

레일리 페이딩 채널에서 DS-SS-CDMA 시스템의 대역폭에 따른 스마트 안테나의 영향

배형오, 김용성, 류상진, 김철성
 전남대학교 컴퓨터공학과

Tel : 062-530-0796 / Fax : 062-530-1809

DS-SS-CDMA System with Smart Antenna for Different Bandwidths over Rayleigh Fading Channel

Hyoung-Oh Bae, Yong-Sung Kim, Sang-Jin Ryoo, Cheol-Sung Kim
 Dept. of Computer Engineering, RRC, Chonnam National University
 E-mail : chskim@chonnam.chonnam.ac.kr

Abstract

In this paper, the performance of DS-SS-CDMA system with smart antenna is analyzed for different bandwidths (1.25MHz, 5MHz) and different channel environments (rural, urban). For the analysis of smart antenna system, the vector channel model having the spatio-temporal correlation is needed. Hence, the channel is modeled as a time-variant linear filter in time, and each multipath is assumed as a reflective wave from only one direction (only one cluster) in space. A simulation is carried out by dividing several multipaths within one chip into each one and searching the strongest signal. DS-SS-CDMA system with smart antenna using wider bandwidth present better performance than that using narrow bandwidth. It is shown that the smart antenna is more effective in urban area when using 2D-RAKE receiver.

1. 서론

최근 이동 통신의 수요가 증가하고 다양한 형태의 서비스를 필요로 하면서 보다 나은 서비스품질을 제공하기 위한 기술이 연구되어지고 있다. 그 중 하나인 스마트 안테나 기술은 복수개의 배열 안테나 소자를 이용하여 각각의 안테나 소자에 수신되는 신호들에 적절한 가중치를 곱하여, 기지국에서 원하는 사용자의 방향으로 전파되어 오는 신호만을 수신하고 그 외의 방향에서 전파되어 오는 다중 간섭신호들을 상대적으로 감소 시킴으로써 채널 용량의 증가와 원하는 서비스 품질을 만족시키는 기술이다. 현재 상용중인 IS-95 CDMA은 간섭잡음 제한 시스템으로서 한 기지국 내의 다른 사용자의 신호는 간섭잡음으로 영향을 미친다. 따라서 CDMA 특성상 동일 주파수를 사용하는 사용자의 수가 증가하거나 많은 양의 데이터를 고속으로 전

송하는 서비스를 수행해야 하는 경우에는 간섭잡음이 증가하게 되고 시스템 성능 저하의 원인이 된다. 본 논문에서는 서로 다른 확산 대역폭을 사용하는 시스템에 스마트 안테나를 적용하였을 때 성능을 분석하고자 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 도심채널환경과 시골채널환경에서 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. [1]

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

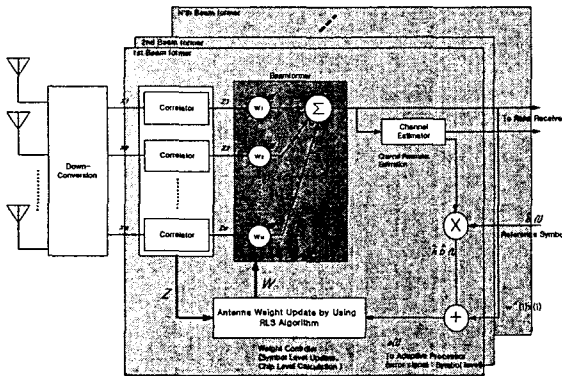
D는 클러스터 (해상 가능한 경로개수)의 수이며 각 클러스터는 서로 다른 지연과 평균 DOA에서 Δ 만큼의 AOS를 갖는 L 개의 부-다중경로 성분으로 구성되어 있고 각 부-다중경로는 서로 다른 크기와 위상을 갖는다. L은 k번째 사용자의 d번째 클러스터에 의한 부-다중경로의 수이다. $\rho_{d,l} = A a_{d,l} e^{-\delta_{d,l}}$ 로 나타낼 수 있으며 A는 $\rho_{d,l}$ 의 평균값이고, $a_{d,l}$ 은 수신신호 성분들의 전력이 같다는 가정 하에 레일리 분포로 가정한다. $\delta_{d,l}$ 은 지수적으로 감소하는 기울기를 나타낸다. t_l 은 경로 지연 시간, $\beta_{d,l}$ 은 채널에서 발생하는 균일분포의 위상값 이다. $a(\theta_{k,d,l})$ 은 k번째 사용자의 신호가

d번째 클러스터 내의 l번째 산란체에 의해 수신되는 방향에 의한 배열 응답 벡터이고 이 값은 안테나 배열 구조에 따라 결정된다.

