

논문 2004-41TC-11-10

Gated-CDMA: 차세대 이동통신 시스템을 위한 하향링크 전송방법

(Gated-CDMA: A Downlink Transmission Method for Next Generation
Mobile Cellular Communication Systems)

임 민 중*

(Minjoong Rim)

요 약

CDMA 시스템은 이동통신 환경에서 매우 적합한 방식으로 증명이 되었지만 다중경로간섭에 취약하여 주파수 선택적 페이딩 환경에서 고속데이터 전송을 하기 어려운 단점을 가지고 있다. 이 논문에서는 차세대 이동통신 시스템에서 사용될 수 있는 하향링크 전송방법을 소개한다. 제안된 전송 방법은 3세대 이동통신 시스템과 호환성을 유지하면서 수신기에서 주파수 영역 등화의 사용을 가능하게 한다.

Abstract

While CDMA systems are proven to be excellent solutions for cellular communications, they suffer from severe multi-path interferences and are unable to support high-data-rate transmissions over frequency-selective fading channels. This paper introduces a novel downlink transmission method for next generation mobile communication systems. The proposed method allows frequency-domain equalization at the receiver while maintaining the compatibility with the 3rd generation CDMA systems.

Keywords: CDMA, OFDM, Frequency-Domain Equalization, EVDV, HSDPA, Gating

I. 서 론

3세대 이동통신 표준인 EVDV(Evolution Data and Voice)^[1]와 HSDPA(High-Speed Downlink Packet Access)^[2]는 CDMA(Code Division Multiple Access)를 기반으로 고속 데이터 전송을 하기 위한 것이다. 그러나 CDMA 시스템은 고속 데이터 전송을 위해서 다중 코드의 수를 늘릴 때 다중경로간섭에 취약하다는 치명적인 약점을 가지고 있다. 다중경로간섭에 의한 성능 열화는 신호대잡음비가 높은 환경에서도 고속 데이터

전송을 불가능하게 한다.

다중경로간섭이 존재하는 환경에서 고속의 데이터를 전송하기 위한 방법으로는 무선통신에서 많이 사용되고 있는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiple-xing)^[3-4]과 SC-FDE(Single-Carrier with Frequency Domain Equalization)^[5-6] 등이 있다. 이들은 CP(Cyclic Prefix)에 도움을 받아 수신기에서 주파수 영역 등화(Frequency Domain Equalization, FDE)를 함으로써 다중경로간섭을 극복한다. 이 논문에서는 EVDV, HSDPA 등의 CDMA 시스템의 하향링크에 OFDM과 SC-FDE에서 사용되는 주파수 영역 등화를 결합하여 다중경로간섭을 극복함으로써 고속 데이터 전송을 가능하게 하는 방법을 제안한다. CDMA에 주파수 영역 등화를 결합한 방법은 많이 제안되었으나 이들은 CP에 기반을 두고 있으므로 3세대 이동통신 시스템과 호환성을 유지

* 정회원, 동국대학교 정보통신공학과
(Department of Information and Communication
Engineering, Dongguk University)

※ 이 논문은 한국과학재단 특정기초 연구과제 [R01-2001-000-00349-0]의 지원결과입니다.

접수일자: 2004년1월27일, 수정완료일: 2004년10월12일

하기 어렵다^[7-8]. 이 논문에서는 CP를 사용하지 않고, EVDV, HSDPA 등 기존의 CDMA 시스템의 틀을 유지하면서, CDMA에 주파수 영역 등화를 결합하는 방법을 제안한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 EVDV, HSDPA 등의 다중코드 CDMA 시스템과 OFDM, SC-FDE 등의 주파수 영역 등화를 이용하는 전송 방법을 설명한다. III장에서는 다중코드 CDMA와 주파수 영역 등화를 결합한 방법인 새로운 전송 방식을 제안한다. IV장에서는 모의 실험을 통하여 제안된 방식의 우수성을 보이고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존 시스템들의 모델

