

WCDMA 상향링크에서의 2-D RAKE 수신기 시뮬레이터 제작 및 성능 분석

정희원 남 원 모*, 최 철 준*, 종신회원 김 영 수*

Performance Analysis and Design of 2-D RAKE Receiver Simulator for WCDMA Uplink

Won Mo Nam*, Chul Joon Choi* *Regular Members*, Young Soo Kim* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 WCDMA 상향링크 기지국에서 빔 형성 기술을 적용한 2-D RAKE 수신기 시뮬레이터를 제작하고 그 성능을 배열 안테나 수, RAKE 가지 수 및 총 사용자 수에 따라 1-D RAKE 수신기와 비교 분석하였다. 도심환경에서 수신되는 신호의 방향성분과 다중접속에 의한 간섭신호를 실제에 가깝게 모델링 하기 위해 다수의 사용자는 셀의 한 섹터 내에서 기지국으로부터 같은 거리만큼 떨어진 임의의 방향에 존재함을 가정하고, Rappaport에 의해 고안된 GBSBEM(Geometry Based Single Bounce Elliptical Model)을 응용하여 채널 시뮬레이터를 제작, 사용하였다. 배열 안테나 수와 rake 가지 수를 변화시켜 가며 총 사용자 수에 따른 비트 오류율과 신호대 잡음비에 따른 비트오율을 사용하여 성능을 비교, 분석하였다. 그 결과 2-D RAKE 수신기의 배열 안테나 수가 증가함에 따라 다중접속간섭신호를 효과적으로 제거함으로써 비트오율 성능이 획기적으로 개선됨을 알 수 있었다.

Key Words : 2-D RAKE Receiver, Beamforming, Antenna array, WCDMA

ABSTRACT

In this paper, 2-D RAKE receiver simulator is made which beamforming technique is applied to in WCDMA uplink basestation, and the performance is compared with that of 1-D RAKE receiver with varying the number of array elements, RAKE fingers and users. To model angular component of received signal and interfering signals due to multiple access, it is assumed that multiple users are located in the arbitrary direction of the same distance far from the basestation within a sector of the cell, and the channel simulator is made by using Geometry Based Single Bounce Elliptical Model(GBSBEM) suggested by Rappaport. BER performance is compared and analyzed with the various choice of the number of array elements, the number of RAKE fingers, the number of users and Eb/No. These results indicate that increasing the number of array elements eliminates efficiently multiple access interfering signals and improves dramatically BER performance.

I. 서 론

이동통신시스템은 이동하는 단말기들과 셀 내 기지국간 무선 링크를 통하여 원하는 신호를 주고받

으며, 동일 주파수 대역에서 셀 내 여러 사용자들이 기지국과의 무선 링크를 효율적으로 사용하기 위해서 다중접속기술을 필요로 한다. 이러한 다중접속기술의 하나인 CDMA(Code Division Multiple Access)

※ 이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-041-D00454).

* 경희대학교 전자정보대학 전파통신공학 무선통신 시스템 연구실 (yskim@khu.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-04-180, 접수일자 : 2006년 4월 19일, 최종논문접수일자 : 2006년 10월 10일

방식은 기지국의 셀 내 채널 용량과 성능측면에서 가장 우수한 무선접속방식으로, IS-95 기반 셀룰러 이동 통신 기술 상용화와 실제 운용을 통하여 이 방식의 우수성이 입증되었다¹¹.

하지만 3세대 이동 통신 시스템에서는 현재 서비스 중인 음성통화 뿐 아니라, 영상 및 기타 데이터를 높은 신뢰도로 송수신해야 한다. 이와 같이 다양한 서비스를 제공하기 위해서는 각 가입자당 현재보다 넓은 대역폭을 차지할 수밖에 없고 전체 시스템의 할당 주파수는 한정되어 있으므로 통신 용량이 현저히 줄어들 수 밖에 없고, 또한 통신용량에 심각한 문제가 발생하게 된다¹¹. 이러한 문제점을 해결할 수 있는 기술 중의 하나가 2-D RAKE 수신 기술이다. RAKE 수신 기술의 시간 다이버시티에 의한 이득과 배열 안테나의 방향에 따른 이득을 이용함으로써 무선 링크 상에서 존재하는 간섭에 의한 영향을 좀 더 효과적으로 제거하여 정해진 채널 용량을 효율적으로 사용할 수 있게 한다²⁾³⁾⁴⁾.

