



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0024229
(43) 공개일자 2011년03월09일

(51) Int. Cl.

H04B 7/02 (2006.01) H04J 11/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0082137

(22) 출원일자 2009년09월01일

심사청구일자 2009년09월01일

(71) 출원인

세종대학교산학협력단

서울 광진구 군자동 98 세종대학교

(72) 발명자

이성주

서울특별시 구로구 궁동 우신빌라 20동 204호

송형규

경기도 성남시 분당구 서현동 한양아파트 320동 303호

유영환

서울특별시 송파구 가락동 쌍용아파트 101동 1501호

(74) 대리인

특허법인태백

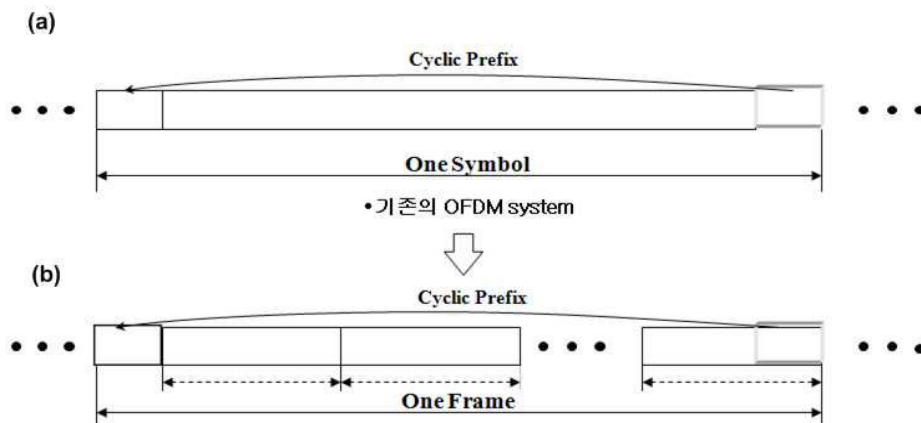
전체 청구항 수 : 총 11 항

(54) OFDM을 이용한 협력 통신 시스템 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템 및 그 방법에 관한 것이다. 본 발명에 따른 OFDM을 이용한 협력 통신 방법은, 입력된 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키는 단계, 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 역푸리에 변환 처리를 수행하는 단계, 역푸리에 변환에 의해 변조 처리된 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환시키며, 각 그룹에 공통된 순환 접두어를 데이터 프레임 앞에 삽입하는 단계, 그리고 순환 접두어가 삽입된 OFDM 심볼을 전송하는 단계를 포함한다. 이와 같이 본 발명에 의하면, OFDM을 사용하는 협력 통신 시스템은 송신기의 OFDM 변조방식에 있어서 멀티 심볼을 그룹화하여 하나의 프레임으로 전송함으로써 중계기와 수신기에서 주파수 오프셋과 높은 피에이피알을 감소시켜 전체 시스템 성능을 높일 수 있게 한다. 또한, 한 개의 안테나를 사용하는 중계기가 높은 협력 다이버시티 이득을 얻을 수 있어 신뢰성이 있고 빠른 전송률을 획득할 수 있다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 09C1-C2-10M

부처명 지식경제부

연구관리전문기관

연구사업명 유비쿼터스컴퓨팅및네트워크원천기반기술개발사업

연구과제명 상황적응 협업통신기반 Scale-free uPAN 커뮤니티 네트워크 개발

기여율

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2009년 01월 01일 ~ 2012년 12월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

입력된 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키는 단계,

상기 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 역푸리에 변환(IFFT) 변조 처리를 수행하는 단계,

상기 역푸리에 변환에 의해 변조 처리된 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환시키며, 각 그룹에 공통된 순환 접두어를 데이터 프레임 앞에 삽입하는 단계, 그리고

상기 순환 접두어가 삽입된 OFDM 심볼을 전송하는 단계를 포함하는 OFDM을 이용한 협력 통신 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 순환 접두어가 삽입된 OFDM 심볼은 다음의 수학식으로 표현되는 OFDM을 이용한 협력 통신 방법.

$$s_l(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X_{l,M-1}(k) e^{j2\pi k(N-N_g+n_1)/N}$$

여기서 N은 부반송파의 수이고, X(k)는 주파수 축 상의 신호를 나타내며, $0 < n_1 < N_g - 1$, $N_g < n_2 < NM + N_g - 1$ 을 만족한다.