1 CDMA 시스템 모델

하향링크 CDMA 시스템은 그림 1과 같은 코드 분할 다중화 방식으로 여러 채널들의 데이터들을 혼합하여 전송한다. 하향링크 CDMA 시스템의 데이터는 확산 코드(EVDV^[1]의 Walsh, HSDPA^[2]의 OVSF(Orthogonal Variable Spreading Factor))에 의해서 대역확산이 된 뒤, 여러 채널의 신호가 더해져 PN 수열(Pseudo-random Noise Sequence)이 곱해지는 형태를 가진다. EVDV, HSDPA에서는 그림 2와 같이 파일럿 채널, 공

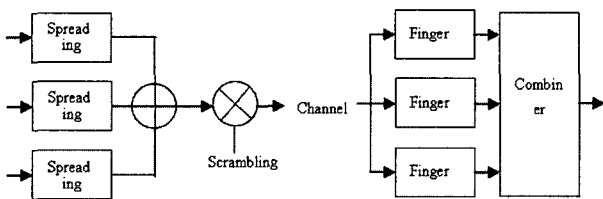


그림 1. CDMA
Fig. 1. CDMA.

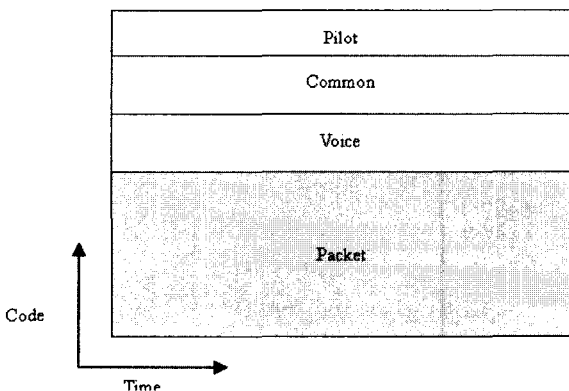


그림 2. 코드 분할 다중화
Fig. 2. Code Division Multiplexing.

유 채널, 음성통화 채널에 사용되는 확산 코드 등을 제외한 나머지 코드를 공유된 패킷 채널(EVDV의 F-PDCH(Forward Packet Data Channel), HSDPA의 HS-DSCH(High-Speed Downlink Shared CHannel))에 할당하여 시분할 방식으로 데이터를 전송한다. CDMA 수신기는 레이크 수신기의 형태를 가지며 핑거(finger)라고 불리는 여러 개의 역확산 로직을 이용하여 각각 다른 다중경로의 신호를 수신하고 이들을 결합하여 복조를 한다.

EVDV, HSDPA와 같은 다중코드 CDMA 시스템에서 다중코드의 수가 작을 경우에는 각 핑거로 들어오는 다중경로간섭을 무시할 수 있으나 고속 데이터 전송을 위해서 대부분의 코드가 사용될 경우에는 심각한 다중경로간섭을 일으켜 성능을 감소시킨다. EVDV, HSDPA의 표준에서는 높은 차수의 변조방식을 허용하고 있지만 다중경로간섭이 많은 경우 신호대잡음비가 높은 환경에서도 고속 데이터 전송이 가능하지 않다.

2 OFDM 및 SC-FDE 시스템 모델

다중경로간섭이 많은 환경에서 고속 데이터 전송을 하기 위해서는 OFDM^[3-4] 또는 SC-FDE^[5-6] 등이 널리 사용되고 있다. OFDM은 그림 3과 같이 송신기에서는 데이터를IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 한 후 CP를 붙여서 전송하고 수신기에서는 수신한 데이터에서 CP를 제거한 후 FFT(Fast Fourier Transform)를 한 후 주파수 영역 등화를 한다. OFDM은 평균전송전력 대비 최대전송전력(peak-to-average power ratio)이 높다는 단점을 가지고 있으며 이를 극복하는 한 가지 방법은 IEEE802.16a^[6] 등에서 사용되고 있는 SC-FDE

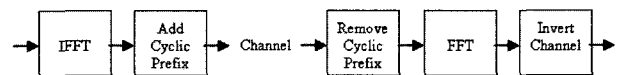


그림 3. OFDM
Fig. 3. OFDM.

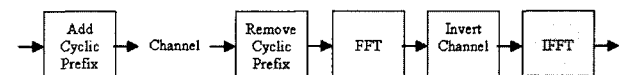


그림 4. SC-FDE
Fig. 4. SC-FDE.