본 논문에서는 먼저 2-D RAKE 수신기의 기술 개요에 대해 기술한 후, 실험을 위해 제작한 송수신단 및 채널 시뮬레이터의 구조에 대해 설명하고, 시뮬레이션 결과를 통하여 2-D RAKE 수신기의 성능을 기존의 1-D RAKE 수신기와 비교하는 것으로 결론을 맺는다.

II. 2-D RAKE 수신기의 개요

본 논문에서 다루게 될 2-D RAKE 수신기는 RAKE 수신기술과 스마트 안테나의 빔 형성 기술을 동시에 사용함으로써 다중경로 지연에 의한 간섭과 다중 접속 사용자에게 의한 간섭을 최소화 할 수 있게 한다.

다중접속에 의한 간섭이 없는 통신 채널은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

‘Desired User’로 표기된 단말기로부터 송신된 신호는 여러 경로를 통해 기지국에 수신되게 된다.

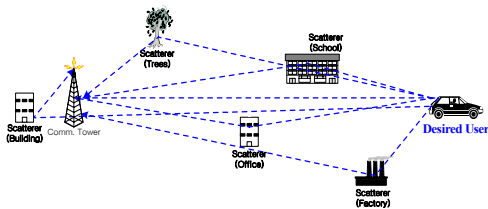


그림 1. 다중경로 지연이 존재하는 채널 환경⁶⁾

이렇게 수신된 신호들은 각각 다른 시간 지연을 갖고 있기 때문에 서로간의 간섭을 주게 되고 신호의 품질을 떨어뜨리는 요인으로 작용하게 된다¹¹⁾²⁾. 이러한 문제점을 해결하기 위해 CDMA 무선 접속 방식에서는 RAKE 수신기를 사용한다. RAKE 수신기는 PN 코드의 상관 특성을 이용하여 수신되는 신호들을 지연 시간에 따라 효과적으로 분리해냄으로써 다중경로 지연에 의한 신호 간섭을 극복할 수 있게 한다⁵⁾.

선형 배열 안테나에서 각도 θ 로 수신되는 원거리 신호원을 가정할 때 이 신호는 안테나에 입사될 때는 거의 평면파로 가정되는데 이 때 신호는 첫 번째 안테나에 먼저 수신되고 τ 만큼의 시간 지연을 갖고 두 번째 안테나에 수신되며, 마지막 안테나 즉 M번째 안테나에는 (M-1)배의 τ 만큼 시간 지연을 갖고 수신되게 된다. 첫 번째 안테나에 수신되는 신호를 $s(t)$ 라고 하면 M 번째 안테나에 수신되는 신호는 식 1과 같이 표현된다.

$$x_M(t) = s(t)e^{-j2\pi f \frac{d(M-1)\sin\theta}{c}} \quad (1)$$

여기서 f 는 반송파의 중심주파수이고, c 는 광속도를 나타낸다. 이때 각 안테나간 간격을 반파장 $(\frac{\lambda}{2})$ 으로 일정하다고 가정하면 배열 안테나를 통해 수신되는 신호는 식 2와 같이 표현할 수 있다.

$$s(t)a(\theta) = s(t)[1 e^{-j\pi\sin\theta} \dots e^{-j(M-1)\pi\sin\theta}]^T \quad (2)$$

이런 방향성을 나타내는 벡터 $a(\theta)$ 를 스티어링 벡터라고 하며, 적응 알고리즘을 이용 스티어링 벡터를 추정하여 각 안테나에 가중치를 곱해줌으로써 원하는 방향으로 소프트웨어적으로 빔을 형성할 수 있고, 다중접속간섭에 의한 영향을 줄일 수 있게 한다⁴⁾.

III. 시뮬레이터 구조

송신단과 수신단은 WCDMA 표준사양을 기준으로 설계하였으며, 채널은 Rappaport에 의해 고안된 GBSBEM(Geometry Based Single Bounce Elliptical Model)을 사용하였다⁷⁾⁸⁾.