청구항 3

직렬 형태의 OFDM 심볼을 수신하는 단계,

상기 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키며, 상기 OFDM 심볼에 삽입된 순환 접두어를 제거하는 단계,

상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼을 푸리에 변환(FFT)하여 복조 처리하는 단계,

상기 OFDM 심볼을 역푸리에 변환(IFFT) 처리하여 상기 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키는 단계,

상기 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 푸리에 변환하여 복조 처리를 수행하는 단계, 그리고

상기 푸리에 변환에 의해 복조 처리된 병렬 형태의 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환하는 단계를 포함하는 OFDM을 이용한 협력 통신 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼은 다음의 수학식으로 표현되는 OFDM을 이용한 협력 통신 방법:

$$\tilde{r}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) H(k) e^{j2\pi(n+\Delta n_b)(k+\Delta f_b)} + v(n)$$

여기서, $\tilde{r}(n)$ 은 순환 접두어가 제거된 신호이고, X(k)는 주파수 축 상의 신호이며, H(k)는 채널 임펄스 응답 함수이고, Δn_b 는 시간 오프셋이며, Δf_b 는 주파수 오프셋이고, v(n)은 복소 백색 가우시안 잡음이다.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼을 푸리에 변환에 의해 복조 처리하면 상기 OFDM 심볼은 다음의 수학식으로 표현되는 OFDM을 이용한 협력 통신 방법:

$$\tilde{R}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) H(k) e^{j2\pi(n + \Delta n_g)(k + \Delta f_g) + v(n)}$$

$\tilde{R}(k)$ 는 푸리에 변환에 의해 복조 처리된 신호를 나타낸다.

청구항 6

입력된 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키는 직병렬 변환부,

상기 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 역푸리에 변환에 의해 변조 처리를 수행하는 복수의 역푸리에 변환부,

상기 역푸리에 변환에 의해 변조 처리된 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환시키며, 각 그룹에 공통된 순환 접두어를 데이터 프레임 앞에 삽입하는 병직렬 변환부, 그리고

상기 순환 접두어가 삽입된 OFDM 심볼을 아날로그 형태로 변환하여 중계기로 전송하는 송신부를 구비하는 송신기를 포함하는 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 순환 접두어가 삽입된 OFDM 심볼은 다음의 수학식으로 표현되는 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템:

$$s_l(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X_{l,M-1}(k) e^{j2\pi k(N - N_g + n_1)/N}$$

여기서 N은 부반송파의 수이고, X(k)는 주파수 축 상의 신호를 나타내며, $0 < n_1 < N_g - 1$, $N_g < n_2 < NM + N_g - 1$ 을 만족한다.

청구항 8

송신기로부터 직렬 형태의 OFDM 심볼을 수신하는 수신부,

상기 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키며, 상기 OFDM 심볼에 삽입된 순환 접두어를 제거하는 직병렬 변환부,

상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼을 푸리에 변환(FFT)에 의해 복조 처리하는 복조부,

상기 OFDM 심볼을 역푸리에 변환(IFFT) 처리하여 상기 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키는 역푸리에 변환부,

상기 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 푸리에 변환에 의해 복조 처리를 수행하는 복수의 푸리에 변환부, 그리고

상기 푸리에 변환에 의해 복조 처리된 병렬 형태의 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환하는 병직렬 처리부를 구비하는 중계기를 포함하는 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼은 다음의 수학식으로 표현되는 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템:

$$\tilde{r}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k)H(k)e^{j2\pi(n+\Delta n_b)(k+\Delta f_b)} + v(n)$$

여기서, $\tilde{r}(n)$ 은 순환 접두어가 제거된 신호이고, $X(k)$ 는 주파수 축 상의 신호이며, $H(k)$ 는 채널 임펄스 응답 함수이고, Δn_b 는 시간 오프셋이며, Δf_b 는 주파수 오프셋이고, $v(n)$ 은 복소 백색 가우시안 잡음이다.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼을 푸리에 변환에 의해 복조 처리하면 상기 OFDM 심볼은 다음의 수학식으로 표현되는 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템:

$$\tilde{R}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)H(k)e^{j2\pi(n+\Delta n_b)(k+\Delta f_b)} + v(n)$$

$\tilde{R}(k)$ 은 푸리에 변환에 의해 복조 처리된 신호를 나타낸다.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 중계기는,