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

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 간격이다.

2) 스마트 안테나 시스템용 2D-RAKE 수신기 CDMA 시스템의 경우 FDMA나 TDMA 시스템과는 달리 동일한 대역을 여러명의 사용자가 공유하기 때문에 역확산 전의 수신신호는 아주 낮은 SNR(Signal to Noise Ratio) 갖는다. 이를 적응알고리즘의 입력신호로 사용할 경우 정확한 참조신호가 수신기에서 생성되더라도 낮은 SNR에 의해 올바른 동작을 기대하기 힘들다. 본 논문에서는 적응알고리즘 입력신호의 낮은 SNR을 개선하고자 상관기를 빙행성기 전단에 두어서 신호의 SNR 값을 높인 후에 적응알고리즘의 입력신호로 사용하였다. 스마트 안테나 시스템용 2D-RAKE 수신기의 구조는 다음과 같다.



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

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

k=1을 원하는 사용자로 d=1을 원하는 사용자의 신호가 수신되는 클러스터로 가정하고 수신신호 $r(t)$ 를 다음의 4개 부분으로 나눌 수 있다.

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

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_{l=1}^L \rho_{1,1,l} m_1(t - \tau_{1,1,l}) c_1(t - \tau_{1,1,l}) \exp(j\omega_c t + \phi_{1,1,l}) a(\theta_{1,1,l}) \\ &+ \sum_{d=2}^D \sum_{l=1}^L \rho_{1,d,l} m_1(t - \tau_{1,d,l}) c_1(t - \tau_{1,d,l}) \exp[j\omega_c(t - \tau_{1,d,l}) + \beta_{1,d,l}] a(\theta_{1,d,l}) \\ &+ \sum_{k=2}^K \sum_{d=1}^D \sum_{l=1}^L \rho_{k,d,l} m_k(t - \tau_{k,d,l}) c_k(t - \tau_{k,d,l}) \exp[j\omega_c(t - \tau_{k,d,l}) + \beta_{k,d,l}] a(\theta_{k,d,l}) \\ &+ n(t) \\ &= S_0(t) + S_i(t) + I(t) + N(t) \end{aligned} \quad (5)$$

변조 방식은 BPSK로 가정하고 $t=T$ (T:심볼 구간)에서 상관기 출력은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Z(T) &= \int_0^T 2r(t) c_1(t) \cos(\omega_c t + \phi_1) dt \\ &= \int_0^T 2\{S_0(t) + S_i(t) + I(t) + N(t)\} c_0(t) \times \cos(\omega_c t + \phi_1) dt = S + I + N \end{aligned} \quad (6)$$

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

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

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

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

β 는 R의 위상이고 $R = \sum_{l=1}^L \rho_{1,1,l} \exp(j\phi_{1,1,l}) R_c(\tau_{1,1,l})$ 이며 $\phi_{k,d,l} = -\omega_0 \tau_{k,d,l} + \beta_{k,d,l}$ 이다. 수신기의 국부 발진기에서 발생된 신호의 위상 β_1 이 항상 β 로 고정되어 있다면 기준안테나의 신호는 $S = |R|$ 과 같고 β_1 을 다른 안테나에 똑같이 사용하였을 때 신호는 각각 다른 배열응답이 곱해진 $S = \text{Re}[\cdot]$ 이다. 위의 역확산된 신호벡터 중 m 번째 안테나 소자로부터 출력되는 신호와 m 번째 안테나의 간섭신호성분을 고려한 식은 다음과 같다.

