

# 다수 반송파 CDMA 시스템에서의 개루프 송신 다이버시티 기법 비교

안동균<sup>o</sup> 김용석 박효열 황금찬  
연세대학교 전기전자공학과  
adk1211<sup>o</sup>@hotmail.com

## A comparison of the open loop transmit diversity schemes for MC-CDMA systems

DongKyun Ahn<sup>o</sup> YongSeok Kim HyoYol Park KeumChan Whang  
Dept. of Electrical & Electronics Engineering, Yonsei University

### 요 약

송신단에 다중안테나를 사용하는 송신 다이버시티 기법에 대한 연구가 최근 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 CDMA(Code Division Multiple Access)2000과 3GPP(The third generation partnership project)에서 고려한 개루프 송신 다이버시티 기법인 STTD(Space time transmit diversity), OTD (Orthogonal transmit diversity), STS(Space time spreading)를 다수 반송파 CDMA 시스템에 적용시킬 경우 하향링크(Downlink)에서의 성능을 평가한다. STS와 STTD방식은 동일한 성능을 보이지만 STS방식은 복잡도와 높은 PAR(Peak to average ratio)의 단점을 보이며, OTD는 이 두 방식에 비해 성능이 떨어지는 것을 보여준다.

### 1. 서 론

CDMA와 직교 주파수 분할 다중화 (OFDM:Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 신호방식을 결합한 것을 다수 반송파 CDMA(MC-CDMA:Multicarrier CDMA)시스템이라고 하는데, 송신기와 수신기의 복잡도를 증가시키지 않고 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 사용하여 신호를 쉽게 전송하고 수신할 수 있으며, 심볼 사이에 보호구간의 삽입으로 다중경로 페이딩에 의한 심볼간 간섭을 피할 수 있다. 또한 우수한 주파수 사용 효율을 가지면서 잠재적으로 채널의 주파수 선택성에 강하기 때문에 많은 관심을 받고 있다. MC-CDMA시스템은 사용자 신호가 OFDM의 전체 부반송파를 공유하며 주파수 영역에서의 직교 확산 코드(Walsh code)에 의해 다중 사용자 접속이 이루어진다. 그리고, 이 시스템은 비선형 증폭에 민감하기 때문에 필수적으로 선형 증폭기를 필요로 한다. 이 요구조건은 하향링크 채널(기지국에서 이동국)에 적합하다고 할 수 있다[1][2].

송신 다이버시티 기법은 크게 개루프 방식과 폐루프 방식 두가지로 분류할 수 있다. 일반적으로 폐루프 방식은 수신단에서 채널의 상태를 추정하여 송신단으로 가중치를 귀환시켜서 송신시 가중치를 적용하여 전송함으로써 성능을 향상시키는 기법으로써 저속에서는 개루프 방식에 비해 우수한 성능을 보이나 고속에서는 귀환에 의한 지연 때문에 성능저하가 발생한다.

본 논문에서는 CDMA 시스템에 3Gpp에서 고려되는 STTD방식과 CDMA 2000에서 고려되는 OTD와 STS방식[3][4]와 같은 개루프 방식의 송신 다이버시티 기법을 MC-CDMA 시스템에 결합시킬 때 ORC(Orthogonality Restoring Combining), MRC (Maximal Ratio Combining), EGC (Equal Gain Combining)의 세 가지 다른 결합 방식에 대한 BER (Bit Error Rate) 성능을 보인다. 가장 성능이 우수할 것으로 알려진 MMSEC (Minimum Mean Square Error Combining) 기법은

복잡도 문제로 제외시킨다. 본 논문의 2장에서는 시스템의 모델을 간략하게 나타내며, 3장에서는 송신 다이버시티 기법들을 설명하고, 4장에서는 다중경로 페이딩 채널에서의 성능 비교, 그리고 5장에서 결론을 맺는다.

### 2. 시스템 모델

MC-CDMA 송신기는 주파수 영역에서 주어진 확산부호를 사용하여 정보신호를 확산시킨다. 즉, 확산부호의 칩에 해당하는 심볼의 일부가 다른 부반송파를 통해 전송된다. 보호구간은 MC-CDMA 심볼 사이에 삽입되어 다중경로 페이딩에 의한 심볼간 간섭을 피하게 된다. 다수 반송파 전송의 경우에는 각 부반송파에서의 채널은 반드시 주파수 비선택적 페이딩이 되어야 한다. 송신기의 기본적인 모델은 그림 1.1과 같다. 수신된 신호는 FFT를 통해 주파수 영역의 신호로 변환되고 다시 복호기를 거쳐 결합방식(ORC,EGC,MRC등)들에 의해 가중치가 곱해지고 이러한 것들이 더해져서 결정(Decision)을 내리게 된다. 수신기의 모델은 그림 1.2와 같다.