상기 직렬 형태의 OFDM 심볼을 수신기로 전송하는 송신부를 더 포함하는 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 OFDM 을 이용한 협력 통신 시스템에 관한 것으로서, 보다 상세하게는, OFDM 방식을 사용하는 저전력 또는 저비용이 요구되는 근거리 협력통신 시스템에서 주파수 오프셋과 피에이피알(Peak to Average Power to Ratio)을 감소시키는 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 차세대 무선 통신에서는 초고속 데이터 전송을 위해 전체의 채널을 여러 개의 직교하는 부채널로 나누어 병렬적으로 전송하는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing, 직교 주파수 분할 다중 변조) 방법을 주로 사용한다. 그리고 제한된 주파수, 전력 내에서 신뢰적이고 초고속 전송을 위해서 송신기와 수신기 사이에 중계 역할을 하는 중계기를 이용하여 채널 용량을 증가시키고 경로 손실을 줄임으로써, 수신 성능을 향상시킬 수 있는 협력 통신에 관한 연구가 이루어지고 있다.

[0003] 이를 위해서 크기와 비용의 제한이 있는 하나의 안테나를 가지는 단말 간 서로 협력함으로써 각각의 가상의 안테나를 사용하여 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)와 비슷한 협력 다이버시티(Cooperative Diversity)를 얻어서 데이터 전송률을 높이고 수신 성능을 향상시킬 수 있다. 하지만 OFDM 기반의 시스템은 좁은 대역의 부채널을 사용하기 때문에 주파수 오프셋과 심벌들의 파워의 중첩으로 높은 피에이피알(PAPR, Peak to Average Power to Ratio)에 쉽게 영향을 받게 된다. 특히 협력 통신을 사용함에 있어서 각각의 수신기로 정보를 전달하는 중계기에서 위의 문제점으로 인하여 잘못된 복조와 복호를 하게 되면 전체 성능이 크게 저하되는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0004] 따라서 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 주파수 오프셋과 피에이피알(PAPR)을 감소시킬 수 있는 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템 및 그 방법을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

[0005] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 한 실시예에 따른 OFDM을 이용한 협력 통신 방법은, 입력된 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키는 단계, 상기 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 역푸리에 변환(IFFT) 변조 처리를 수행하는 단계, 상기 역푸리에 변환에 의해 변조 처리된 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환시키며, 각 그룹에 공통된 순환 접두어를 데이터 프레임 앞에 삽입하는 단계, 그리고 상기 순환 접두어가 삽입된 OFDM 심볼을 전송하는 단계를 포함한다.

[0006] 상기 순환 접두어가 삽입된 OFDM 심볼은 다음의 수학식으로 표현될 수 있다.

$$s_l(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X_{l,M-1}(k) e^{j2\pi k(N-N_g+n_1)/N}$$

[0007] 여기서 N은 부반송파의 수이고, X(k)는 주파수 축 상의 신호를 나타내며, $0 < n_1 < N_g - 1$, $N_g < n_2 < NM + N_g - 1$ 을 만족한다.

[0009] 본 발명의 다른 실시예에 따른 OFDM을 이용한 협력 통신 방법은, 직렬 형태의 OFDM 심볼을 수신하는 단계, 상기 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키며, 상기 OFDM 심볼에 삽입된 순환 접두어를 제거하는 단계, 상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼을 푸리에 변환(FFT)하여 복조 처리하는 단계, 상기 OFDM 심볼을 역푸리에 변환(IFFT) 처리하여 상기 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키는 단계, 상기 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 푸리에 변환하여 복조 처리를 수행하는 단계, 그리고 상기 푸리에 변환에 의해 복조 처리된 병렬 형태의 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환하는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼은 다음의 수학식으로 표현될 수 있다.

$$\tilde{r}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) H(k) e^{j2\pi(n+\Delta n_b)(k+\Delta f_b)} + v(n)$$

[0011] 여기서, $\tilde{r}(n)$ 은 순환 접두어가 제거된 신호이고, X(k)는 주파수 축 상의 신호이며, H(k)는 채널 임펄스 응답 함수이고, Δn_b 는 시간 오프셋이며, Δf_b 는 주파수 오프셋이고, v(n)은 복소 백색 가우시안 잡음이다.

[0013] 상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼을 푸리에 변환에 의해 복조 처리하면 상기 OFDM 심볼은 다음의 수학식으로 표현될 수 있다.

$$\tilde{R}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) H(k) e^{j2\pi(n+\Delta n_b)(k+\Delta f_b)+v(n)}$$

[0014] $\tilde{R}(k)$ 은 푸리에 변환에 의해 복조 처리된 신호를 나타낸다.