3.1 송신기 구조

전송될 신호의 프레임 구조는 WCDMA 기술규격에 맞추어 구성했으며, 본 시뮬레이션에서는 지정물리채널만을 고려하여 매 슬롯마다 DPDCH(Dedicated Physical Data Channel), DPCCH(Dedicated Physical Control Channel)이 각각 1개 채널만 존재하고, 각각의 입력 비트는 BPSK 신호임을 가정하였다. DPDCH, DPCCH 모두 일정한 확산 계수를 가진다고 가정하였으며, DPDCH의 확산계수는 32, DPCCH의 확산계수는 256으로 고정시켜 시뮬레이션 하였다. 또 DPCCH를 구성하는 10 개 비트는 모두 파일럿 심볼로 사용하였고, 비트당 4개의 표본을 취하였다. 송수신시 사용된 SQRT-RC(Square-Root Raised Cosine)필터의 roll-off 계수는 0.22이며, 채널 코딩 및 인터리빙 등의 기술은 사용하지 않았다.

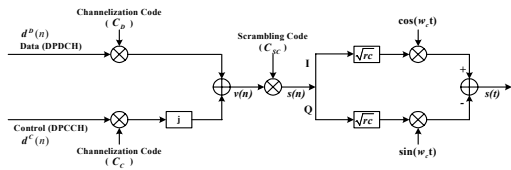


그림 2. 송신기 구조

그림 2는 시뮬레이터 중 송신기의 구조를 나타내고 있다. 신호는 정보 비트와 파일럿 심볼로 나뉘어 I(Data)채널과 Q(Control)채널을 통해 각각의 OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor)코드가 곱해지고 할당된 PN코드에 의해 3.84 Mcps로 복소 확산된다⁷⁾. 여기서 i 번째 사용자의 n 번째 프레임에서의 신호는 식 3과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 v_i(n) &= v_i((n-1)G_i \dots n G_i) = d_i^D(n)c_i^D + j d_i^C(n)c_i^C \\
 s_i(n) &= v_i(n) \text{diag}(c_i^{\text{sc}}((n-1)G_i \dots n G_i)) \\
 s_i(t) &= \sum_{n=1}^{N_{\text{frame}}} s_i(n) g_i(t - nT_b) \exp(jw_c t + \phi_i) \quad (3)
 \end{aligned}$$

수식 표현의 편의를 위해 i 번째 사용자의 데이터 채널과 제어 채널의 채널화 부호 길이는 G_i 로 같다고 가정하였으며, T_b 는 비트 주기를 $g(t)$ 는 칩펄스 파형을 나타낸다. 또 w_c 는 반송파의 각 주파수이며, ϕ_i 는 임의의 반송파 위상을 나타낸다.

3.2 채널 구조

채널은 그림 3와 같은 구조로 Rappaport에 의해

고안된 GBSBEM을 응용, 레일리 페이딩 환경에 다중접속간섭이 존재하는 채널 모델을 사용하였다. 채널의 동시 사용자 수가 N 명일 때 각각의 사용자는 기지국으로부터 같은 거리만큼 떨어진 곳에 존재한다고 가정하고, 각각의 사용자의 신호는 최대 지연 τ_{Max} 에 의해 형성된 타원형 채널 안에서 서로 독립적인 페이딩을 갖는 다중 경로를 통해 기지국으로 수신됨을 가정하였으며 다중 경로에 의한 최대 지연 시간은 6 μsec 로 가정하였다.

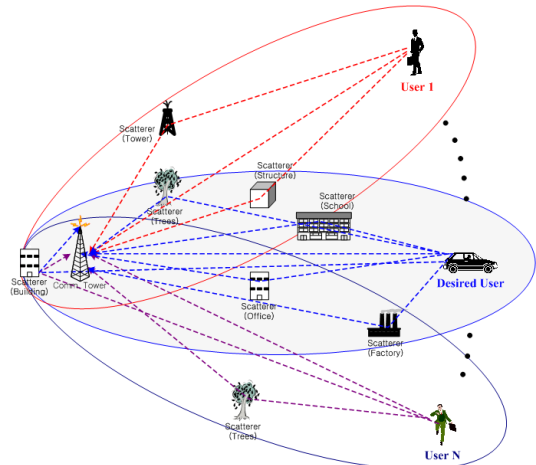


그림 3. GBSBEM을 적용한 다중접속간섭 채널 모델

기지국과 각 사용자간 거리는 1 km임을 가정하고, 사용자 수를 최소 2 명에서 최대 12 명까지 변화시키면서 성능을 분석할 수 있도록 시뮬레이션을 구성하였다. 이 때 직접파가 기지국까지 도착하는데 걸리는 시간은 약 3.3 μsec 이다. 다중접속간섭으로 작용하는 사용자는 임의의 신호를 가지며, 원하는 사용자와 상관관계가 적은 PN코드에 의해 복소 확산됨을 가정하였다.