### 3. 송신 다이버시티 기법

#### 3.1 STTD(Space Time Transmit Diversity)

그림 2에서와 같이 시간 T, 2T에서의 입력 정보 심볼을 각각 S(1), S(2)라고 하면 시간 T 동안에 안테나 1, 2에서는 각각 S(1), S(2), 시간 2T 동안에는 안테나 1, 2에서  $-S^*(2)$  과  $S^*(1)$  가 출력된다. 여기서 \*는 켈레 복소수를 나타낸다. 여기에서 페이딩은 두 연속되는 심볼 구간 동안 변하지 않는다고 가정한다. 이러한 방식의 다이버시티 기법을 STBC(Space Time Block Coding)이라 부르기도 한다[5][6].

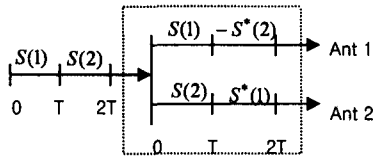


그림 2. STTD 부호기

시간 T, 2T에서 i번째 부채널의 복소 정합 필터의 출력은 각각

$$r_i(1) = \sqrt{\frac{E_S}{2N}} \sum_{k=1}^K (\alpha_{i1} S_k(1) + \alpha_{i2} S_k(2)) c_{ki} + n_i(1) \quad (1)$$

$$r_i(2) = \sqrt{\frac{E_S}{2N}} \sum_{k=1}^K (-\alpha_{i1} S_k^*(2) + \alpha_{i2} S_k^*(1)) c_{ki} + n_i(2)$$

가 된다. 여기에서  $\alpha_{i1}$  과  $\alpha_{i2}$  는 각각 송신 안테나 1, 2에서 수신 안테나까지의 페이딩 이득을 나타내고,  $n_i(1)$  과  $n_i(2)$  는 시간 T, 2T에서 i번째 부채널의 가우시안 잡음을 나타낸다. 그리고,  $c_{ki}$  는 k번째 사용자의 확산 부호를 나타낸다. 시공간 복호기는 선형필터 작용을 하게 되어 i번째 부반송파의 출력은

$$\tilde{r}_i(1) = (\alpha_{i1}^* r_i(1) + \alpha_{i2} r_i^*(2)) \cdot \beta \quad (2)$$

$$\tilde{r}_i(2) = (-\alpha_{i1}^* r_i(2) + \alpha_{i2}^* r_i(1)) \cdot \beta$$

로 나타낼 수 있다. 여기에서  $\beta$  는 곱해지는 가중치다.

MRC를 사용하는 수신기에서는  $\beta=1$  이 되고, EGC 수신기에서는  $\beta = 1/(\sqrt{|\alpha_{i1}|^2 + |\alpha_{i2}|^2})$  이 되며, 이 때 여러 명 중에 관심 있는 사용자를 사용자 1로 잡는다면, 시간 T 순간에서의 결정 변수는 다음과 같이 주어진다.

$$Z(1) = \sum_{i=1}^N \tilde{r}_i(1) = D(1) + I(1) + n(1) \quad (3)$$

$$D(1) = \sqrt{\frac{E_S}{2N}} S_1(1) \sum_{i=1}^N \sqrt{|\alpha_{i1}|^2 + |\alpha_{i2}|^2} \quad (4)$$

$$I(1) = \sqrt{\frac{E_S}{2N}} \sum_{k=2}^K S_k(1) \sum_{i=1}^N c_{ki} \sqrt{|\alpha_{i1}|^2 + |\alpha_{i2}|^2} \quad (5)$$

$$n(1) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_{i1}^* n_i(1) + \alpha_{i2} n_i^*(2)}{\sqrt{|\alpha_{i1}|^2 + |\alpha_{i2}|^2}} \quad (6)$$

여기에서 D(1)은 사용자 1의 신호이고, I(1)은 다른 사용자로부터의 간섭, n(1)은 가우시안 잡음을 나타낸다. ORC 수신기에서는  $\beta = 1/(|\alpha_{i1}|^2 + |\alpha_{i2}|^2)$ 가 곱해진다. 이 방식은 직교성이 유지되고, 다중 사용자 간섭이 완전히 제거된다. 그러나 신호가 약해진 부반송파에서 잡음이 증폭되는 성질을 갖는다[1][2][5].

### 3.2 OTD(Orthogonal Transmit Diversity)

OTD 방식은 그림 3에서와 같이 안테나 다이버시티를 사용하는 기법이다[4].