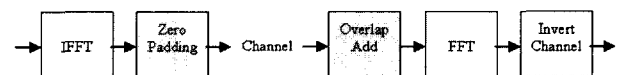


그림 5. ZP-OFDM
Fig. 5. ZP-OFDM.

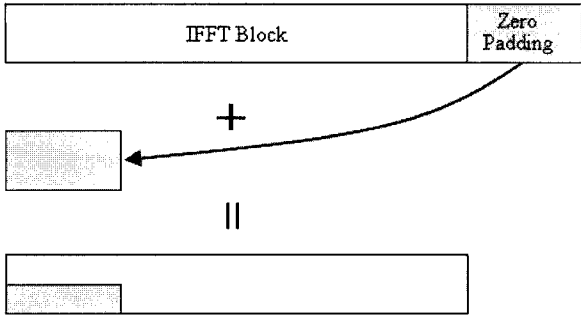


그림 6. Overlap Add
Fig. 6. Overlap Add.

이다. SC-FDE는 OFDM과 비교했을 때 그림 4에서 보는 것과 같이 송신측의 FFT가 수신측으로 이동한 형태를 가지고 있으며 OFDM과 유사한 성능, 효율성, 복잡도를 유지하면서 OFDM에 비해 비선형성 전력 증폭기에 덜 민감하다는 장점을 가진다.

IEEE802.15.3a의 표준으로 제안된 MB-OFDM(Multi-Band OFDM)^[9]은 그림 5와 같이 CP를 사용하는 대신 zero-padding을 사용하는 ZP-OFDM^[10]이다. 주기적인 형태를 유지하기 위해 송신기에서 신호의 일부분을 반복하는 CP를 사용하는 대신, 그림 6과 같이 수신기에서 zero-padding에 해당되는 수신 부분을 FFT 블록의 앞부분에 겹쳐서 더하여 CP에 해당하는 효과를 내도록 한다.

III. 제안 시스템 모델

1 게이팅의 개념

약간의 성능 차이는 존재하지만 OFDM, SC-FDE, 그리고 ZP를 이용한 OFDM 등은 모두 주파수 영역 등화를 사용함으로써 다중경로간섭이 있는 주파수 선택적 페이딩 환경에서 매우 우수한 성능을 보인다. 이들 방식들을 결합하면 새로운 형태의 전송 방식도 가능하다. SC-FDE에서 CP 대신 zero-padding을 사용하면 그림 7과 같은 방법으로 송수신하게 된다. SC-FDE는 송신기에서 IFFT를 사용하지 않으므로 zero-padding의 사용은 단지 데이터를 주기적으로 송신을 하지 않는 것과 같으며 채널부호기와 인터리버를 고려하면 그림 8과 같이 전송의 게이팅(gating)으로 대체될 수 있다. OFDM이나 SC-FDE가 FFT 블록 단위로 데이터를 처리하는데 반해, 그림 8의 송신기는 데이터가 연속적으로 채널부호기로 들어간다. 채널부호기와 인터리버를 거친 데이터 중 일부는 그림 9와 같은 게이팅에 의해서 전송되

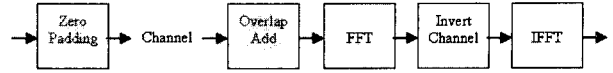


그림 7. Zero-Padding을 이용한 SC-FDE
Fig. 7. ZP-SC-FDE.

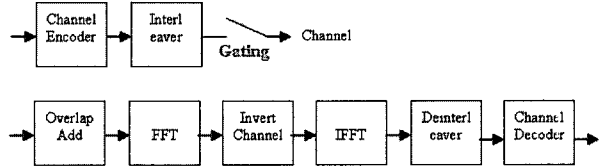


그림 8. Gating을 이용한 SC-FDE
Fig. 8. Gated-SC-FDE.

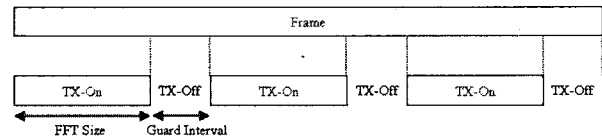


그림 9. Gating을 이용한 전송
Fig. 9. Gated Transmission.