GBSBEM 채널의 전달함수는 시간과 수신방향에 의한 함수로 표현될 수 있으며, i 번째 사용자의 l 번째 전파경로 전달함수는 식 4와 같이 표현된다.

$$h_i(t) = \sum_{l=1}^{L_i} \alpha_{i,l}(t) a(\theta_{i,l}) \delta(t - \tau_{i,l}) \quad (4)$$

여기서 $\alpha_{i,l}(t)$ 와 $a(\theta_{i,l})$ 는 각각 i 번째 사용자의 l 번째 전파경로의 시간에 따른 페이딩 계수와 수신 방향에 따른 스티어링 벡터를 나타낸다. L 은 i 번째 사용자의 총 다중경로의 수이다.

3.3 수신기 구조

그림 4는 2-D RAKE 수신기술을 적용한 WCDMA 상향링크 용 기지국 수신기 구조를 나타내고 있다. 먼저 M개의 배열 안테나는 등간격으로 배치하였으며 각 안테나간 거리는 반파장으로 하였다^{[6][9]}.

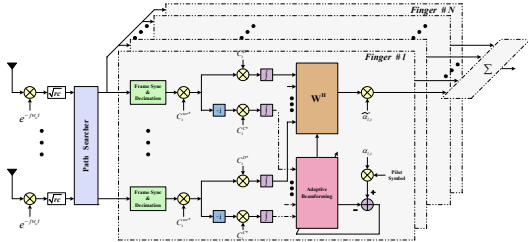


그림 4. WCDMA 상향링크를 위한 2-D RAKE 수신기 구조

각 안테나를 통해 수신된 신호의 프레임 동기는 정확하게 일치하는 것으로 가정하였고, 적응 빔 형성 알고리즘으로는 LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 사용하였다. 참조신호는 송신단의 파일럿 심볼에 채널의 페이딩 계수를 곱한 신호를 사용하였으며^[10], 원하는 사용자의 PN코드, OVFS코드 그리고 파일럿 심볼은 수신단에서 정확히 알고 있는 것으로 가정하였다. 채널 추정도 완벽함을 가정하였고, RAKE 수신시 최대율 결합방법(MRC: Maximal Ratio Combining)을 사용하였다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

표 1. WCDMA 상향링크 지정 물리채널 구성

Dedicated Physical Channel	DPDCH	1
	DPCCH	1
Data Modulation	DPDCH	BPSK
	DPCCH	BPSK
Spreading Factor	DPDCH	32
	DPCCH	256
Spreading Code(OVSF)	DPDCH	C32,9
	DPCCH	C256,1
Symbol Rate	DPDCH	120 ksps
	DPCCH	15 ksps
DPCCH Slot Field	Pilot	10
	TPC	0
	TFCI	0
	FBI	0

표 2. 벡터 채널 파라미터

기지국과 이동국간 거리	1 km
이동속도	50 km/h
최대지연	6 μsec
원하는 사용자의 다중경로수	6
간섭신호의 다중경로수	6

프레임은 over sampling factor를 4로 하여 표 1과 같이 구성하였으며, 채널 모델의 설계 파라미터는 표 2와 같다.

위와 같은 조건으로 시뮬레이터를 제작하고 배열 안테나 수를 1개, 2개, 4개, 6개로, RAKE 가지 수를 1개, 3개, 6개로 변화시키며, 총 사용자 수의 변화에 따른 Eb/No 대 BER 성능비, 총 사용자 수 대 BER 성능비 등을 측정하였다. 시뮬레이션 1회 시행시 전송되는 비트 수는 총 120,000 비트이고, LMS 알고리즘과 RLS 알고리즘을 빔 형성기 적응 알고리즘으로 사용하였다.

4.1 Eb/No에 따른 BER 성능

LMS 알고리즘을 사용하여 Eb/No에 대한 BER 성능을 비교해 본 결과이다.