[0016] 본 발명의 다른 실시예에 따른 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템은, 입력된 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키는 직병렬 변환부, 상기 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 역푸리에 변환에 의해 변조 처리를 수행하는 복수의 역푸리에 변환부, 상기 역푸리에 변환에 의해 변조 처리된 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환시키며, 각 그룹에 공통된 순환 접두어를 데이터 프레임 앞에 삽입하는 병직렬 변환부, 그리고 상기 순환 접두어가 삽입된 OFDM 심볼을 아날로그 형태로 변환하여 중계기로 전송하는 송신부를 구비하는 송신기를 포함한다.

[0017] 본 발명의 다른 실시예에 따른 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템은, 송신기로부터 직렬 형태의 OFDM 심볼을 수신하는 수신부, 상기 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키며, 상기 OFDM 심볼에 삽입된 순환 접두어를 제거하는 직병렬 변환부, 상기 순환 접두어가 제거된 OFDM 심볼을 푸리에 변환(FFT)에 의해 복조 처리하는 복조부, 상기 OFDM 심볼을 역푸리에 변환(IFFT) 처리하여 상기 OFDM 심볼을 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키는 역푸리에 변환부, 상기 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 푸리에 변환에 의해 복조 처리를 수행하는 복수의 푸리에 변환부, 그리고 상기 푸리에 변환에 의해 복조 처리된 병렬 형태의 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환하는 병직렬 처리부를 구비하는 중계기를 포함한다.

[0018] 상기 중계기는, 상기 직렬 형태의 OFDM 심볼을 수신기로 전송하는 송신부를 더 포함할 수 있다.

효 과

[0019] 이와 같이 본 발명에 의하면, OFDM을 사용하는 협력 통신 시스템은 송신기의 OFDM 변조방식에 있어서 멀티 심벌을 그룹화하여 하나의 프레임으로 전송함으로써 중계기와 수신기에서 주파수 오프셋과 높은 피에이피알을 감소시켜 전체 시스템 성능을 높일 수 있게 한다. 또한, 한 개의 안테나를 사용하는 중계기가 높은 협력 다이버시티 이득을 얻을 수 있어 신뢰성이 있고 빠른 전송률을 획득할 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0020] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0021] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템을 설명하기 위한 도면이다. 도 1에 도시한 것처럼, OFDM을 이용한 협력 통신 시스템은 송신기(Source, 도 1에서는 "S"로 표시함)(100), 복수의 중계기(Relay, 도 1에서는 "R"로 표시함)(200) 및 수신기(Destination, 도 1에서는 "D"로 표시함)(300)로 구성된다. 그리고, 간단한 협력 통신에서 중계기가 1개인 경우, 송신기(100)와 수신기(300) 사이의 (S-D) 채널, 송신기(100)와 중계기(200) 사이의 (S-R) 채널, 그리고 중계기(200)와 수신기(300) 사이의 (R-D) 채널로서, 3개의 독립적인 채널이 존재한다. 협력 통신의 특성상 중계기(200)는 수신기(300)보다 송신기(100)와 더 가까이 위치하고, (S-R) 채널이 (R-D) 채널에 비해 더 우수한 채널 환경인 것으로 가정한다.

[0022] 이와 같이 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템은 데이터를 전송하는 송신기(100)와 이를 수신하고 데이터를 다시 재전송하는 중계기(200), 그리고 송신기(100)와 중계기(200)의 신호를 수신하여 처리하는 수신기(300)가 협력하여 데이터를 전송하는 방식으로 구성된다. 모든 송신기(100), 중계기(200), 수신기(300)는 하나 또는 두 개의 안테나를 가지고 있으며 기존의 OFDM 심벌을 새롭게 그룹화한 정보를 전송한다. 또한 중계기에서 반송파 주파수 오프셋을 추정하기 위하여 자기상관 기법을 주로 사용하는데 추정한 주파수 오프셋의 위상이 2π 를 넘게 되면 수신기(300)에서 보정이 불가능하기 때문에 추정의 오차를 2π 위상 이내로 줄여야 한다.

[0023] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 송신기의 구성을 나타낸 도면이다. 도 2와 같이 송신기(100)는 매핑부(110), 직병렬 변환부(120), 복수의 IFFT 처리부(130), 병직렬 변환부(140) 및 송신부(150)를 포함한다.

[0024] 매핑부(110)는 송신기(100)에 입력된 신호를 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 형태로 매핑시킨다. 여기서 송신기(100)를 통해 전송되는 일반적인 OFDM 신호는 다음과 같다.