지 않으며 이는 zero-padding과같은 효과를 냄으로써 수신기에서 주파수 영역 등화가 가능하도록 한다. 게이팅을 사용한 전송은 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$x(i) = \begin{cases} s(i) & \text{mod}(i, N + K) < N \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (0 \leq i < L) \quad (1)$$

식 (1)에서 $s(i)$ 는 σ_s^2 의 분산을 가지는 i 번째 데이터 심벌, $x(i)$ 는 i 번째 전송 심벌, N 은 FFT 크기, K 는 최대지연확산(보호구간의 크기), L 은 전송하는 프레임의 크기이다. 전송된 신호가 다중경로채널을 통과한 뒤 수신된 신호는 식 (2)와 같이 나타내질 수 있다.

$$r(i) = \sum_{k=0}^{K-1} x(i-k)h(k) + w(i) \quad (0 \leq i < L) \quad (2)$$

식(2)에서 $r(i)$ 는 수신 데이터 심벌, $h(k)$ ($0 \leq k < K$)는 다중경로채널, $w(i)$ 는 σ_w^2 의 분산을 가지는 잡음이다. 수신기는 $(N + K)$ 크기의 블록 단위로 처리하며 n 번째 블록을 처리할 때 수신 데이터는 식 (3)과 같은 벡터 형태로 표현될 수 있다.

$$\mathbf{r} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{w} \quad (3)$$

식 (3)에서 \mathbf{r} , \mathbf{H} , \mathbf{x} , \mathbf{w} 는 다음과 같다.

$$\mathbf{r}(i) = r(n(N + K) + i) \quad (0 \leq i < N + K), \quad (4)$$

$$\mathbf{H}(i, j) = \begin{cases} h(i-j) & j \leq i < j+K \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (0 \leq i < N+K, 0 \leq j < N), \quad (5)$$

$$\mathbf{x}(i) = \mathbf{x}(n(N+K)+i) \quad (0 \leq i < N), \quad (6)$$

$$\mathbf{w}(i) = \mathbf{w}(n(N+K)+i) \quad (0 \leq i < N+K). \quad (7)$$

수신기에서는 ZP-OFDM의 경우와 같이 overlap-add를 하며, overlap-add를 한 후의 신호는 식 (8)과 같이 쓰여질 수 있다.

$$\tilde{\mathbf{r}} = \tilde{\mathbf{H}}\mathbf{x} + \tilde{\mathbf{w}} \quad (8)$$

식 (8)에서 $\tilde{\mathbf{r}}$, $\tilde{\mathbf{H}}$, $\tilde{\mathbf{w}}$ 는 다음과 같다.

$$\tilde{\mathbf{r}}(i) = \begin{cases} \mathbf{r}(i) + \mathbf{r}(i+N) & i < K \\ \mathbf{r}(i) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (0 \leq i < N), \quad (9)$$

$$\tilde{\mathbf{H}}(i, j) = \begin{cases} \mathbf{H}(i, j) + \mathbf{H}(i+N, j) & i < K \\ \mathbf{H}(i, j) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (0 \leq i < N, 0 \leq j < N), \quad (10)$$

$$\tilde{\mathbf{w}}(i) = \begin{cases} \mathbf{w}(i) + \mathbf{w}(i+N) & i < K \\ \mathbf{w}(i) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (0 \leq i < N). \quad (11)$$

채널 행렬 $\tilde{\mathbf{H}}$ 는 $(N \times N)$ circulant 행렬이므로 식 (12)와 같이 쓰여질 수 있다.

$$\tilde{\mathbf{H}} = \mathbf{Q}'\mathbf{\Lambda}\mathbf{Q} \quad (12)$$

식 (12)에서 \mathbf{Q} 는 $(N \times N)$ DFT(Discrete Fourier Transform) 행렬이며 \mathbf{Q}' 는 \mathbf{Q} 의 복소전치행렬이고 $\mathbf{\Lambda}$ 는 주파수 축의 채널응답값을 나타내는 대각선 행렬이다. 수신기에서 FFT를 수행한 후 식 (8)은 식 (13)과 같이 주파수 축에서 표현될 수 있다.