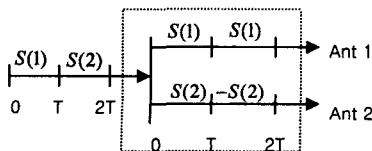


그림 3. OTD 부호기

그림 3과 같은 부호기를 통과한 신호는 복호기에서 각 안테나에서부터 수신기까지의 채널을 사용하여 STTD에서 보여준 것과 유사하게 EGC, ORC, MRC와 같은 결합 방식을 사용하여 복호할 수 있다. 이 기법은 채널 코딩에서 여분(redundancy)을 통해서 다이버시티를 얻을 수 있다.

### 3.3 STS(Space Time Spreading)

그림 4에서와 같이 위상변조(Quadrature Phase Shift Keying)심볼 S(1), S(2)가 위상변조가 아닌 심볼  $\tilde{S}(1)$ ,  $\tilde{S}(2)$ 로 할당되고, STTD 부호기를 통과하게 된다. 이 신호는 채널을 통과해 전송되고 STTD 복호과정을 통과해 적절하게 복호될 수 있다[4].

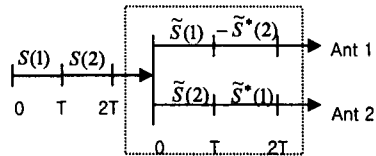


그림 4. STS 부호기

여기에서

$$\tilde{S}(1) = \frac{S(1) - S^*(2)}{\sqrt{2}}, \quad \tilde{S}(2) = \frac{S(1) + S^*(2)}{\sqrt{2}} \quad (7)$$

그러나 이것은 STTD 방식에 비해서 성능은 같지만 불필요한 복잡도나 PAR(Peak to Average Ratio)의 문제점을 갖게 된다.

### 4. 성능 비교

본 논문의 시뮬레이션 환경은 FFT 크기(N)를 512, 확산 인수(Spreading Factor) 크기를 16으로 하여 최대 16명의 사용자를 지원하며, 보호구간의 길이를 64로 하였다. 경로수가 5인 지수 감소 페이딩 채널에서 페이딩은 두 심볼 구간 동안 변하지 않고, 다중 경로 페이딩의 지연 확산은 모두 심볼구간에 삽입된 보호구간내에 들어온다고 가정한다. 또한 수신기에서 채널을 완벽하게 추정할 수 있다고 가정한다. 이 때 채널 코딩을 사용하지 않고 하향링크에서 MC-CDMA에 STBC, OTD, STS를 결합시킨 경우의 성능을 비교한다.

그림 5는 단일 사용자 경우 Eb/N0[dB]에 따른 비트오율을 나타낸다. STS와 STBC를 MC-CDMA에 결합한 방식은 같은 성능을 보였고, OTD 방식을 결합한 것 보다 우수한 성능을 나타낸다. 이 기법들에 ORC, EGC, MRC와 같은 결합 방식을 적용시켰을 때 MRC 방식이 가장 우수한 성능을 나타낸다. 그림 6은 사용자가 10명일 경우의 성능을 나타내는데 STBC와 STS에 EGC를 결합시킨 방식이 성능이 가장 우수함을 볼 수 있다. 그러나 MRC방식은 단일 사용자일 때와 비교했을 때 부호의 직교성 파괴에 의해 발생하는 간섭이 결합과정에서 곱해지기 때문에 성능이 급격히 열화된다. 반면에, EGC 방식은 부호의 직교성 파괴에 의한 간섭이 곱해지지 않기 때문에 사용자수가 많을 경우 우수한 성능을 나타낼 수 있다. 그림 7은 Eb/N0=20[dB]에서 사용자수에 따른 MC-CDMA 시스템의 성능 변화를 나타낸다. MRC방식은 사용자가 증가함에 따라 급격히 성능이 저하됨을 볼 수 있다. ORC 방식을 결합시에는 사용자수에 따른 성능 변화가 거의 없음을 볼 수 있다.

