

JTC 채널 모델에서 W-CDMA의 사용자 수에 대한 성능 분석

이주석*, 오동진**, 김철성** (李柱錫, 吳同鎭, 金澈成)
순천제일대학 전자정보통신과* / 전남대학교 컴퓨터공학과**
전화 : (0661) 740-1281 / 팩스 : (0661) 740-1286

Analysis of W-CDMA system for different number of users over JTC channel model

Ju Seog Lee*, Dong Jin Oh**, Cheol Sung Kim**
Dept. of Electronic & telecommunication Engr., Suncheon First Coll.*
/ Dept. of Computer Engr., Chonnam National Univ.**
E-mail : jslee@first.suncheon.ac.kr

Abstract

In this paper, we assume various number of multipaths in one chip duration according to spreading bandwidth. And we take into account of the effects of autocorrelation and relative phases among multipath components within one chip duration, and analyze fading effects.

We derive the average error probability for different number of users. Then, we compare the performance of W-CDMA systems with different bandwidths.

From the simulation results for different bandwidths, wideband CDMA systems show better performance than narrowband CDMA systems in vehicular and pedestrian environments.

I. 서론

최근 셀룰러 무선 시스템의 응용 분야에서 많은 관심

을 끌고 있는 광대역 CDMA (W-CDMA) 방식은 넓은 확산 대역폭을 사용함으로써 고속 전송율을 요구하는 IMT-2000과 같은 제 3세대 무선통신 시스템을 유연성 있게 지원할 수 있는 장점을 갖고 있다. 이러한 이유로 W-CDMA 시스템의 성능 분석에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1]

일반적으로 CDMA 시스템의 해석에서 CDMA 시스템의 대역폭에 관계없이 한 칩 구간 내에 일정한 평균 전력을 갖는 한 개의 다중 경로 성분만을 고려하고 있다.[2] 그러나 본 논문에서는 한 칩 구간 내의 다중 경로 성분들에 자기 상관 함수의 영향과 다중 경로 성분들의 상대적인 위상을 고려하여 페이딩의 영향을 해석하였다. 그리고 채널의 고정된 대역폭에서 서로 다른 대역폭을 갖는 CDMA 시스템의 성능을 비교, 평가하기 위하여 사용자 수에 대한 평균 에러 확률을 이론적으로 유도하였다.

전체 구성을 보면 II장에서는 광대역 채널 모델링을 살펴보고, W-CDMA의 성능 분석을 위해 사용자 수에 대한 평균 에러 확률을 유도하였다. 그리고 III장에서는 컴퓨터 모의 실험을 통해 서로 다른 대역폭을 갖는 CDMA 시스템의 성능을 비교 분석하였다. 마지막으로

IV장에서 결론을 맺는다.

II. 다중 경로 페이딩 채널에서 W-CDMA의 해석

다중 경로 페이딩 채널을 선형 필터로 가정하면 JTC 채널 모델의 임펄스 응답은 다음 식 (1)과 같다.[3,4]

$$h(t) = \sum_{l=0}^L \sqrt{p_l} \alpha_l \delta(t - \tau_l) \exp(j\theta_l), \quad (1)$$

여기서 p_l 은 JTC 채널에서 l 번째 전력 지연 프로파일의 크기, $\alpha_l(t)$ 는 레일리 랜덤 변수, $\sqrt{p_l} \alpha_l$ 은 l 번째 경로의 신호의 세기이다. 그리고 τ_l 은 시간 지연, θ_l 은 천이된 위상이다.

W-CDMA 시스템을 해석하기 위해 수신 신호는 $k+1$ 개의 DS 파형으로 구성되고, 서로 비동기적으로 동작한다고 가정하자. 또한 해석을 위해 변조 신호는 동기 BPSK 신호이고, 완전한 전력 제어, 코드, 반송파, 비트 동기를 가정하자. k 번째 사용자의 전송 신호는 다음 식 (2)와 같다.

$$s_k(t) = m_k(t) c_k(t) \cos(\omega_0 t), \quad (2)$$

여기서 $m_k(t) \in \{-1, +1\}$ 는 k 번째 사용자의 이진 랜덤 데이터이고 $c_k(t)$ 는 k 번째 사용자의 확산 부호이다.