그림 5은 총 사용자 수가 2명일 때, 2개의 배열 안테나를 이용한 2-D RAKE 수신기의 BER 성능을 RAKE 가지 수를 변화시켜가며 측정한 그래프이다.

3개의 가지를 갖는 기존의 RAKE 수신기와 1개의 가지와 2개의 배열 안테나로 이루어진 2-D RAKE 수신기의 성능을 살펴보면, 3개의 가지를 갖는 기존

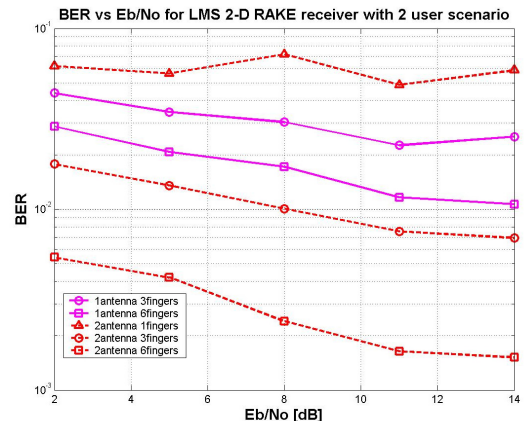


그림 5. 기존의 RAKE 수신기와 2-D RAKE 수신기 BER 성능 비교 (총 사용자 수 : 2명, 2-D RAKE 수신기 배열안테나 수 : 2, 적응 알고리즘 : LMS)

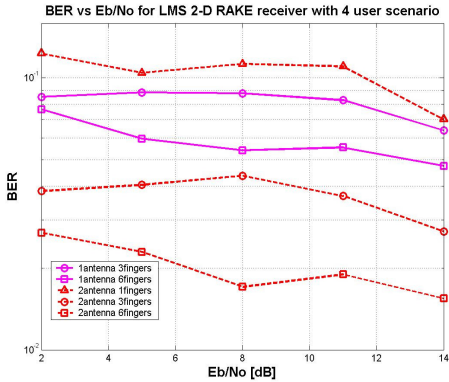


그림 6. 기존의 RAKE 수신기와 2-D RAKE 수신기 BER 성능 비교 (총 사용자 수 : 4명, 2-D RAKE 수신기 배열안테나 수 : 2, 적응 알고리즘 : LMS)

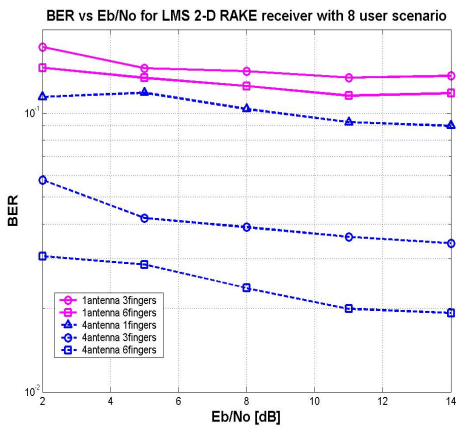


그림 7. 기존의 RAKE 수신기와 2-D RAKE 수신기 BER 성능 비교 (총 사용자 수 : 8명, 2-D RAKE 수신기 배열안테나 수 : 4, 적응알고리즘 : LMS)

의 RAKE 수신기의 성능이 우수하지만, 같은 수의 RAKE 가지를 사용한 경우를 E_b/N_0 가 8 dB일 때를 기준으로 살펴보면, 가지 수 3개일 때는 $10^{-0.4}$, 가지 수 6개일 때는 약 $10^{-0.7}$ 로서 2-D RAKE 수신기의 성능이 우수함을 알 수 있다.

그림 6은 총 사용자 수가 4명일 때, 2개의 배열 안테나를 이용한 2-D RAKE 수신기의 BER 성능을 RAKE 가지 수를 변화시켜가며 측정한 결과이다. 이 경우도 전체적인 성능의 차이는 총 사용자 수를 2명으로 가정하고 2개의 배열 안테나를 사용한 경우와 크게 다르지 않지만, 그림 5와 y축 값을 비교해보면, 전체적으로 약 $10^{-0.3}$ 정도 성능이 악화되었음을 확인할 수 있다. 이는 사용자 수가 증가함에

따라 간섭 양도 증가한 결과로 해석할 수 있다.