수학식 1

$$s_i(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi nk/N} \quad n=1,2,\dots,N-1$$

[0025]

[0026] 여기서 N은 부반송파의 수이고, X(k)는 주파수 축 상의 신호를 나타낸다.

[0027] 송신기(100)는 주파수 오프셋을 감소시키기 위해서 OFDM 심벌을 새롭게 변형시킨다.

[0028] 직병렬 변환부(120)는 매핑된 직렬형태의 신호를 인페이즈(동위상) 채널(In-phase channel) 및 직교 채널(Quadrature channel)에 의하여 병렬 형태의 신호로 변환시킨다. 즉, 직병렬 변환부(120)는 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N(0, 1, ..., N-2, N-1)이고 M개의 그룹(0, 1, ..., M-2, M-1)으로 분할되는 병렬 형태로

변환시킨다. 복수의 IFFT 처리부(130)는 M개의 병렬 형태의 신호에 대해 역 푸리에 변환(FFT, Inverse Fast Fourier Transform) 처리를 수행한다.

[0029] 그리고, 병직렬 변환부(140)는 IFFT 변조 처리된 OFDM 심볼을 직렬 형태로 변환시키며, 각 그룹에 공통된 순환 접두어(CP, cyclic prefix)를 데이터 프레임 앞에 삽입하고, 송신부(150)는 순환 접두어(CP)가 삽입된 OFDM 심볼을 아날로그 형태로 변환하여 중계기(200)로 전송한다.

[0030] 한편 병직렬 변환부(140)는 보호 구간만큼의 순환 접두어(CP)를 데이터 프레임 앞에 삽입하게 되는바, 이하에서는 도 3을 통하여 순환 접두어(CP)를 삽입하는 방법에 대하여 상세히 설명한다.

[0031] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 순환 접두어(CP)가 삽입되어 생성된 OFDM 심벌 구조를 도시한 것이다. 일반적으로 기존의 OFDM 시스템에서는, 도 3의 (a)에서 보는 것처럼, 여러 개의 OFDM 심벌을 하나의 그룹으로 만들어서 프레임을 만들고 그 앞에 공통된 순환 접두어(CP)를 삽입함으로써 프레임의 오버헤드를 줄여서 대역폭의 효율성을 높이도록 한다. 그러나 중계기(200)를 사용하는 협력 OFDM 시스템은 주파수 오프셋과 피에이피알(PAPR)에 큰 영향을 받기 때문에 도 3의 (a) 방법에 의하면 주파수 오프셋과 피에이피알(PAPR)을 줄이기가 어렵다.

[0032] 본 발명의 실시예에 따르면 도 3의 (b)와 같이, 하나의 일정한 IFFT 크기의 OFDM 심벌을 더 작은 크기(길이가 N인)의 IFFT 블록 크기로 나누어서 공통된 순환 접두어(CP)를 삽입하여 주파수 오프셋이나 피에이피알(PAPR)을 줄이도록 한다. 따라서, 중계기(200)를 사용하는 협력 OFDM 시스템에서는 도 3의 (b) 방법을 이용하여 주파수 오프셋과 피에이피알(PAPR)을 최소화할 수 있다.

[0033] 이와 같이 프레임 앞에 순환 접두어(CP)가 삽입된 OFDM 심벌을 다음의 수학적 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 2

$$s_l(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X_{l,M-1}(k) e^{j2\pi k(N-N_g+n_1)/N}$$

[0034]

[0035] 여기서 N_g 는 순환 접두어(CP)의 크기를 나타내며, CP의 채널 임펄스 응답 길이보다 크고, $0 < n_1 < N_g - 1$, $N_g < n_2 < NM + N_g - 1$ 을 만족한다.

[0036] 신호 $s_l(n)$ 을 벡터의 표현으로 다시 적으면 신호의 맨 앞에 순환 접두어(CP)에 관련된 함수가 추가되어 다음의 수학적 식 3과 같이 간단하게 표현된다.

수학적 식 3

$$s_l(n) = [x_{l,M-1}(N-N_g+1), \dots, x_{l,M-1}(N-1), x_{l,0}(0), \dots, x_{l,0}(N-1), x_{l,1}(N-1), \dots, x_{l,M-1}(0), \dots, x_{l,M-1}(N-1)]$$

[0037]

[0038] 이하에서는 도 4를 통하여 중계기(200)에 대하여 상세히 설명한다. 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 중계기의 구성을 나타낸 도면이다. 도 4와 같이 중계기(200)는 수신부(210), 직병렬 변환부(220), 복조부(230), IFFT 처리부(240), 복수의 FFT 처리부(250), 병직렬 변환부(260) 및 송신부(270)를 포함한다.