$$\mathbf{R} = \mathbf{\Lambda}\mathbf{X} + \mathbf{W} \quad (13)$$

식 (13)에서 $\mathbf{R} = \mathbf{Q}'\tilde{\mathbf{r}}$, $\mathbf{X} = \mathbf{Q}\mathbf{x}$, $\mathbf{W} = \mathbf{Q}\tilde{\mathbf{w}}$ 이다. 잡음 증폭을 줄이기 위해 MMSE (Minimum Mean Square Error) 등화 방법을 사용하며 완전한 채널추정을 가정하

였을 때 주파수축의 등화된 데이터는 식 (14)와 같이 쓰여진다.

$$\mathbf{Y} = \left(\mathbf{\Lambda}'\mathbf{\Lambda} + \frac{1}{SNR}\mathbf{I} \right)^{-1} \mathbf{\Lambda}'\mathbf{R} \quad (14)$$

식 (14)에서 $SNR = \sigma_s^2 / \sigma_w^2$ 이다. 수신기는 시간축에서 데이터를 복조하기 위하여 식 (15)와 같이 IFFT를 수행한다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{Q}'\mathbf{Y}. \quad (15)$$

게이팅에 의해서 손실되는 데이터는, 인터리버가 충분히 데이터의 순서를 잘 섞는다고 가정할 때, 채널부호된 데이터의 천공(puncturing)과 같다. 따라서, C 를 원래의 채널부호화율이라고 할 때 게이팅에 의한 실제적인 채널부호화율은 식 (16)과 같이 증가하게 된다.

$$C_{\text{effective}} = \frac{N+K}{N}C \quad (16)$$

주파수 선택적 페이딩 채널에서 게이팅의 사용은 채널부호화율을 약간 증가시키지만 주파수 영역 등화를 가능하게 함으로써 채널 부호화율의 증가에 의한 성능 감소보다 훨씬 큰 이득을 얻을 수 있게 한다. 이 논문에서는 그림 8의 전송 방식을 다시 그림 1의 CDMA 시스템과 결합하여 CDMA 시스템에서 주파수 영역 등화를 하는 방법을 제안한다.

2. Gated-CDMA 시스템 모델

제안하는 시스템은 CDMA 전송 방식에서 그림 8의 게이팅을 추가한 것이므로 이 논문에서는 Gated-CDMA라고 부른다. Gated-CDMA 송신기는 그림 10에서 보는 것과 같이 일반적인 CDMA에 게이팅 블록을 추가한 형태를 가지며, 신호대잡음비가 높아서 고속 데이터 전송이 가능한 때에는 그림 11과 같이 간헐적으로 데이터의 전송을 중지한다. 데이터가 전송되지 않는

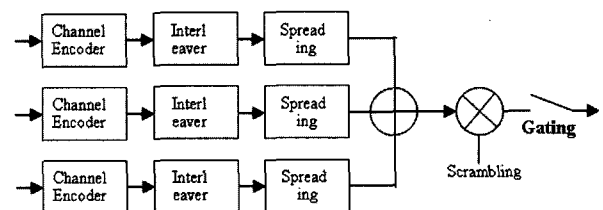


그림 10. Gated-CDMA 송신기
Fig. 10. Gated-CDMA Transmitter.

부분도 계속 데이터가 만들어지며 단지 전송이 안 되는 것이므로 전송되지 않는 데이터는 손실되어 전송되는 효과를 이루게 되며 이는 채널 부호화와 인터리빙에 의해서 극복된다. 전송되는 구간(TX On 구간)의 길이는 수신기의 주파수 영역 등화기의 FFT 크기이며 전송이 중지되는 구간(TX Off 구간)의 길이는 그 셀의 최대 딜레이 스프레드보다 커야 한다. 전송이 중지되는 구간에서 실제로 전송을 중지하는 대신 급격한 송신 전력의 변화를 피하기 위해 약속된 신호를 전송하고 수신기에서 이를 제거할 수 있다. 즉, 파일럿과 같이 정해진 데이터의 경우 전송을 중지할 필요는 없다.