JTC 채널 모델을 통해 수신된 전체 신호 $r(t)$ 는 다음 식 (3)과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=0}^K \sum_{l=0}^L \sqrt{p_l} \alpha_{k,l} m_k(t - \tau_{k,l}) c_k(t - \tau_{k,l}) \cos\{\omega_0(t - \tau_{k,l}) + \theta_{k,l}\} + n(t), \quad (3)$$

여기서 $k=0$ 은 원하는 사용자의 신호를 나타내고, $k=1, 2, \dots, K$ 은 원하지 않는 사용자를 나타낸다. $l=0$ 은 맨 처음 도착하는 신호를 나타내고, $l=1, 2, \dots, L$ 은 첫번째, 두번째, ..., L 번째 다중 경로 신호를 나타낸다. p_l 은 l 번째 전력 지연 프로파일의 크기를 나타내고 $\alpha_{k,l}$ 은 임펄스 응답에서 k 번째 사용자의 l 번째 다중 경로의 크기를 나타내는 정규화된 레일리 랜덤 변수이다. $\tau_{k,l}$ 과 $\theta_{k,l}$ 은 이에 해당되는 시간 지연과 위상 천이를 각각 나타낸다.

수신 신호 $r(t)$ 가 국부 발진기와 상관기를 통과한 후 t 가 T 에서 출력 $Z(T)$ 는 다음 식 (4)와 같다.

$$Z(T) = \int_0^T 2\{s_0(t) + s_i(t) + n(t)\} c_0(t) \cos(\omega_0 t + \theta_0) dt = S + I + N. \quad (4)$$

$Z(T)$ 의 통계적 특성을 살펴보기 위해 S, I, N 의 특

성을 살펴보자. 먼저 S 의 통계적 특성을 살펴보면 다음 식 (5)와 같다.

$$S = \left| \sum_{l=0}^L \sqrt{p_l} \alpha_{0,l} \exp(j\psi_{0,l}) R_c(\tau_{0,l}) \right|. \quad (5)$$

지금까지 성능 분석을 위한 기존의 방법은 고정된 채널 대역폭에서 한 칩 구간 내에 여러 개의 다중 경로 성분이 존재할 경우에 여러 다중 경로 성분들의 평균 전력을 더해 한 개의 평균 전력을 갖는 다중 경로 성분이 존재하는 것으로 가정하고 있다.[2] 그러나 본 논문에서는 시스템의 대역폭과 채널의 해상도에 따라 식 (5)를 사용하여 그림 1과 같이 한 칩 구간 내의 다중 경로 성분의 수를 달리하는 방법을 사용하고 있다.

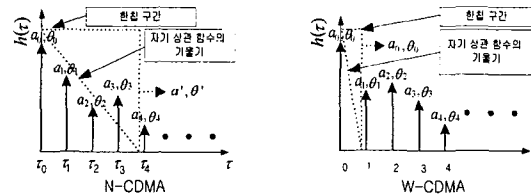


그림1. 대역폭에 따른 N-CDMA와 W-CDMA의 다중 경로의 영향.

MRC (Maximal Ratio Combining) 다이버시티를 사용한 레이크 수신기의 출력 신호는 다음 식 (7)과 같다.[5]

$$S_T = \sum_{i=1}^M G_i S_i. \quad (7)$$

이때 레이크 수신기의 출력 신호는 각 상관기 출력 신호의 자승의 합이 된다. 그러므로 이 확률 밀도 함수는 지수 랜덤 변수의 합과 같고 다음 식 (6)과 같다.[6]

$$f(s_T) = \frac{M}{\prod_{i=1}^M \xi_i} \sum_{i=1}^M \frac{\exp(-\xi_i s_T)}{\prod_{j=1, j \neq i}^M (\xi_i - \xi_j)}. \quad (6)$$

각 상관기의 출력에서 간섭 I 와 잡음 N 의 통계적 특성은 가우시안 분포를 갖는다고 가정할 수 있다.[7] 그러므로 주어진 S_T 에 대한 조건부 에러 확률과 평균 에러 확률은 다음 식 (8-9)와 같다.

$$P(\text{error}|s_T) = Q \left(\frac{E[Z_T|S_T]}{\sqrt{\text{Var}[Z_T|S_T]}} \right) = Q \left(\frac{s_T}{\sqrt{\text{Var}[I_T] + \text{Var}[N_T]}} \right). \quad (8)$$

$$P_e = \int P(\text{error}|s_T) f(s_T) ds_T. \quad (9)$$

식 (8)에서 간섭 성분의 분산이 사용자 수에 따라 변화하기 때문에 위 식 (9)을 출력 신호의 크기 s_T 로 적

분하면 사용자 수에 따른 평균 에러 확률을 다음 식 (10)과 같이 구할 수 있다.[8]

$$P_e = \int P(\text{error}|s_T) f(s_T) ds_T$$

$$= \frac{1}{2} \prod_{i=1}^M \zeta_i \sum_{j=1}^M \frac{1}{\zeta_j - \frac{M}{\prod_{l=1, l \neq j}^M (\zeta_l - \zeta_j)}} \left[1 - \text{erfc}\left(\frac{\zeta_i}{2\beta}\right) \exp\left(-\frac{\zeta_i^2}{4\beta^2}\right) \right], \quad (10)$$

여기서 M 은 전체 상관기의 수를 나타내고 $\frac{1}{\zeta_i}$ 은 i 번째 상관기의 출력 신호의 기대치를 나타낸다. 그리고 β 는 $\frac{1}{\sqrt{2(\text{Var}[I_T] + \text{Var}[N_T])}}$ 이다.