마지막으로 그림 7은 총 사용자 수가 8명일 때, 4개의 배열 안테나를 사용한 2-D RAKE 수신기의 성능을 LMS 알고리즘을 이용하여 측정한 결과이다.

사용자 수가 늘어났기 때문에 전체적인 성능은 앞선 시뮬레이션 결과보다 떨어지는 성능을 보여주고 있다. 그러나 여기서 주목할만한 점은 RAKE 가지를 1개만 사용한 2-D RAKE 수신기의 성능이 6개의 RAKE 가지를 사용한 기존의 1-D RAKE 수신기와 비교하여 우수한 성능을 나타낸다는 점이다.

4.2 총 사용자 수에 따른 BER 성능

총 사용자 수에 대한 BER 성능을 LMS 알고리즘을 사용했을 때의 결과는 다음과 같다.

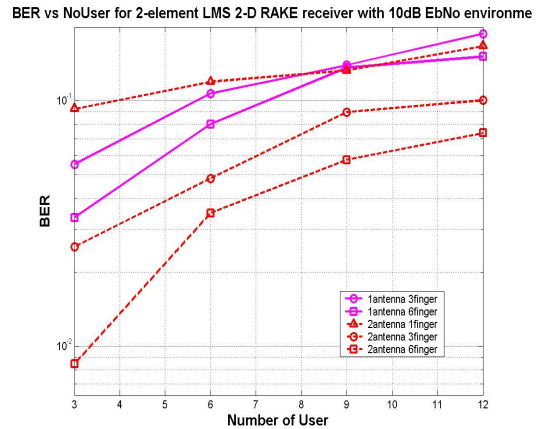


그림 8. 기존의 RAKE 수신기와 2-D RAKE 수신기 BER 성능 비교 (E_b/N_0 : 10dB, 2-D RAKE 수신기 배열 안테나 수 : 2, 적응알고리즘 : LMS)

그림 8, 9는 E_b/N_0 가 10 dB일 때, 2개의 배열 안테나를 사용한 2-D RAKE 수신기 성능을 사용자 수의 변화에 따라 기존의 RAKE 수신기와 비교한 그래프이다. 여러 번의 시뮬레이션을 통해 이미 확인 된 바와 같이 이번 시뮬레이션에서도 같은 수의 가지를 사용하면 배열 안테나 수가 많아질수록 성능이 향상됨을 확인할 수 있다. 특히 가지 수가 1개인 2-D RAKE 수신기의 성능을 살펴보면, 총 3명의 사용자가 존재할 경우에는 가지 수 3개인 기존의 RAKE 수신기보다 $10^{-0.2}$ 정도의 성능 열화를 보이지만, 사용자 수가 12명으로 늘어난 경우에는 근소한 차이로 오히려 더 나은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

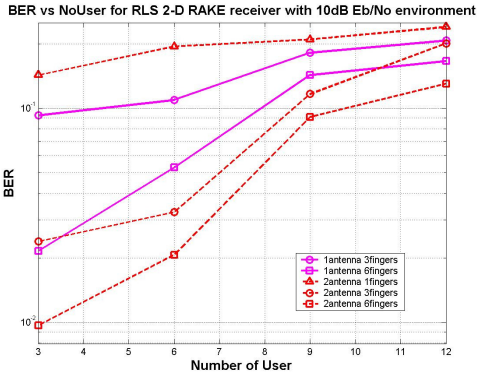


그림 9. 기존의 RAKE 수신기와 2-D RAKE 수신기 BER 성능 비교 (Eb/No : 10dB, 2-D RAKE 수신기 배열안테나 수 : 2, 적응알고리즘 : RLS)

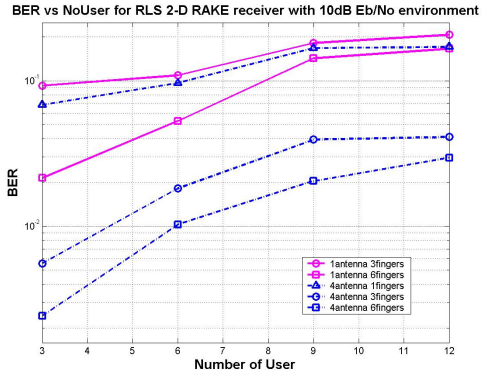


그림 11. 기존의 RAKE 수신기와 2-D RAKE 수신기 BER 성능 비교 (Eb/No : 10dB, 2-D RAKE 수신기 배열안테나 수 : 4, 적응알고리즘 : RLS)