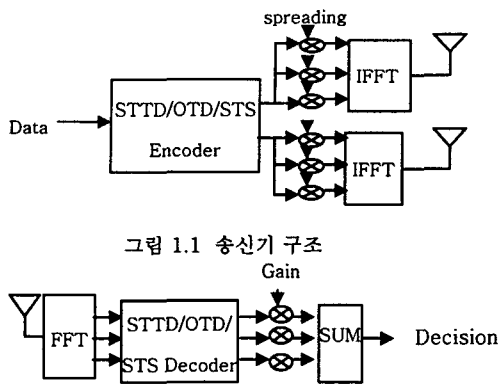


그림 1.1 송신기 구조

그림 1.2 수신기 구조

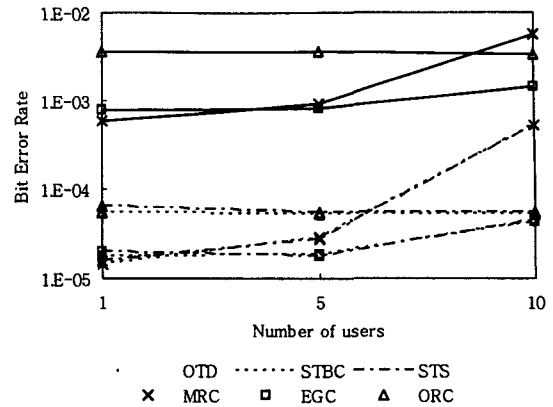


그림 7. 사용자수에 따른 성능 ( $E_b/N_0=20$ [dB])

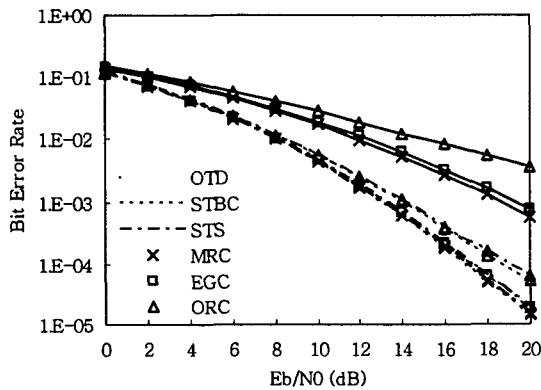


그림 5. MC-CDMA의 성능 (사용자 1명)

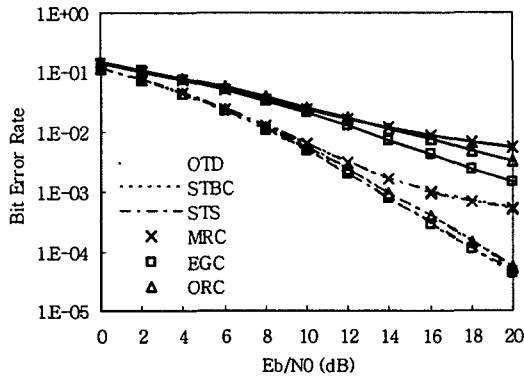


그림 6. MC-CDMA의 성능 (사용자 10명)

### 5. 결론

본 논문에서는 3GPP와 CDMA2000에서 송신 다이버시티 기법으로 고려된 STS, STTD, OTD를 하향링크에서 MC-CDMA 시스템의 MRC, ORC, EGC 방식으로 수신시 성능을 비교하였다. STS 방식은 STTD와 같은 성능을 보였으나 복잡도와 PAR 등의 문제점을 보인다. 또한 STTD 방식은 OTD 방식보다 성능이 우수함을 알 수 있다. MC-CDMA 수신기의 3가지 결합 방식과 결합식 단일 사용자의 경우 STBC와 MRC 방식을 사용하고, 사용자가 증가함에 따라 STBC와 EGC 방식을 MC-CDMA에 결합시킨 것이 성능이 가장 우수함을 알 수 있다.

### 6. 참고문헌

- [1] Prasad R. and S.Hara, " Overview of Multicarrier CDMA" , *IEEE Comm. Mag.* No.12, Vol.35, pp126-133, December 1997.
- [2] Prasad R. and S.Hara, " Design and Performance of Multicarrier CDMA System in Frequency-Selective Rayleigh Fading Channels" , *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, Vol.48, No.5, September 1999.
- [3] Derryberry, R.T.; Gray, S.D.; Ionescu, D.M.; Mandyam, G.; Raghothaman, B.; " Transmit diversity in 3G CDMA systems" , *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40 Issue: 4, pp68-75, April 2002.
- [4] Dabak, A.G.; Hosur, S.; Schmidl, T.; Sengupta, C.; " A comparison of the open loop transmit diversity schemes for the third generation wireless systems" , *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2000. WCNC. 2000*, Volume: 1, pp437-442, Sept. 2000.
- [5] Li, Y.; Georghiadis, C.N.; Huang, G.; " Performance of downlink multicarrier CDMA with space diversity" , *IEEE Global Telecommunications Conference 2000. GLOBECOM '00*. Volume: 2, 27, pp887-889, Dec. 2000.
- [6] Alamouti, S.M.; " A simple transmit diversity technique for wireless communications" , *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on* , Volume: 16 Issue: 8, pp1451-1453, Oct. 1998.