

레일리 페이딩 채널에서 스마트 안테나를 적용한 W-CDMA 시스템의 대역폭에 따른 성능분석

이정원, 전준수, 김강온, 김철성
전남대학교 컴퓨터공학과

Analysis of W-CDMA System with Smart Antenna for Different Bandwidths over Rayleigh Fading channel

Jeong-Won Lee, Jun-Soo Jeon, Kang-On Kim, Cheol-Sung Kim
Dept. of Computer Engineering, RRC, Chonnam National Univ.
chskim@chonnam.ac.kr

요약

본 논문에서는 스마트 안테나를 적용하여 서로 다른 대역폭(1.25MHz, 5MHz)과 서로 다른 환경(rural, urban)에서 W-CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 먼저 스마트 안테나 시스템의 성능을 분석하기 위해서 시·공간 상관특성을 갖는 채널이 필요하다. 이를 위해 시간 정보를 고려하기 위해 시변 선형 필터로 모델링하였고, 공간 정보를 고려하기 위하여 배열 응답 벡터를 삽입하였다. 이 때 공간적으로는 일정량의 각도 퍼짐을 갖는 부-다중경로 성분으로 구성된 한 개의 반사파가 한 방향으로부터만 수신된다고 가정하였다. 또한 한 칩 내에 들어오는 다중 경로 성분을 분리하여 가장 큰 신호 성분만을 찾아내어 원하는 사용자의 신호로 사용하는 방법을 모의 실험을 실행하였다. 모의 실험 결과, 협대역 CDMA를 사용하는 스마트 안테나 시스템보다 광대역 CDMA를 사용하는 스마트 안테나 시스템이 더 나은 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 또한 스마트 안테나는 2D-RAKE receiver를 사용했을 때 urban area에서 보다 더 효과적임을 확인할 수 있었다.

1. 서론

이동 통신에 대한 수요가 급증함에 따라 한정된 스펙트럼을 효과적으로 이용하고 하는 연구가 진행되고 있는데 이에 대한 일환으로 CDMA를 들 수 있다.[1] 그러나 현재와 미래의 폭발적인 이동 통신 가입자 수의 증가는 고속의 데이터 전송 시 낮은 BER과 통신시스템 용량의 증가, 통신 품질의 개선을 요구하는 새로운 연구를 요구하게 되었다. 그러한 연구 중에 스마트 안테나 기술을 들 수 있는데, 이는 원하는 가입자의 방향으로 전파를 집중시키고 타 가입자의 간섭 신호는 저하시켜 송·수신함으로써 기존의 이동 통신 시스템의 성능을 획기적으로 향상시킬 수 있는 기술이다. 즉, 복수개의 배열 안테나 소자를 이용하여 각각의 안테나 소자에

서 수신되는 신호들의 이득 및 위상을 조절하여, 기지에서 원하는 사용자의 방향으로부터 전파되어 오는 신호만을 수신하고 그 이외의 방향에서 전파되어오는 다중 접속 간섭에 의한 잡음 신호레벨은 크게 감소시켜, 시스템의 성능을 향상시키고 기지의 채널 용량을 증가시키는 시스템이다. 본 논문에서는 서로 다른 확산 대역폭을 사용하는 시스템에 스마트 안테나를 적용하였을 때 성능을 분석 하고자 한다. 각 다중경로의 분해가능 시간(resolution time)은 100[nsec]이며, 그 크기는 레일리 분포를 따르고 지연 시간에 따라 지속적으로 감소 한다고 가정하였다. 그리고 확산 대역폭이 다른 시스템을 사용하였을 때 한 칩 구간 내에 들어오는 다중 경로 성분을 채널에서 해상 할 수 있는 구간으로 분리하고 가장 큰 신호를 원하는 사용자의 신호로 처리하여 N-CDMA와 W-CDMA에 대한 '성능을 도시채널환경과 교외채널환경에서 분석하였다.