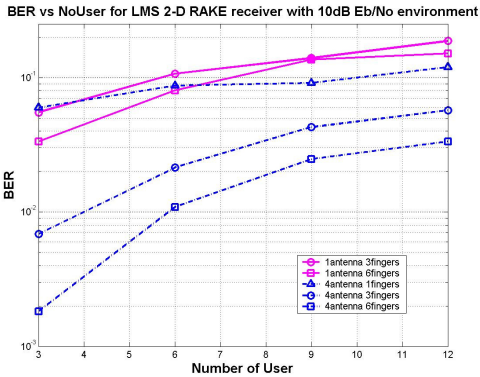


그림 10. 기존의 RAKE 수신기와 2-D RAKE 수신기 BER 성능 비교 (Eb/No : 10dB, 2-D RAKE 수신기 배열안테나 수 : 4, 적응알고리즘 : LMS)

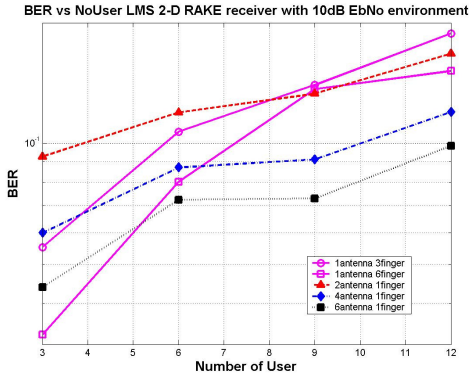


그림 12. 기존의 RAKE 수신기와 빔 형성기 BER 성능 비교 (Eb/No : 10dB, 적응알고리즘 : LMS)

그림 10, 11은 Eb/No가 10 dB일 때, 4개의 배열 안테나를 사용한 2-D RAKE 수신기 성능을 나타낸 그래프이다. 그림 8, 9와 그림 10, 11를 비교해 배열 안테나 수가 2개일 때와 4개일 때를 살펴보면, 총 사용자 수가 6명이고, 가지 수가 6개인 경우 4개의 배열 안테나를 사용한 2-D RAKE 수신기 성능이 평균 $10^{-0.7}$ 정도 우수함을 확인할 수 있다.

RAKE 수신기와 빔 형성기의 성능을 비교해보기 위해 RAKE 수신 기술을 사용하지 않고 배열 안테나를 이용해 빔 형성 기술만 사용한 수신기의 성능을 기존의 RAKE 수신기와 비교하여 보았다. 그림 12, 13이 그 결과를 보여주고 있는 그래프이다.

먼저 총 사용자 수가 3명인 경우를 살펴보면, 전체적으로 빔 형성기 보다 RAKE 수신기가 우수한 성능을 보이고 있다. 하지만 총 사용자 수가 6명

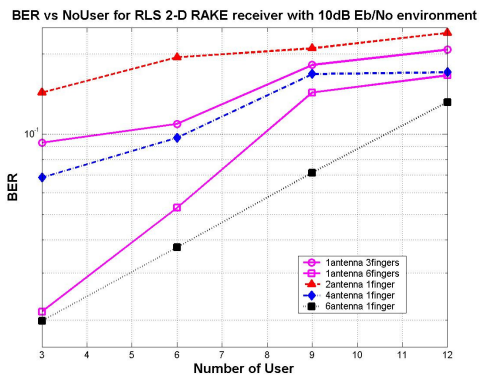


그림 13. 기존의 RAKE 수신기와 빔 형성기 BER 성능 비교 (Eb/No : 10dB, 적응알고리즘 : RLS)

이상인 경우에는 RAKE 가지 수와 배열 안테나 수가 같을 때 빔 형성기의 성능이 우수하게 나타나고

있다. 배열 안테나 수가 2개인 경우에도 사용자 수가 8명 이하 일 때에는 RAKE 가지 수 3개인 기존의 수신기 보다 성능이 떨어지지만 사용자 수가 그 이상으로 증가하면 오히려 더 나은 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