Gated-CDMA 수신기는 그림 12에서와 같이 레이크 수신기와 주파수 영역 등화기를 모두 가지고 있으며, 상황에 따라 선택적으로 사용한다. 주파수 영역 등화기는 전송중지 구간을 그림 6과 같은 방법으로 처리하고, FFT를 하여 주파수 영역으로 이동하여 등화를 한 후 다시 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform)를 거쳐 시간 영역으로 이동한다. 등화된 데이터는 코드분할 다

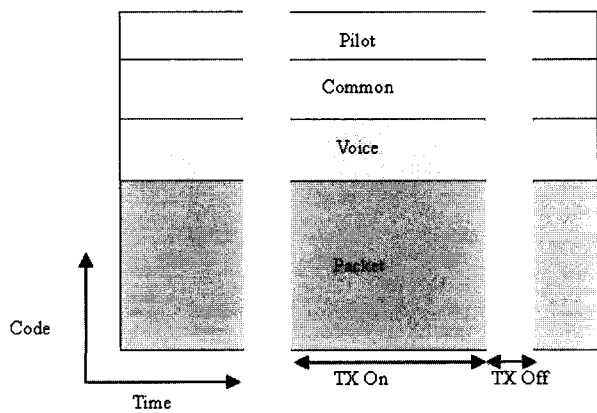


그림 11. Gated-CDMA 다중화
Fig. 11. Gated-CDM.

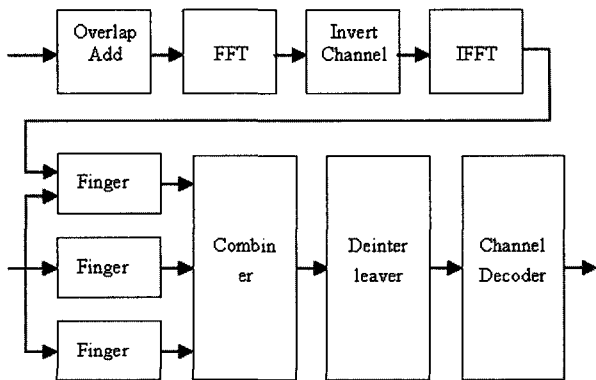


그림 12. Gated-CDMA 수신기
Fig. 12. Gated-CDMA Receiver.

중화되어 있으므로 레이크 수신기의 한 핑거로 입력되어 역확산을 행한다.

IV. 모의 실험

차세대 이동통신(Gated-CDMA) 방식을 지원하는 기지국과 단말기가 3세대 이동통신(CDMA) 단말기와 혼재하여 존재할 때, Gated-CDMA 단말기가 기지국 근처에 있어서 고속 데이터 전송이 가능하다면, 기지국은 Gated-CDMA 방식으로 전송하게 된다. 이 때 기지국은 패킷 채널을 사용하는 Gated-CDMA 단말기에게 고속 데이터 전송을 하면서도 공유 및 음성 채널을 사용하는 CDMA 단말기들도 무리 없이 지원하여야 한다.

실험에서는 Gated-CDMA 전송 방법을 CDMA 전송 방법과 FER(Frame Error Rate) 성능 측면에서 비교하였다. 모의 실험을 위한 변수들은 표 1에 정리되어 있다. 실험에서는 두 개의 다중코드채널 CH1과 CH2를 코드분할 다중화하여 CDMA와 Gated-CDMA의 두 가지 방법을 사용하여 전송하였다. 실험을 간단히 하기 위하여 확산인자를 32로 고정하였으며 32개의 코드를 CH1과 CH2가 나누어 사용되도록 하였다. CH1은 기지국 근처에 있는 단말기를 위한 패킷 채널에 대한 모델로서 적은 송신 전력을 할당하고 많은 수의 코드(28)와 높은 변조 방식(16QAM)으로 고속 데이터 전송을 하는 채널이며 CH2는 기지국에서 멀리 떨어져 있는 단말기들을 위한 공유 및 음성통화 채널들을 대표하는 것으로 높은 송신 전력을 할당하고 적은 수의 코드(4)와 낮은 변조 방식(QPSK)으로 저속 데이터 전송을 하는 채널

표 1. 모의실험 변수

Table 1. Simulation Parameters.