2. 본론

1. 채널 모델링

스마트 안테나 시스템의 성능을 분석하기 위해서 채널을 시변 선형 필터로 모델링 하고 공간 정보를 고려하기 위하여 배열 응답 벡터를 삽입함으로써 시간과 공간 정보를 갖는 벡터 채널 모델을 사용하였다. [2]

$$h_k(t) = \sum_{d=1}^D \sum_{l=1}^L \rho_{k,d,l} \delta(t-t_{k,d,l}) \exp(j\beta_{k,d,l}) \times a(\theta_{k,d,l}) \quad (1)$$

D는 클러스터(해상 가능한 경로개수)의 수이며 각 클러스터는 서로 다른 시간지연과 평균 DOA에서 Δ 만큼의 AOS를 갖는 L개의 부-다중경로 성분으로 구성되어 있고 각 부-다중경로는 서로 다른 크기와 위상을 갖는다. L은 k번째 사용자의 d번째 클러스터에 의한 부-다중경로의 수이다. $\rho_{k,d,l} = A\alpha_{k,d,l}e^{-\delta_{k,d,l}}$ 로 나타낼 수 있으며 A는 $\rho_{k,d,l}$ 의 평균값이고, $\alpha_{k,d,l}$ 은 수신신호 성분들의 전

력이 같따라는 가정 하에 레일리 분포로 가정한다. $\delta_{k,d,l}$ 은 지수적으로 감소하는 기울기를 나타낸다. $t_{k,d,l}$ 은 경 지연 시간, $\beta_{k,d,l}$ 은 채널에서 발생하는 균일분포의 위상 값 이다. $a(\theta_{k,d,l})$ 은 k번째 사용자의 신호가 d번째 클러 스텐터 내의 l번째 산란체에 의해 수신되는 방향에 의한 배 열 응답 벡터이고 이 값은 안테나 배열 구조에 따라 결정 된다.

$$a(\theta_{k,d,l}) = [1 \ e^{-j\phi_{k,2}} \ \dots \ e^{-j\phi_{k,M}}] \quad (2)$$

M은 안테나 개수, $\phi_{k,m} = \frac{2\pi}{\lambda_k} d_{1,m} \sin(\theta_{k,d,l})$ 이며 $d_{1,m}$ 은 1번째 안테나 소자와 m번째 안테나 소자와의 간 격이다.

2. 스마트 안테나 시스템용 2D-RAKE 수신기

본 논문에서는 입력신호의 낮은 SNR을 개선하고자 상 관기를 빔형성기 전단에 두어서 신호의 SNR 값을 높인 후에 입력신호로 사용하였다. 본 논문에서 사용한 스마트 안테나 시스템용 2D-RAKE 수신기의 구조는 다음과 같 다.

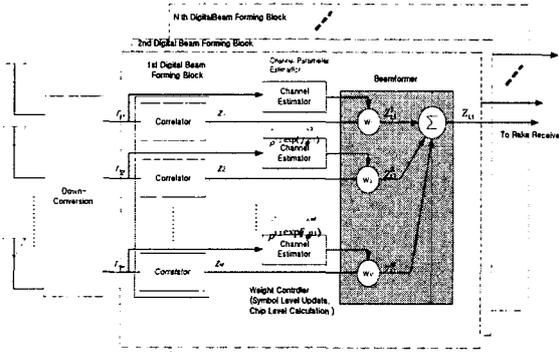


그림 1. 스마트 안테나 2D-RAKE 수신기 구조
k 번째 사용자의 전송신호는 식(3)과 같다.

$$s_k(t) = m_k(t) c_k(t) \exp(j\omega_c t) \quad (3)$$

$m_k(t)$ 는 k번째 사용자의 이진 랜덤 데이터이고 $c_k(t)$ 는 k번째 사용자의 확산코드이다. 안테나에 수신되는 전체신호는 다음과 같이 표기할 수 있다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{d=1}^D \sum_{l=1}^L \rho_{k,d,l} m_k(t - \tau_{k,d,l}) \times c_k(t - \tau_{k,d,l}) \exp[j\omega_c(t - \tau_{k,d,l}) + \beta_{k,d,l}] \times a(\theta_{k,d,l}) + n(t) \quad (4)$$

k=1을 원하는 사용자, d=1을 원하는 사용자의 신호 가 수신되는 클러스터로 가정하고 수신신호 $r(t)$ 를 다음 4개 부분으로 나눌 수 있다.