III. 모의 실험

시스템의 대역폭에 따른 성능을 비교하기 위해 모의 실험 환경으로 JTC 채널 모델의 실외 지역에서 서로 다른 두 개의 물리적인 동작 환경을 선정하고 표 1에 나타냈다^[4]. 그리고 데이터 전송율은 10[Kbps]로 하고 CDMA 시스템의 대역폭이 10MHz, 5MHz, 2.5MHz, 1.25MHz인 경우에 대해 성능을 분석하였다.

표1. 보행자 환경과 차량 환경의 도심 지역에서 tapped delay line parameters.

| Tap | 보행자 환경 | | 차량 환경 | |
|-----|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| | Rel. delay (nsec) | Avg. power (dB) | Rel. delay (nsec) | Avg. power (dB) |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 100 | -3.6 | 200 | -4.9 |
| 3 | 200 | -7.2 | 500 | -3.8 |
| 4 | 300 | -10.8 | 700 | -1.8 |
| 5 | 500 | -18.0 | 2100 | -21.7 |
| 6 | 700 | -25.2 | 2700 | -11.5 |

여기서 Tap , Rel. delay 및 Avg. power는 전력 지연 프로파일의 수, 지연 시간 및 평균 전력을 각각 나타낸다.

또한 광대역과 협대역 시스템의 성능에 대한 공정한 비교를 위하여 hybrid FDMA/CDMA 시스템을 채택하였다.[2] 그리고 동일한 총 대역폭에서 사용자 수를 파라미터로 설정하여 성능을 비교하였다.

상관기 출력의 분산이 서로 다른 경우의 확률 밀도 함수와 평균 에러 확률을 본 논문에서 구한 이론적인

방법과 수치적인 방법을 사용하여 구하고 그 결과를 다음 그림 [2-5]에 비교하였다.

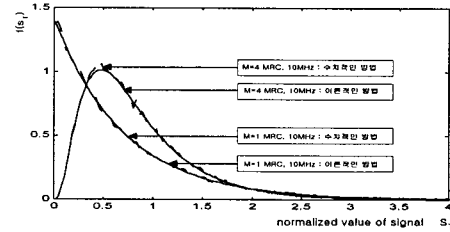


그림 2. 보행자 환경의 도심 지역에서 수신 신호의 확률 밀도 함수의 비교

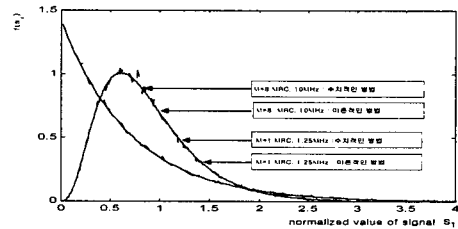


그림 3. 차량 환경의 도심 지역에서 수신 신호의 확률 밀도 함수의 비교.

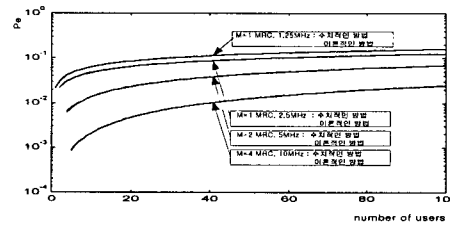


그림 4. 보행자 환경의 도심 지역에서 사용자 수에 대한 평균 에러 확률의 비교.

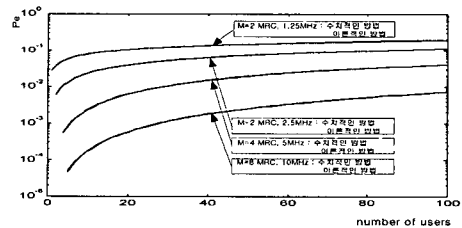


그림 5. 차량 환경의 도심 지역에서 사용자 수에 대한 평균 에러 확률의 비교.

위의 그림 2와 3에서 1.25MHz 시스템보다 10MHz 시스템의 해상도가 좋으므로 10MHz 시스템에 상대적으로

로 큰 신호 성분들이 많이 존재함을 볼 수 있다.

hybrid FDMA/CDMA 시스템에서 10MHz의 CDMA 시스템에는 총 8개의 1.25MHz시스템이 존재하고 각 주파수별로 서로 다른 사용자를 수용할 수 있다. 그러므로 그림 4와 5에서 1.25MHz에서의 사용자 수를 8배 하여 10MHz의 성능과 비교하였다. 그리고 그 결과를 표 2와 3에 나타냈다.

