

무선통신 채널환경에서 비동기식 IMT-2000 시스템의 성능분석

°왕 용 철° 우 병 훈° 강 희 조°

* 동신대학교 전기전자공학과

** 전주공업대학 정보통신과

Performance Analysis of Asynchronous IMT-2000 System

in Wireless Communication Channel Environment

°Yong-Chul Wang° Byung-hoon Woo° Heau-Jo Kang°

* Dept. of Electrical & Electronic Eng., Dongshin Univ.

** Dept. of Information & Communication Eng., Jeonju Technical College.

E-mail : cjfdl98@hanmail.net

요 약

본 논문은 광대역 무선통신 채널환경에서 3GPP 표준안에 기반한 비동기식 IMT-2000 시스템의 송수신기를 구성하여 수신단의 기지국 수신성능을 분석한다. 다중 경로 페이딩 모델로는 ITU-R M.1225에서 제시된 모델을 적용하였으며, 이동국과 기지국의 Uplink 채널환경을 고려하였다. 성능개선 기법으로 어레이 안테나를 채용하였고, 동일채널 간섭제거기와 레이크 수신기를 혼합하여 기존의 레이크 수신기에서 제거할 수 없었던 자기 간섭(Auto Interference)을 제거하는 새로운 레이크 수신기를 제안하였다. 성능 분석 결과, 제안된 레이크 수신기는 자기 간섭 제거로 인한 성능개선 효과를 얻을 수 있었으며 또한, 어레이 안테나를 채용하여 다중접속간섭으로 인한 성능열화를 보상할 수 있었다.

I. 서 론

이동통신 시스템의 성능 및 용량은 셀 간 혹은 셀 내에서 발생하는 동일채널 간섭신호와 경로손실, 다중 경로 페이딩, 신호의 지연, 도플러 확산 및 음영현상 등의 무선 전파 채널에 의해 근본적으로 제한된다. 이러한 성능 및 용량 제한현상에 대한 보상기술로 전력 제어, 채널코딩, 레이크 수신, 다이버시티 안테나, 셀의 섹터화 등의 기술을 응용하고 있다. IMT-2000 시스템은 기지국의 수신신호에 여러 가지 신호가 혼재하게 될 셀 내 환경에서 송신출력과 전송대역폭이 상대적으로 큰 고속 데이터에 의한 강한 간섭신호의 영향을 감소시키는 것이 필수적이며, 다른 간섭신호나 다중경로 페이딩에 대한 해결책이 필요하다. DS-SS 방식의 수신 시스템은 다중 사용자 간섭 신호에 의해 성능이 제한되고, 지원 가능한 데이터 전송속도에 한계가 있다는 단점이 있으나, 수십 Kbps에 해당하는 저속 및 중속 데이터 전송에 이용되고 있다. DS-SS 시스템이 고속 데이터 전송에 적용될 경우, 채널상의 지연 확산으로 인한 인접 심볼간 간섭(ISI : Inter Symbol Interference)이 증가되어 심각한 성능 저하를 초래한다 [1].

본 논문에서는 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에 제안된 표준안을 기초로 송수신 시스템을 구성하고 다중경로 페이딩 환경에서 다중접속 간섭(MAI

: Multi-Access Interference)을 감소시키는 방안으로 기지국 수신단에 방향성(Directivity : 2.67)을 갖는 어레이 안테나를 적용하였고, 동일채널 간섭제거기를 레이크 수신기와 결합한 새로운 레이크 수신기를 제안하여 수신성능을 분석하였다.

II. 시스템 모델

2.1 시스템 해석 모델

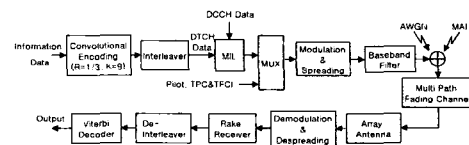


그림 1. W-CDMA 시스템

그림 1 과 같이 비동기식 IMT-2000 시스템은 무선접속방식으로 W-CDMA 방식을 충족하는 형태이며, 대역 확산 시스템이다. 본 논문에서는 DS-SS/QPSK 시스템의 역방향 링크 전송을 가정하며, 채널모델은 송수신기간에 하나 이상의 다중경로 채널이 존재하는 무선 채널을 고려한다.