1. 원하는 사용자의 주경로 성분
2. 원하는 사용자의 다중경로 성분
3. 원하지 않는 사용자의 다중경로 성분
4. 가산성 가우시안 잡음

$$r(t) = \sum_{l=1}^L \rho_{1,1,l} m_1(t - \tau_{1,1,l}) c_1(t - \tau_{1,1,l}) \exp\{j(\omega_c t + \phi_{1,1,l})\} a(\theta_{1,1,l})$$

$$+ \sum_{d=\text{remainder}} \sum_{l=1}^L \rho_{1,d,l} m_1(t - \tau_{1,d,l}) c_1(t - \tau_{1,d,l}) \exp[j\omega_c(t - \tau_{1,d,l}) + \beta_{1,d,l}] a(\theta_{1,d,l}) + \sum_{k=2}^K \sum_{d=1}^D \sum_{l=1}^L \rho_{k,d,l} m_k(t - \tau_{k,d,l}) c_k(t - \tau_{k,d,l}) \exp[j\omega_c(t - \tau_{k,d,l}) + \beta_{k,d,l}] a(\theta_{k,d,l}) + n(t) = S_1(t) + S_i(t) + I(t) + N(t) \quad (5)$$

$\sum_{d=\text{remainder}}$ 은 한 칩 내에 존재하는 원하는 사용자의 신호 성분 중 가장 큰 신호를 제외한 나머지 다중경로 성분을 의미한다. 변조 방식은 BPSK로 가정하고 $t=T$ (T:심볼 구간)에서 상관기 출력은 다음과 같다.

$$Z(T) = \int_0^T 2r(t) c_1(t) \cos(\omega_c t + \phi_1) dt = \int_0^T 2\{S_1(t) + S_i(t) + I(t) + N(t)\} c_0(t) \cos(\omega_c t + \phi_1) dt = S + I + N \quad (6)$$

RAKE 수신기 출력단의 SIR(Signal to Interference Ratio)을 구하기 위하여 먼저 $Z(T)$ 의 각 성분 S, I 의 통계적 특성을 분석하였다.

$$S = \text{Re}[\sum_{l=1}^L \rho_{1,1,l} m_1(t - \tau_{1,1,l}) \exp\{j(\phi_{1,1,l} - \beta_1)\} \times \int_0^T c_1(t - \tau_{1,1,l}) c_1(t) dt a(\theta_{1,1,l})] \quad (7)$$

β_1 은 수신기에서 발생한 반송파의 위상이며 완전한 코드동기를 가정하고 부-다중경로 간의 지연을 무시하면 다음과 같이 정리 할 수 있다.

$$S = \text{Re}[\sum_{l=1}^L \rho_{1,1,l} \exp(j\phi_{1,1,l}) \exp(-j\beta_1) \times R_c(\tau_{1,1,l}) a(\theta_{1,1,l})] = \text{Re}[\{|R| \exp(j\beta')\} \exp(-j\beta_1) \sum_{l=1}^L a(\theta_{1,1,l})] \quad (8)$$

β' 는R의 위상이고 $R = \sum_{l=1}^L \rho_{1,1,l} \exp(j\phi_{1,1,l}) R_c(\tau_{1,1,l})$ 이며 $\phi_{k,d,l} = -\omega_c \tau_{k,d,l} + \beta_{k,d,l}$ 이다. 수신기의 극부 발 진기에서 발생된 신호의 위상 β_1 이 항상 β' 로 고정되 어 있다면 기준안테나 소자의 신호는 $S = |R|$ 과 같고, β_1 을 다른 안테나 소자에 똑같이 사용하였을 때 신호는 각각 다른 배열응답이 곱해진 $S = \text{Re}[\cdot]$ 이다. 위의 역 확산된 신호벡터 중 m 번째 안테나 소자로부터 출력되는 신호와 m 번째 안테나의 간섭신호성분을 고려한 식은 다음과 같다.

