol. 2005, no. 5, pp. 816 - 827, 2005.
- [5] I. Forkel, A. Kemper, P. Pabst and Hermans , "The effect of electrical and mechanical antenna down-tilting in UMTS networks", *3 G Mobile Commun. Tech.*, May, 2002, pp 86 - 90
- [6] Q. H. Spencer, A. L. Swindlehurst, and M. Haardt, "Zero-forcing methods for downlink spatial multiplexing in multiuser MIMO channels," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 52, no. 2, pp. 461 - 471, Feb. 2004.
- [7] 이지원, 성원진, "영점 강제 다중 사용자 MIMO 전송 시 셀 간 정보 교환을 활용한 협력적 PF 스케줄러의 성능 평가," 전자공학회 논문지, 제 47권 TC편, 제 2호, 40-46쪽, 2010년 2월.
- [8] 서강운, 윤석현, "3GPP-LTE 및 LTE Advanced에서의 협력전송기술," 전자공학회 논문지, 제 37권 TC편, 제 4호, 51-61쪽, 2010년 4월.
- [9] S. C. Bundy, "Antenna downtilt effects on CDMA cell-site capacity," in *Proc. IEEE Radio and Wireless Conf.*, vol. 2, 1999, pp. 99 - 102.
- [10] M. J. Nawrocki and T. W. Wiecekowsk, "Optimal site and antenna location for UMTS - output results of 3G network simulation software," in *Proc. 14th Microwaves, Radar and Wireless Commun.*, vol. 3, 2002, pp. 890 - 893.
- [11] J. Niemela and J. Lempinen, "Impact of mechanical antenna downtilt on performance of

WCMA cellular network," in Proc. IEEE 59th Veh. Tech. Conf., vol. 4, 2004, pp. 2091 - 2095.

저 자 소 개



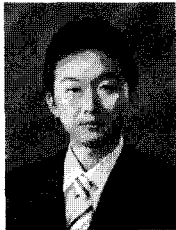
고 진 석(학생회원)
2009년 서강대학교
전자공학과 학사
2009년~현재 서강대학교
전자공학과 석사과정

<주관심분야 : 기지국 간 협력통신, 디지털통신, 분산 MIMO 시스템, 안테나 배열>



박 증 현(학생회원)
2004년 서강대학교
전자공학과 학사
2006년 서강대학교
전자공학과 석사
2006년~현재 서강대학교
전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 기지국 간 협력통신, MU-MIMO, OFDM, Cross-layer design>



김 재 원(학생회원)
2007년 서강대학교
전자공학과 학사
2009년 서강대학교
전자공학과 석사
2009년~현재 서강대학교
전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 기지국 간 협력통신, MU-MIMO, Codebook design, 통계적 신호처리>



성 원 진(평생회원)
1990년 서울대학교
전자공학과 학사
1992년 University of Michigan
EECS 석사
1995년 University of Michigan
EECS 박사

1996년 1월~2000년 8월 Hughes Network Systems 책임 연구원
2000년 9월~현재 서강대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 이동무선통신, 통계통신이론>