사용자 데이터는 랜덤 에러에 대한 대책으로 컨볼루

선 코딩과 페이딩 채널에 의한 연접에러를 랜덤화하는 인터리빙 과정을 거치게 되며, 인터리빙을 통하여 인터 프레임 MIL(Multi-stage Interleaving)을 수행한 후 서비스 다중화 단위로 맵핑한다. 인터리빙을 거친 신호는 PN(Pseudo Noise) 발생기로부터의 PN코드와 QPSK 변조되어 확산되며, 확산된 신호는 수신기에서 역확산을 지원하는 파일럿 채널과 합쳐지게 된다. 이렇게 변조되어 송신된 신호는 다중경로 페이딩 채널과 다중접속 간섭 환경을 거쳐 수신되는데 수신시는 송신시와 반대 과정인 복조를 거치게 된다.

수신시는 어레이 안테나에 입력이 되고 주파수 변이를 거친 후 신호대역을 일정한 대역폭으로 제한하기 위해 베이스 밴드 필터링을 하고 베이스 밴드 신호는 동기 획득과 동기추적을 위해 오버샘플링을 거친다. 샘플링 된 수신신호는 레이크 수신기의 탐색기 및 N-1개의 데이터 복조기들에 각각 입력이 되는데, 레이크 결합은 N-1개의 데이터 복조기의 출력에너지와 walsh index에 의해 이루어지게 되고, 다시 역 인터리빙과 비터비 복조 과정에 의해 데이터를 복원하게 된다.

가우시안 잡음 환경에서 DS-CDMA/QPSK 시스템의 오율식은 다음과 같다.

$$P(\gamma) = Q(\sqrt{2\gamma}) \quad (1)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$$

여기서, γ 는 신호 대 잡음전력비(SNR)로 주어진다[2].

2.2 제안된 레이크 수신기 모델

본 논문에서 정의한 자기간섭을 제거하기 위해 동일 채널 간섭제거기와 레이크 수신기를 혼합하여 새로운 레이크 수신기를 제안하였다.

일반적으로 레이크 수신기에서의 SNR값은[3]

$$\gamma_{bl} = \frac{E_b}{N_o} \sum_{i=1}^L \alpha_i = \sum_{i=1}^L \gamma_i \quad (2)$$

이며, α_i 는 탭 가중치, γ_i 는 i 번째 탭의 SNR값이다. 자기간섭이 존재하는 DS-CDMA의 레이크 수신기에서의 SNR값은 식(3)과 같다.

$$\gamma_{bl} = \sum_{i=1}^L \left(\frac{1}{\frac{2}{3M}(1-\alpha_i) + \frac{N_o}{E_b} \cdot \frac{1}{\alpha_i}} \right) \quad (3)$$

단, M = PN 코드의 길이

그림 2에서 다중접속간섭과 자기간섭 제거 이후 탭1에서 출력된 SNR값은 식(4)와 같다.(단, 탭이 3개)[4].

$$\gamma_1 = \frac{1}{\frac{2}{3M}(A_{i2} + A_{i3}) + \frac{N_o}{E_b} \cdot \frac{1}{\alpha_i}} \quad (4)$$

단, $A_{i2} = 4 \cdot Pe_{\gamma_2}$, $A_{i3} = 4 \cdot Pe_{\gamma_3}$

$$Pe_{\gamma_2} = Q(\sqrt{2\gamma_2}), \quad Pe_{\gamma_3} = Q(\sqrt{2\gamma_3})$$

여기서, γ_2 와 γ_3 는 탭2와 탭3에서 자기간섭 제거 이후 SNR값으로 정의될 수 있다. 그러므로 제안된 레이크 수신기의 출력단에서의 SNR값은 식(5)와 같이 주어진다.

$$\gamma_{total} = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 \quad (5)$$