$$Y_{1,1}^m = \hat{\rho}'_{1,1} R'_c(\tau_{1,1}) \exp(j\hat{\phi}'_{1,1}^m) + I + N \quad (9)$$

가중치 값은 채널추정에 의해 구해지며 그림 1에 나타 나 있는 첫 번째 빔형성기 블록(Digital Beam Forming Block) 안테나 소자의 출력신호들을 더했을 때 가장 큰 SIR을 얻기 위한, 즉 신호의 전력을 가장 크게 할 수 있는 m 번째 안테나의 가중치 값은 $w = \hat{\rho}'_{1,1} \exp(j\hat{\phi}'_{1,1}^m)$ 이다. 여기서 $\hat{\rho}'_{1,1}$ 은 채널추정 에 의해 구해진 1번째 사용자의 1번째 클러스터에 의한 8개의 부-다중경로가 합쳐진 추정된 경로감쇠이고, $\hat{\phi}'_{1,1}^m$ 은 추정된 위상이다. 식(9)와 같은 안테나 출력에

각 가중치를 곱한 안테나 개수만큼의 신호들이 더해져서 공간 필터링을 수행하며 1번째 사용자의 1번째 클러스터에 의한 첫 번째 빔형성기 블록의 최종 판정신호는 다음과 같다.

$$Z_{1,1} = \sum_{m=1}^M Z_{1,1}^m = \rho'_{1,1} \hat{\rho}'_{1,1} \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \exp[-j(m-1)\pi(\sin\theta_{1,1,l} - \sin\hat{\theta}_{1,1,l}) + I_{SI} + I_{MAI} + N] \quad (10)$$

첫 번째 빔형성기 블록의 SIR은

$SIR_{1,1} = \frac{\text{Desired user signal power}}{\text{SI power} + \text{MAI power}}$ 이다. 1번째 사용자의 1번째 클러스터에 의한 8개의 부-다중경로가 합쳐진 수신전력은 다음과 같다.

$$P_{1,1} = \rho'^2_{1,1} \hat{\rho}'^2_{1,1} \left| \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \exp[-j(m-1)\pi(\sin\theta_{1,1,l} - \sin\hat{\theta}_{1,1,l})] \right|^2 \quad (11)$$

같은 주파수 대역을 사용하는 다른 사용자의 신호와 다중경로에 의한 자기 간섭 신호를 가우시안으로 근사화하여 간섭신호의 전력을 구하였다. 잡음 신호는 고려하지 않았다. [3][4]

$$P_{MAI} = \frac{(K-1)}{3} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \rho'^2_{k,d,l} \hat{\rho}'^2_{1,1,l} \times \left| \sum_{m=1}^M \exp[-j(m-1)\pi(\sin\theta_{k,d,l} - \sin\hat{\theta}_{1,1,l})] \right|^2$$

$$P_{self} = \frac{1}{3} \sum_{d=\text{remainder}} \sum_{l=1}^L \rho'^2_{1,d,l} \hat{\rho}'^2_{1,1,l} \times \left| \sum_{m=1}^M \exp[-j(m-1)\pi(\sin\theta_{1,d,l} - \sin\hat{\theta}_{1,1,l})] \right|^2 \quad (12)$$

그리고 성능개선 기법으로 사용되어지고 있는 스마트 안테나용 2D-RAKE 수신기를 시스템의 대역폭에 따라 가지의 개수를 달리하여 사용하였다.

3. 모의 실험

모의 실험에 사용할 채널은 10MHz의 대역폭으로 고정해서 발생하였고 빔패턴 형성을 위해 완벽한 채널추정을 사용하였다. 모의실험에서 사용한 파라미터는 다음과 같다.