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

가중치 값은 적응 알고리즘에 의해 구해지며 m번째 안테나 출력에서 SIR이 가장 크기 위해서는, 즉 신호의 전력을 가장 크게 할 수 있는 가중치 값은 $w = \hat{\rho}'_{1,1} \exp(j\hat{\phi}'_{1,1})$ 이다. 여기서 $\hat{\rho}'_{1,1}$ 은 적응 알고리즘에 의해 구해진 1 번째 사용자의 1 번째 클러스터에 의한 8개의 부-다중경로가 합쳐진 추정된 경로값

쇠이고, $\hat{\phi}'_{1,1}^m$ 은 추정된 위상이다. 식(9)와 같은 안테나 출력에 각 가중치를 곱한 안테나 개수만큼의 신호들이 더해져서 공간 필터링을 수행하며 1 번째 사용자의 1 번째 클러스터에 의한 첫 번째 Digital Beam Forming 블록의 최종 판정신호는 다음과 같다.

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

첫 번째 Digital Beam Forming 블록의 SIR은 $SIR_{1,1} = \frac{1,1 \text{ signal power}}{1,1 \text{ self power} + \text{MAI power}}$ 이다. 1 번째 사용자의 1 번째 클러스터에 의한 8개의 부-다중경로가 합쳐진 수신전력은 다음과 같다.

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

같은 주파수 대역을 사용하는 다른 사용자의 신호와 다중경로에 의한 자기 간섭 신호를 가우시안으로 근사화하여 간섭신호의 전력을 구하였다. 잡음 신호는 고려하지 않았다. [2][3]

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

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

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 위한 알고리즘으로 RLS(Recursive Least Squares) 알고리즘을 사용하였다. RLS 알고리즘의 계수 갱신식은 다음과 같다.[4]

$$v_n = P_{n-1} u_n$$

$$k_n = \frac{\lambda^{-1} v_n}{1 + \lambda^{-1} u_n^H v_n}$$

$$a_n = d_n - \hat{w}_n^H u_n$$

$$\hat{w}_n = \hat{w}_{n-1} + k_n a_n^*$$

$$P_n = \lambda^{-1} (I - k_n u_n^H) P_{n-1} \quad (13)$$

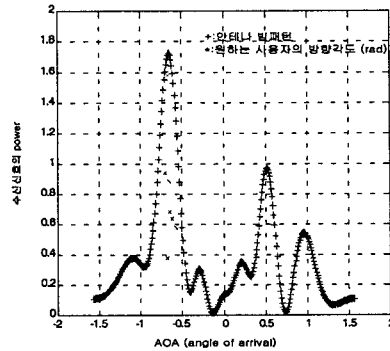
초기 가중치는 첫 번째 안테나에만 1 값을 주고 나머지 안테나에는 0 값을 줌으로서 초기에 전방향성 안테나로 동작 할 수 있게 하였다. $P_0 = \delta^{-1} I$ 이며 δ 는 임의의 작은 상수 값이다. λ 는 망각인자로서 $0 < \lambda < 1$

사이의 값을 갖는다. 모의실험에서 사용한 파라미터는 다음과 같다.