표 2. 보행자 환경의 도심 지역에서 서로 다른 대역폭을 갖는 CDMA 시스템에 대한 평균 에러 확률의 비교.

| 사용자 수 / 대역폭 구분 | 16 | 48 | 80 |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 10MHz×1 | 1.0×10^{-3} | 5.2×10^{-3} | 1.0×10^{-2} |
| 1.25MHz×8 | 3.1×10^{-2} | 5.3×10^{-2} | 6.7×10^{-2} |

표 3. 차량 환경의 도심 지역에서 서로 다른 대역폭을 갖는 CDMA 시스템에 대한 평균 에러 확률의 비교.

| 사용자 수 / 대역폭 구분 | 16 | 48 | 80 |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 10MHz×1 | 3.9×10^{-4} | 2.4×10^{-3} | 5.2×10^{-3} |
| 1.25MHz×8 | 3.7×10^{-2} | 6.2×10^{-2} | 7.8×10^{-2} |

표 2와 표 3에서 보행자 환경보다는 차량 환경에서 10MHz 시스템의 성능이 1.25MHz 시스템보다 우수하게 나타나는 것은 차량 환경에 많은 수의 전력 지연 프로파일들이 존재하므로 레이크 수신기에서 많은 다중 경로 성분들의 전력을 이용할 수 있기 때문이다. 그리고 광대역 시스템은 대역폭이 넓어서 해상도가 좋기 때문에 광대역 시스템의 성능이 협대역 시스템의 성능보다 우수함을 알 수 있었다.

IV. 결론

일반적으로 CDMA 시스템의 해석에서 CDMA 시스템의 대역폭에 관계없이 한 칩 구간 내에 한 개의 다중 경로 성분만을 고려하지만, 본 논문에서는 한 칩 구간 내의 다중 경로 성분들에 자기 상관 함수의 영향과 다중 경로 성분들의 상대적인 위상을 고려하여 페이딩의 영향을 해석하였다.

모의 실험에서 실측 JTC 채널 모델을 광대역 다중 경로 채널 모델로 사용하고 JTC 채널 모델의 실의 두 개 지역을 모의 실험 환경으로 선정하였다. 이 환경에서 이론적인 방법과 수치적인 방법으로 구한 확률 밀도 함수와 사용자 수에 대한 평균 에러 확률을 CDMA 시스템의 대역폭에 따라 각각 비교 분석한 결과가 서

로 일치함을 알 수 있었다.

광대역과 협대역 시스템의 공정한 성능 비교를 위해 hybrid FDMA/CDMA 시스템을 사용하여 비교한 결과 차량 환경과 보행자 환경에서 10MHz 시스템이 1.25MHz 시스템보다 성능이 우수함을 알 수 있다. 그리고 광대역 시스템은 대역폭이 넓어서 해상도가 좋기 때문에 광대역 시스템의 성능이 협대역 시스템의 성능보다 우수함을 알 수 있었다.

더 나아가, 본 논문에서 제안한 방법을 다른 다중 경로 페이딩 채널에도 적용하면 CDMA 시스템의 사용자 수에 대한 성능을 좀 더 정확하게 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] F. Adachi, M. Sawahashi, and H. Suda, "Wide-band DS-SS-CDMA for Next-Generation Mobile Communications Systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 36, no. 9, pp. 56-69, Sept. 1998.
- [2] T. Eng and L.B. Milstein, "Comparison of hybrid FDMA/CDMA Systems in frequency-selective Rayleigh Fading," *IEEE J-SAC*, vol. J-SAC 12, no. 5, pp. 938-951, June 1994.
- [3] G. L. Turin et al., "A statistical model of urban radio propagation," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. VT-21, pp. 1-9, Feb. 1972.
- [4] Deployment/Testing Ad Hoc Group, "Joint Technical Committee(AIR) Standards Contribution," Sept, 1994. [1994 revision 6.]
- [5] T. S. Rappaport "Wireless Communications," IEEE Press, first Edition, 1996.
- [6] G. P. Efthymoglou, V. A. Aalo and H. Helmken, "Performance analysis of coherent DS-SS-CDMA systems in a Nakagami fading channel with arbitrary parameters," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, vol. VT-46, no. 2, pp. 289-297, May 1997.
- [7] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread spectrum multiple access communication-Part I: System analysis," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-25, pp. 795-799, Aug. 1977.
- [8] 이주석, "광대역 다중 경로 채널에서 W-CDMA 시스템의 대역폭에 따른 성능분석," 전남대학교 박사학위 논문, 2000. 2.