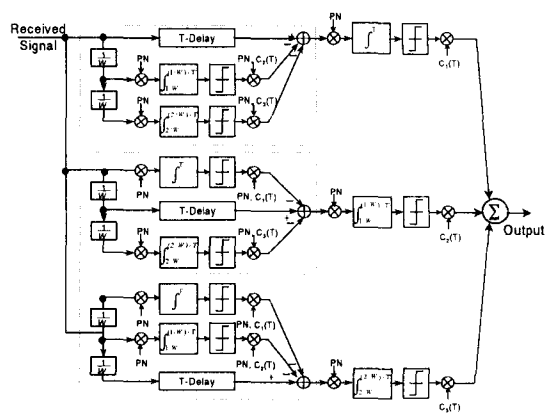


그림 2. 제안된 레이크 수신기

2.3 어레이 안테나 기법

본 논문에서는 셀 내에 사용자가 밀집하게 분포하고 기지국과 이동국 사이에 전력제어가 완벽하게 이루어진다고 가정하며, 빔 패턴의 구동은 수평방향만 고려한다. 이때의 빔 패턴은 $0^\circ \sim 360^\circ$ 까지 정규화된 형태로 간주될 수 있다. 정규화된 빔 패턴 $G(\theta)$ 와 그에 따른 방향성 (D)는 다음과 같다[5],[6].

$$G(\theta) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{|A(\theta)|^2}{M^2} \right\} \text{ [dB]} \quad (6)$$

$$D = \frac{2\pi}{\int_0^{2\pi} G(\theta) d\theta} \quad (7)$$

단, $A(\theta)$: 빔 패턴, M : 안테나 소자 수,

D : 방향성(최대 방사 밀도 방향이득)

방향성 D 는 T. S. Reppaport의 결과[5]와 같이 2.67인 경우를 고려한다.

2.4 컨벌루션 부호화 기법

비동기식 IMT-2000 시스템의 역방향 링크에서 사용되는 컨벌루션 부호는 부호율 1/3이고 구속장 9이며, 대응되는 전달함수 $T(D)$ 는 다음과 같다[7].

$$T(D) = 5D^{18} + 7D^{20} + 36D^{22} + 85D^{24} + 204D^{26} + 636D^{28} + 1927D^{30} + 5416D^{32} + 15769D^{34} + \dots \quad (8)$$

$$\frac{dT(D, N)}{dN} \Big|_{N=1} = 11D^{18} + 32D^{20} + 195D^{22} + 564D^{24} + 1473D^{26}$$

$$+ 5129D^{28} + 17434D^{30} + 54092D^{32} + 171117D^{34} + \dots \quad (9)$$

III. 무선 통신 채널 환경

3.1 페이딩 채널 환경

페이딩 채널의 임펄스 응답이 존재하는 구간 간격이 한 칩 이내인 경우를 플랫 페이딩이라 하며, 가시거리(LOS : Line Of Sight) 경로의 존재 여부에 따라 수

신 신호의 통계적인 특성은 레일리 혹은 라이시안 분포로 모델링 된다. 송신측으로부터 경로 신호 중 직접적인 경로가 존재하지 않는 경우 수신 신호의 수신 진폭은 다음 식과 같은 레일리 분포의 통계적 특성을 가진다[8].

$$p(R) = \frac{R}{S} \exp\left(-\frac{R^2}{2S}\right), 0 \leq R \leq \infty \quad (10)$$

단, S : 수신 평균 전력
반면 교외 지역과 같이 송신측과 수신측 사이에 직접적인 경로가 존재하는 경우는 식(11)과 같은 라이시안 분포로 모델링 된다[8].

$$p(R) = \frac{R}{S_0} \exp(-K) \exp\left(-\frac{R^2}{2S_0}\right) I_0\left(R\sqrt{\frac{2K}{S_0}}\right), \quad 0 \leq R \leq \infty \quad (11)$$

식(11)에서 $I_0(\cdot)$ 는 첫 번째 종류의 0차인 수정된 베셀 함수이며, K는 S_0 를 신호 성분이 가장 강한 경로의 평균 전력, S_0/S_1 를 나머지 경로들의 평균 전력으로 표현했을 때 S_0/S_1 에 해당하는 파라미터이다. 즉 직접과 대 반사파의 비를 나타낸다.

3.2 다중접속간섭 채널 환경

다중 경로 페이딩 채널 환경에서는 사용자 채널 코드의 직교성이 깨어져 다중 접속 간섭의 현상이 나타나게 되고 역방향 링크 채널 데이터는 각 사용자의 전송 타이밍이 비동기되어 있으므로 순방향 링크 채널과 달리 가우시안 잡음 환경에서도 다중 접속 간섭 현상이 나타나게 된다.

$$Y(t) = \sum_{m=1}^M \sqrt{P_m} X_m(t - \tau_m) + n(t) \quad (12)$$

식(12)은 가우시안 환경에서 역방향 링크 채널에 대한 수신 신호의 특징을 표현한 식이다. 각 사용자의 신호를 $X_m(t)$, 전력을 P_m , 비동기적 특성을 τ_m 으로 나타내었다.