칩속도(대역폭)	1.2288Mcps(1.25)	4.096Mcps(5)
반송파주파수	1.9GHz	1.9GHz
심볼전송율	100Kbps	100Kbps
변조방식	BPSK	BPSK
RAKE의가지수(urban)	3개	12개
RAKE의가지수(rural)	1개	2개
안테나소자수	8개	8개
가중치알고리즘	채널추정	채널추정

표 1. 모의실험 파라미터

모든 데이터는 +1로 가정하고 완벽한 전력제어와 코드 동기를 가정하였으며 채널 코딩은 사용하지 않았다. 도시채널환경에서 40명의 사용자를 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 사이의 각도에서 랜덤하게 발생시켰으며, 한 사용자당 최대지연 시간(2.3μs)동안 10MHz 채널에 해당하는 24개의 다중경로 성분을 발생시키고 각 다중경로에 해당하는 8개의 부-다중경로를 발생시켰다. 그리고 한 칩 내에 들어오는 다중 경로 성분 중 최대 전력을 갖는 성분을 원하는 사용자의 신호로 찾아내어 빔패턴을 형성하는 방법으로 1.25MHz 시스템과 5MHz 시스템의 성능을 비교하였다.

교외채널환경의 한 사용자당 최대지연시간은 0.3μs로 하였으며 $-90^\circ \sim 90^\circ$ 사이의 각도와 $-30^\circ \sim 30^\circ$ 사이의 각도에서 각각 사용자를 랜덤하게 발생시켜 같은 실험을 반복하였다.

다음 모의실험 결과는 시골채널환경에서 1.25MHz와 5MHz 시스템의 사용자수에 따른 SIR 비교와, 각 시스템 대역폭에 대하여 DOA의 폭과 AOS의 퍼짐 정도에 따른 성능비교 결과이다. 교외채널환경에서는 원하는 사용자의 다중경로 성분이 존재하는 최대지연시간이 작기는 하지만 5MHz 시스템이 더 나은 성능을 보임을 확인 할 수 있었고 DOA와 AOS의 비교에서는 5MHz 시스템 경우 작은 DOA와 AOS값에서 조금 더 나은 성능을 확인 할 수 있었으나 1.25MHz 시스템에서는 나쁜 성능을 나타냈다.

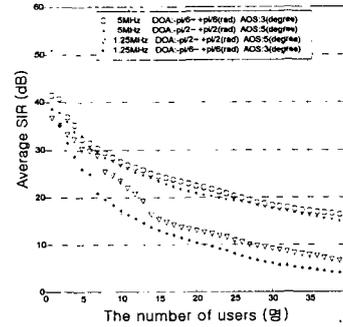


그림 2. 교외지역채널모델에서의 1.25MHz, 5MHz의 SIR비교 & DOA와 AOS에 따른 성능 비교

다음 모의실험 결과는 도시지역채널모델에 해당하는 임펄스 성분을 발생시켜 1.25MHz와 5MHz의 시스템을 분석한 결과이다.

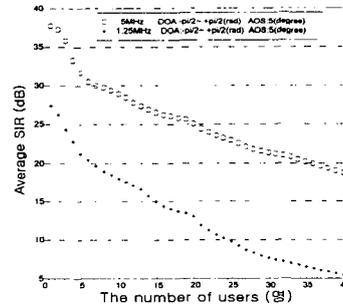


그림 3. 도시지역채널모델에서의 1.25MHz, 5MHz의 SIR비교

다음의 모의실험결과들은 시스템 대역폭에 따른 수신신호의 PDF 이며, S/N에 따른 BER로서 성능을 분석하였다.

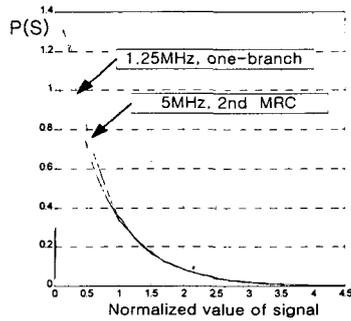


그림 4. 교외지역채널모델에서의 1.25MHz, 5MHz의 수신신호 PDF 위의 PDF 모의실험 결과 가치를 하나를 사용하는 1.25MHz 시스템의 PDF가 두 개의 가치를 사용하고 MRC 기법을 사용한 5MHz 시스템의 PDF 보다 영 근처에 존재하는 신호의 확률이 더 높으므로 더 나쁜 성능을 보일 것을 예측할 수 있다. 그 결과를 다음의 BER 성능으로 확인하였다.