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

[표 1] 모의실험 파라미터

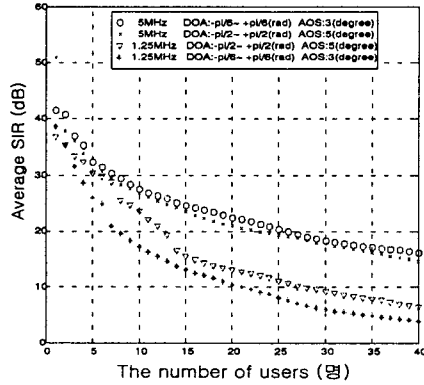
모든 데이터는 +1로 가정하고 완벽한 채널 추정을 가정하였다. 100번의 시행에 의해 적응알고리즘의 가중치와 평균 SIR을 구하였다. 그리고 완벽한 전력제어와 코드 동기를 가정하였고 채널 코딩은 사용하지 않았다. 도심채널환경에서 -180° ~ 180° 사이에 랜덤한 각도로 40명의 사용자를 발생시켰었으며, 한 사용자당 최대지연시간 2.3μs 동안 10MHz 채널에 해당하는 24개의 다중경로 성분을 발생시키고 각 다중경로에 해당하는 8개의 부-다중경로를 발생시켰었다. 그리고 한 칩 내에 들어오는 다중 경로 성분 중 최대 전력을 갖는 성분을 원하는 사용자의 신호로 찾아내어 빔패턴을 형성하는 방법으로 1.25MHz 시스템과 5MHz 시스템의 성능을 비교하였다. 시골채널환경의 한 사용자당 최대 지연시간 0.3μs로 하였으며 -180° ~ 180° 사이의 랜덤한 각도와 -30° ~ 30° 사이에 랜덤한 각도에서 각각 사용자를 발생하여 같은 실험을 반복하였다. 다음은 빔패턴 형성의 한 예이다.



[그림 2] 빔 패턴

위의 빔패턴은 도시 채널환경에서 1.25MHz의 시스템을 사용한 경우에 사용자의 방향이 -35° 방향이고 각도 퍼짐이 5° 인 경우 100번의 시행에 의한 첫 번째 RAKE 가지에서의 빔패턴 이다. 다음의 그림은 시골채널환경에서 1.25MHz와 5MHz의 사용자 수에 따른 SIR 비교와 각 시스템 대역폭에 대하여 DOA의 폭과

AOS의 퍼짐 정도에 따른 성능비교 결과이다. 시골채널환경에서는 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.

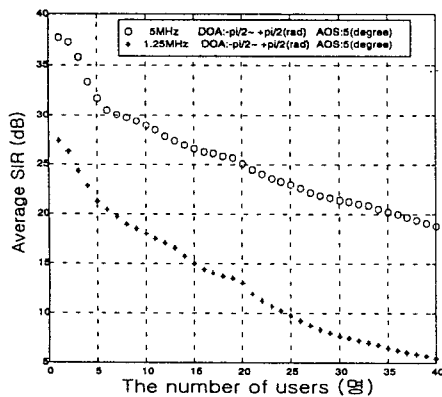


[그림 3] 시골채널모델에서의 1.25MHz, 5MHz의 SIR비교 & DOA와 AOS에 따른 성능 비교
위 모의실험 결과를 아래 표에 정리하였다.

사용자수 대역폭	2	5	10	20	30	40
5MHz & 3°	40.9	32.3	27.6	22.5	18.3	16.2
5MHz & 5°	37.8	33	26.8	20.9	17.6	14.6
1.25MHz & 3°	35.2	26	17.1	10.4	5.9	3.8
1.25MHz & 5°	35.3	30.3	23.5	13.1	9.2	6.4

[표 2] 그림 3의 수치결과

표 안의 °표시는 AOS에 해당하는 각도를 나타낸다. 다음 그림은 도시채널모델에 해당하는 임펄스 성분을 발생시키어 1.25MHz와 5MHz의 시스템을 분석한 결과이다.



[그림 4] 도시채널모델에서의 1.25MHz, 5MHz의 SIR비교

사용자수 대역폭	2	5	10	20	30	40
5MHz & 5°	37.2	31.8	28.9	25.1	21.5	18.8
1.25MHz & 5°	26.3	21.2	18	13.1	7.8	5.4

[표 2] 그림 3의 수치결과

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 고속 대량의 데이터를 전송해야 하는 IMT-2000 시스템 특성과도 부합된다.

참고문헌

- [1] 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
- [2] 고헌림, 김주완, "파일럿 신호를 이용한 CDMA 통신방식용 스마트 안테나 시스템 설계" Telecommunications Review 제9권 2호 p133~144
- [3] Theodore S. Rappaport "Wireless communications" Prentice-Hall, 1996
- [4] Simon Haykin, "Adaptive Filter Theory", Prentice-Hall, 1996
- [5] C. S. Kim, H. 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.

본 논문은 정보통신부에서 지원하는 대학기초연구 지원사업으로 수행된 결과의 일부임.