3.3 다중 경로 페이딩 환경

표 1~3에 ITU-R M.1225에서 무선 채널 환경의 성능 평가를 위한 값들을 계산한 표를 나타내었다.

표 1. Indoor 환경 TDL 모델링 파라미터

Tap	ITU-R M.1225				Modeling Parameter	
	Channel A		Channel B		Channel A	Channel B
	Delay (ns)	Average Power (dB)	Delay (ns)	Average Power (dB)	Tap Weight	
1	0	0	0	0	0.6172	0.5784
2	50	-3.0	100	-3.6	0.3093	0.2525
3	110	-10.0	200	-7.2	0.0617	0.1102

표 2. Outdoor to Indoor 보행자 환경 TDL 모델링 파라미터

Tap	ITU-R M.1225				Modeling Parameter	
	Channel A		Channel B		Channel A	Channel B
	Delay (ns)	Average Power (dB)	Delay (ns)	Average Power (dB)	Tap Weight	
1	0	0	0	0	0.8894	0.4057
2	110	-9.7	200	-0.9	0.0953	0.3298
3	190	-19.2	800	-4.9	0.0107	0.1313

표 3. Vehicular 차량이동 환경 TDL 모델링 파라미터

Tap	ITU-R M.1225				Modeling Parameter	
	Channel A		Channel B		Channel A	Channel B
	Delay (ns)	Average Power (dB)	Delay (ns)	Average Power (dB)	Tap Weight	
1	0	0	0	-2.5	0.4850	0.3226
2	310	-1.0	300	0	0.3852	0.5738
3	710	-9.0	8900	-12.8	0.0611	0.0301

IV. 수치계산 및 검토

본 장에서는 IMT-2000 시스템의 수신성능과 성능 개선기법으로서 어레이 안테나와 제안된 레이크 수신기를 채용한 경우의 다중접속 간섭과 자기간섭의 제거에 따른 수신 성능개선 정도를 분석하였다. 표 4는 본 논문의 성능 분석을 위한 파라미터를 나타내며 그림 3~5는 성능 분석 결과를 보여준다.

표 4. 성능 분석 파라미터

Modulation	QPSK
Bandwidth	5MHz
Length of PN Code (M)	31
Number of User	10
Rician Factor (K)	0, 5, 10 [dB]
Convolution Coding	R=1/3, k=9
Antenna Directivity[D]	2.67
ITU-R M.1225	Channel A

그림 3은 Indoor 실내환경에서 DS-CDMA/QPSK 시스템의 수신 성능을 나타내었다. 어레이 안테나와 제안된 레이크 수신기를 동시에 채용하였을 경우 약 $E_b/N_0 = 22$ [dB]에서 데이터 서비스기준인 BER 10^{-6} 을 만족할 수 있었다. 기존의 레이크 수신기와 어레이 안테나기법은 레일리 환경에서 다중접속 간섭과 다중경로 페이딩의 영향으로 BER 10^{-6} 을 만족하지 못하였다.

그림 4는 Outdoor to Indoor 보행자 이동환경에서 어레이 안테나와 제안된 레이크 수신기를 동시에 채용하였을 경우 약 $E_b/N_0 = 16$ [dB], 제안된 레이크 수신기

만을 채용했을 경우는 약 $E_b/N_0=16.5$ [dB]에서 BER 10^{-6} 을 만족하였다. 기존의 레이크 수신기와 어레이 안테나를 채용하였을 경우 약 $E_b/N_0=19$ [dB]에서 BER 10^{-6} 을 만족하였다. 하지만, 성능개선기법을 채용하지 않았을 경우에는 다중경로 페이딩과 다중접속 간섭의 영향으로 BER 10^{-6} 을 만족하지 못하였다.

그림 5는 Vehicular 환경에서 송수신기간의 가시거리(Line of Sight) 확보로 인한 어레이 안테나 시스템의 성능이 큰 폭으로 개선되었으며, 제안된 레이크 수신기를 채용하였을 경우 약 $E_b/N_0=11$ [dB]에서 BER 10^{-6} 을 만족하였다. 또한, 기존의 레이크 수신기보다 약 $E_b/N_0=1.5$ [dB] 정도의 성능개선이 있었다.