	CDMA	Gated-CDMA
Spreading Factor	32	
Channel	4 path fading (Exponential Distribution)	
Channel Coding	Convolutional (K=7, R=1/2)	
FFT Size (TX On)	-	256
Guard Interval (TX Off)	-	32
CH1	Multicode	28
	Modulation	16QAM
	Receiver	Rake FDE
CH2	Multicode	4
	Modulation	QPSK
	Receiver	Rake Rake
Power Ratio per Code	CH1 : CH2 = 1 : 16	

널이다. CDMA 전송의 경우 연속적으로 데이터가 전송되며 Gated-CDMA 전송의 경우 (256+32) 칩(chip)의 주기마다 32칩 구간 동안 전송이 중지된다. 채널부호기의 채널부호화율은 1/2이며 Gated-CDMA의 경우는 $32/(256+32)$ 의 구간이 전송이 중지되므로 실제적인 부호화율은 $1/2 \cdot (256+32)/256 = 9/16$ 이다.

그림13은 고속 데이터 전송이 필요한 패킷 채널인 CH1에서 Gated-CDMA의 우수성을 보인 것이다. CH1은 기지국에서 가까이 있으므로 높은 신호대잡음비를 얻을 수 있음에도 불구하고 CH2에 많은 전송전력이 할당되어 CH1으로의 다중경로간섭이 매우 크며 CDMA 시스템에서는 동작이 불가능한 환경이다. 실험 결과에서 CDMA 방식은 다중경로간섭으로 인해 신호대잡음비가 증가해도 성능이 개선되지 않는 것을 볼 수 있다. 그러나 Gated-CDMA에서는 수신기에서 주파수 영역 등화를 사용하여 다중경로간섭을 극복함으로써 매우 좋

은 성능을 얻는다. 그림 14는 공유 및 음성통화 채널을 대표하는 CH2에 대한 실험 결과로서 Gated-CDMA로 전송하였을 때의 3세대 이동통신(CDMA) 단말기에 대한 영향을 보기 위한 실험이다. Gated-CDMA로 전송하여 기존의 CDMA 수신기인 레이크 수신기로 수신하게 되면, CDMA와 비교하였을 때, 전송중지구간에 의한 손실로 인해 성능 감소를 피할 수 없지만 이는 약간의 송신 전력 증가에 의해 쉽게 극복될 수 있다.

실험 결과에서 볼 수 있는 것처럼 Gated-CDMA 방식으로 전송되는 신호는 주파수 영역 등화와 레이크 수신기의 두 가지 모드로 수신하는 것이 가능하다. 여러 개의 채널이 코드 분할 다중화되어 Gated-CDMA로 전송될 경우 각 단말기는 레이크 수신기와 주파수 영역 등화 중 유리한 모드로 수신할 수 있을 뿐만 아니라 주파수 영역 등화기를 가지고 있지 않은 기존의 CDMA 단말기도 무리 없이 데이터를 수신할 수 있다. CDMA 기지국의 신호를 Gated-CDMA 단말기가 수신할 수 있으며 Gated-CDMA 기지국의 신호를 CDMA 단말기가 수신할 수 있으므로 Gated-CDMA 기지국과 단말기는 기존의 CDMA 시스템과 호환성을 가진다.

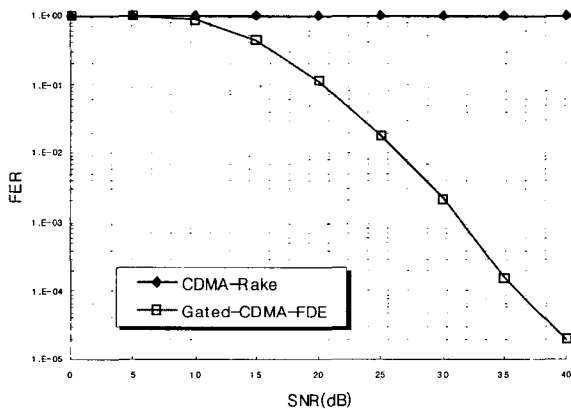


그림 13. Gated-CDMA FDE와 CDMA Rake의 성능
Fig. 13. Gated-CDMA FDE vs. CDMA Rake.