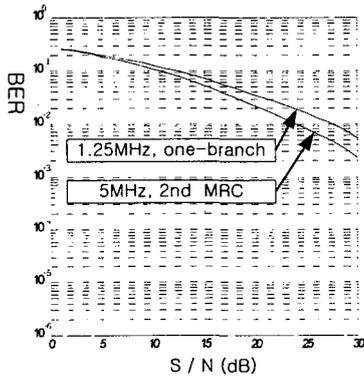


그림 5. 교외지역채널모델에서의 1.25MHz, 5MHz의 S/N 따른 BER

도시지역채널모델에서의 PDF 모의실험결과는 교외지역 채널모델과 비교하여 두 시스템 모두 더 많은 성능개선을 기대할 수 있으며 세 개의 가치를 사용한 1.25MHz 시스템보다 열두 개의 가치를 사용한 5MHz 시스템이 더 나은 성능을 보일 것을 기대할 수 있다.

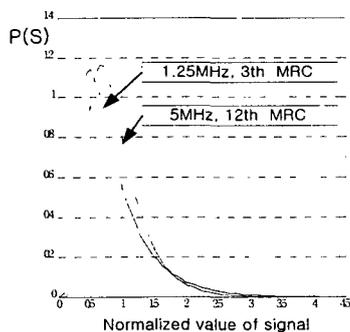


그림 6. 도시지역채널모델에서의 1.25MHz, 5MHz의 수신신호 PDF

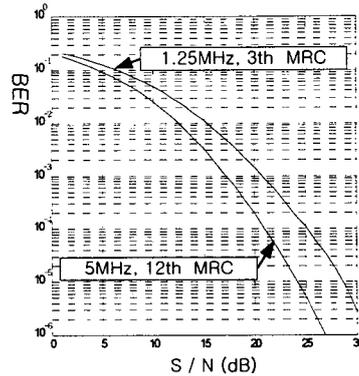


그림 7. 도시지역채널모델에서의 1.25MHz, 5MHz의 S/N 따른 BER

3. 결론

본 논문에서는 배열 안테나를 사용하여 한 칩 내에 들어오는 다중 경로 성분 중 최대 전력을 갖는 성분을 원하는 사용자의 신호로 찾아내어 빔 패턴을 형성하는 방법으로 대역폭이 다른 두 가지 시스템에서 성능을 비교하였다. 모의실험 결과 스마트 안테나를 사용한 5MHz의 시스템이 더 많은 수의 2D-RAKE수신기의 가치를 이용함으로써 1.25MHz의 시스템보다 더 나은 성능을 나타내었으며 시골채널환경에서 보다는 도시지역채널환경에서 더 많은 성능개선을 이점을 확인할 수 있었다. 그러므로 더 넓은 대역폭을 사용하는 시스템에서 스마트 안테나 기법을 사용한다면 보다 나은 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대되며, 이는 초기 단계로 2Mbps의 서비스를 목표로 하는 고속 대용량의 데이터를 전송해야 하는 IMT-2000 시스템에서 유효하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, Jr., and C. E. Wheatly, "On the Capacity of a Cellular CDMA System," IEEE Trans. On Vehicular Technology, Vol. 40, NO. 2, pp. 303-311, May 1991.
- [2] Monica Dell' Anna and A. Hamid Aghvami, "Performance of Optimum and Suboptimum Combining at the Antenna Array of a W-CDMA System", IEEE journal on selected areas in 7communication, vol 17, No 12
- [3] 고크림, 김주완, "파일럿 신호를 이용한 CDMA 통 신방식용 스마트 안테나 시스템 설계", Tele -communications Review 제9권 2호 p133~144
- [4] Theodore S. Rappaport "Wireless communications" Prentice-Hall, 1996
- [5] Simon Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice-Hall, 1996
- [6] C. S. Kim, Hoon. Jeong, and D.J. Oh, "comparison of W-CDMA and N-CDMA systems over wideband Rayleigh channel", Proc. of 10th PIMRC'99, pp. 1007-1011, Osaka, Japan, Sep.1999.

한국과학재단 지정 전남대학교 고품질전기전자부품 및 시스템 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.