V. 결 론

결과적으로 성능 분석을 위한 세가지 채널 환경에서 공통적으로 어레이 안테나와 제안된 레이크 수신기를 채용하였을 경우 가장 우수한 수신성능을 확인하였으며, 가시거리의 존재유무에 따라 시스템의 성능은 제한됨을 알 수 있었다. 한편 제안된 레이크 수신기에 어레이 안테나를 채용했을 경우에 어레이 안테나의 성능개선정도는 약 $E_b/N_0=1$ [dB] 정도였다. 이는 제안된 레이크 수신기가 다중접속 간섭과 자기간섭, 지연시간으로 인한 성능열화를 효과적으로 개선한 결과라고 사료된다.

참고문헌

- [1] 이상근, 방효창, "CDMA 무선기술", 도서출판 세화, 2000. 3.
- [2] Brenard Sklar, *Digital Communications Fundamental and Applications*, Prentice-Hall International Editions, 1988.
- [3] Sung Hyun Choi and Dang Wu Kim, "Optimum bandwidth expansion for DS/SSMA communication over a multipath rayleigh channel", ICC 95, vol. 3, June, 1995.
- [4] Tachikawa, S., "Characteristics of M-ary/Spread Spectrum Multiple Access Communication Systems Using Co-channel Interference Cancellation Techniques," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E76-B, no. 8, pp. 941-946, Aug. 1993.
- [5] J. C. Liberty, Jr. and T. S. Rappaport, "Analytical results for capacity improvements in CDMA," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 3, pp. 680-690, Aug. 1994.
- [6] Litva and T. K. Lo, *Digital Beamforming in Wireless Communications*, Artech House, Inc. 1996.
- [7] L. Jhong Sam and L. E. Miller, *CDMA System Engineering Handbook*, Boston London, Artech,

1998.

- [8] Proakis, J. G., *Digital Communications*, NewYork, McGraw- Hill, 1983.
- [9] REC-ITU-M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000.
- [10] ARIB, Evaluation Methodology for IMT-2000 Radio Transmission Technologies, Sep. 1998.

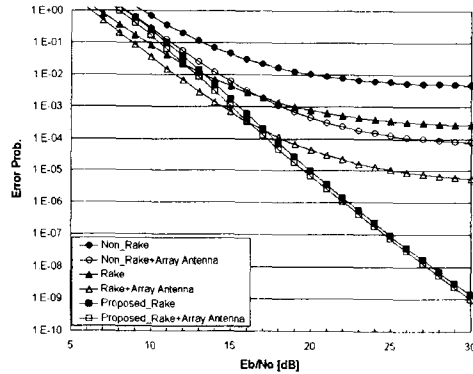


그림 3. 비동기식 IMT-2000 시스템의 수신성능 (Indoor)

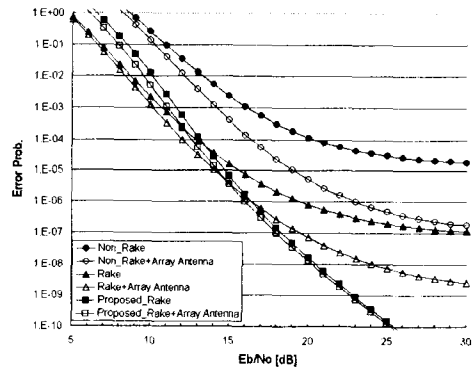


그림 4. 비동기식 IMT-2000 시스템의 수신성능 (Outdoor to Indoor)

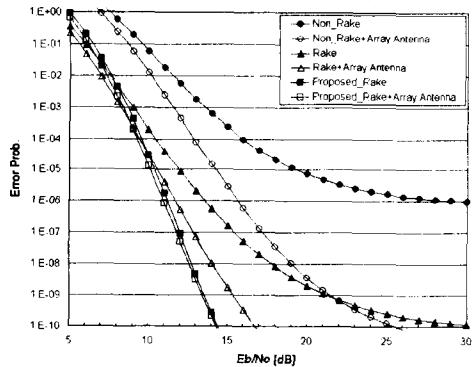


그림 5. 비동기식 IMT-2000 시스템의 수신성능 (Vehicular)