RLS 알고리즘을 사용한 경우 Eb/No 대 BER 곡선과 마찬가지로 총 사용자 수에 대한 BER 성능 곡선 또한 LMS 알고리즘을 사용한 경우와 유사한 결과를 보여줌을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 GBSBEM을 이용한 채널 시뮬레이터를 제작하여 파일럿 심볼을 이용한 2-D RAKE 수신기의 성능을 비교분석하였다. 시뮬레이션 결과 GBSBEM 모델이 신호방향과 지연을 고려한 다중 접속 사용자환경에 잘 적용됨을 알 수 있었으며, Eb/No와 사용자수를 변화시키면서 측정한 BER 성능도 예측한대로 나타남을 확인할 수 있었다. 현재 LMS와 RLS 알고리즘 이외의 빔형성 알고리즘을 적용하여 BER 성능을 개선시키기 위한 노력이 진행 중이다.

참 고 문 헌

- [1] Samuel C. Yang, "CDMA RF System Engineering", Artech House, 1998.
- [2] F.Naguib, A. Paulraj, T. Kailath, "Capacity improvement with basestation antenna arrays in cellular CDMA", *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, Vol. 43, No. 3, pp.691-698, Aug. 1994.
- [3] A. J. Paulraj et al., "Space-Time Processing for Wireless Communications," *IEEE Signal Processing Magazine*, Nov. 1997.
- [4] Joseph C. Liberti, Jr. and Theodore S. Rappaport, Smart Antennas for Wireless Communications : IS-95 and Third Generation CDMA Applications, Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, Inc., 1999.
- [5] 김현욱, 김연규, 이성범, 이명성, "IMT-2000 이동통신 원리," 진한도서, 2002.
- [6] Kazi A. Zahid, "Space-Time Processing for the Wideband-CDMA System", MS thesis, Virginia State University, Jan. 2001.

- [7] Universal Mobile Telecommunications System, "Physical channels and mapping of transport channels onto physical channels (FDD)," *TS25.211 v3.2.0*, 2000-03
- [8] Richard B. Ertel, Paulo Cardieri, Kevin W. Sowerby, Theodore S. Rappaport and Jeffrey H. Reed, "Overview of Spatial Channel Models for Antenna Array Communication Systems", *IEEE Personal Communications Magazine*, pp. 10-22, Feb. 1998.
- [9] Chyan-Gan Kim, "Path Searcher for a WCDMA RAKE Receiver," *Application Note of MOTOROLA*, Mar. 2002.
- [10] 안태기, 이병섭, "순방향 링크의 CDMA통신 시스템에 적용 가능한 적응 MMSE 레이크 수신기," *한국통신학회논문지*, '99-9 Vol.24 No.9A, 1999.
- [11] B. Farhang-Boroujeny, "Adaptive Filters : Theory and Applications," *WILEY*, pp. 152-154, 1998.

남 원 모 (Won Mo Nam)

정회원



2002년 2월 경희대학교 전파공학과(공학사)
 2004년 2월 경희대학교 일반대학원 전파공학과(공학석사)
 2004년 3월~2005년 10월 (주)이노스트림 단말연구소
 2005년 10월~현재 (주)퀘스트랩

스 개발실

<관심분야> 이동통신, 스마트 안테나

최 철 준 (Chul Joon Choi)

정회원



2003년 8월 경희대학교 전파공학과(공학사)
 2005년 8월 경희대학교 일반대학원 전파공학과(공학석사)
 2005년 8월~현재 (주)네오프리 라인 재직

<관심분야> 이동통신, 스마트 안

테나

김 영 수 (Young Soo Kim)

중신회원



1981년 2월 연세대학교 전자공
학과(공학사)

1983년 2월 연세대학교대학원
전자공학과(공학석사)

1988년 12월 Arizona State Uni-
versity 전기공학과(공학박사)

1985년 5월~1986년 5월 Consultant,

Signal-System Technology Inc., U. S. A.

1986년 6월~1988년 12월 Research Associate,

Arizona State University

1989년 3월~1992년 8월 ETRI 전파기술부, 전파응용
연구실, 실장

2002년 1월~2003년 2월 Visiting Faculty, MPRG,

Virginia Tech., U.S.A.

2004년 12월~현재 TTA RFID/USN 프로젝트 그룹,

RFID 무선접속 실무반, 의장

1992년 9월~현재 경희대학교 전자정보대학 전파통신
공학 교수

<관심분야> 이동통신, MIMO-OFDM, RFID, 스마트
안테나, SDR