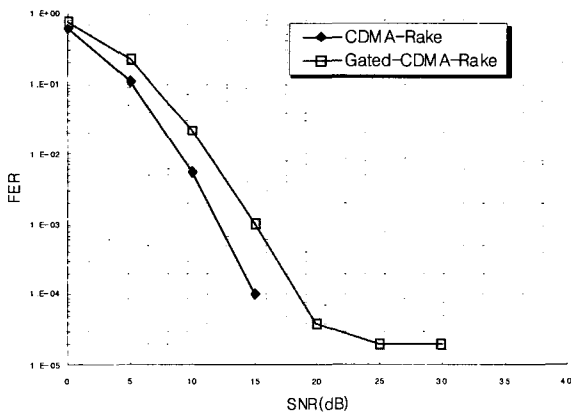


그림 14. Gated-CDMA Rake와 CDMA Rake의 성능
Fig. 14. Gated-CDMA Rake vs. CDMA Rake.

V. 결 론

이 논문에서는 차세대 이동통신 시스템에서 사용될 수 있는 새로운 전송 방식인 Gated-CDMA를 소개하였다. Gated-CDMA는 EVDV, HSDPA 등의 CDMA 방식에 기반을 두면서 수신기에서 주파수 영역 등화를 이용할 수 있게 한 방식이다. 주파수 영역 등화의 사용은 주파수 선택적 페이딩 환경에서 CDMA 시스템에서는 불가능하였던 고속 데이터 전송을 가능하게 한다.

제안된 시스템은 우수한 성능을 보인다는 것 이외에도, 코드 다중화를 하여 여러 채널이 동시에 전송될 때 각 채널을 수신하는 단말기들은 레이크 수신기와 주파수 영역 등화기 중 어떤 것을 사용해도 수신할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이는 Gated-CDMA 시스템이 CDMA와 OFDM의 장점을 모두 취할 수 있게 할 뿐만 아니라, 시스템에 유연성을 주어 다양한 환경에 효과적으로 적용하도록 한다.

참 고 문 헌

[1] A.C.K. Soong, S.J. Oh, A.D. Damnjanovic, "Forward High-Speed Wireless Packet Data

- Service in IS-2000 1xEV-DV," *IEEE communications Magazine*, pp.170-177, August 2003.
- [2] T.E. Koldinig, F. Frederiksen, P.E. Mogensen, "Performance Aspects of WCDMA Systems with High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)," *VTC Fall*, pp.477-481, September 2002.
- [3] Z. Wang, G. B. Giannakis, "Wireless Multicarrier Communications," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol.17, No.3, pp.29-48, May 2000.
- [4] IEEE Std 802.11a: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band, September 1999.
- [5] D. Falconer, S.L. Ariyavisitakul, A. Benyamin-Seeyar, B. Eidson, "Frequency Domain Equalization for Single-Carrier Broadband Wireless Systems," *IEEE Communications Magazine*, Vol.40, No.4, pp.58-66, April 2002.
- [6] IEEE Standard 802.16a: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Medium Access Control Modifications and Additional Physical Layer Specifications for 2-11GHz, April 2003.
- [7] K.L. Baum, T.A. Thomas, F.W. Vook, V. Nangia, "Cyclic-Prefix CDMA: An Improved Transmission Method for Broadband DS-CDMA Cellular Systems," *WCNC 2002*, pp.183-188, March 2002.
- [8] F. Adachi, T. Sao, T. Itagaki, "Performance of Multicode DS-CDMA using Frequency-Domain Equalization in Frequency Selective Fading Channels," *Electronics Letters*, Vol.3, No.2, pp.239-241, January 2003.
- [9] IEEE P802.15-03/268r4: "Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE802.15 Task Group 3a," March, 2004.
- [10] B. Muquet, W. Zhengdao, G.B. Giannakis, M. de Courville, P. Duhamel, "Cyclic Prefixing or Zero Padding for Wireless Multicarrier Transmissions," *IEEE Trans. on Communications*, Vol.50, No.12, pp.2136-2148, December 2002.

 저 자 소 개



임 민 중(정회원)

1987년 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사).

1993년 University of Wisconsin -Madison, Electrical and Computer Engineering (공학박사).

1993년~2000년 삼성전자 선임연구원.

2000년~현재 동국대학교 정보통신공학과 조교수.

<주관심분야: 이동통신, 무선통신, 통신 VLSI, 통신 소프트웨어.>