[0039] 수신부(210)는 송신기(100)에서 전송한 OFDM 심벌을 수신하여 아날로그 형태의 신호를 디지털 형태로 변환시킨다. 여기서 송신기(100)에서 전송된 신호 (s_i)을 는 채널 임펄스 응답(h)를 통과하고 복소 백색 가우시안 잡음(AWGN) v 가 더해지게 되면 시간축 신호는 채널 임펄스 응답(h)과 컨볼루션 형태가 되어 다음의 수학적 식 4와 같이 주파수축 신호로 나타낼 수 있다.

수학적 식 4

$$s_i \otimes h + v \Rightarrow DFT(s_i)H + V$$

[0040]

[0041] 여기서 V 와 H 는 각각 푸리에 변환 쌍을 나타낸다.

[0042] 그리고, 직병렬 변환부(220)는 $M \times N$ 개(0, 1, ..., $MN-2$, $MN-1$)의 직렬 형태의 신호를 병렬 형태로 변환하고, 순환 접두어(CP)를 제거한다. 즉, 직병렬 변환부(220)는 직렬 형태의 OFDM 심볼을 길이가 N 이고 M 개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환시키며, OFDM 심볼에 삽입된 순환 접두어(CP)를 제거하며, 순환 접두어(CP)가 제거된 신호는 다음의 수학식 5와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 5

$$\tilde{r}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k)H(k)e^{j2\pi(n+\Delta n_b)(k+\Delta f_b)} + v(n)$$

[0043]

[0044] 여기서, Δn_b 는 상대적인 시간 오프셋이고, Δf_b 는 수신기와 중계기 사이의 상대적인 주파수 오프셋이다.

[0045] 그리고, 복조부(230)는 시간, 주파수의 동기화를 수행하고, 병렬 형태의 신호에 대해 푸리에 변환(FFT, Fast Fourier Transform) 처리를 통하여 데이터를 복조하게 된다. 푸리에 변환을 통하여 복조된 신호를 주파수 축 신호로 변환시키면 변환된 신호 $\tilde{R}(k)$ 은 다음의 수학식 6과 같이 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\tilde{R}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)H(k)e^{j2\pi(n+\Delta n_b)(k+\Delta f_b)} + v(n)$$

[0046]

[0047] 여기서, 여러 개의 OFDM 심벌이 캡슐화된 k 번째 부반송파의 출력을 간단하게 표현 하면 다음의 수학식 7과 같다.

수학식 7

$$\tilde{R}(k) = AX(k) + I_{ISI}(k) + I_{ICI}(k) + V(K)$$

[0048]

[0049] 여기서, A 는 각각의 부반송파의 감쇄와 위상 회전과 같은 오류 성분이고, $I_{ISI}(k)$ 은 시간 오프셋으로 인한 자기 심벌간의 간섭, $I_{ICI}(k)$ 는 주파수 추정 오차로 인한 인접 채널간의 간섭이다.

[0050] 중계기의 주파수 오프셋에 따른 시스템 성능 열화를 초래하는 $I_{ICI}(k)$ 는 다음의 수학식 8과 같이 자세히 나타낼 수 있다.

수학식 8

$$I_{ICI} = \sum_{\substack{l=-K \\ l \neq K}}^K \left(\frac{X(l)H(l)}{H(k)} \right) \left(\frac{\sin(\pi\Delta f_b)/N}{\sin(\pi(l-k+\Delta f_b)/N)} \right) \\ \times e^{-j\pi(l-k)/N} e^{j\pi\Delta f_b(N-1)/N} e^{j2\pi k\Delta n_b/N} e^{j2\pi\Delta f_b\Delta n_b/N}$$

[0051]

[0052] 심벌 초기의 주파수 오프셋 추정과정 에서 약간의 오류가 생기더라도 부반송파의 수만큼 오류가 누적되게 때문에 마지막 반송파의 주파수 오차는 크게 발생하게 된다. 하지만 멀티 심벌 캡슐화 방법을 사용하면 작은 크기의 FFT 블록을 사용하기 때문에 상대적으로 주파수 오프셋 오류가 적어지게 된다.

[0053] 또한 송신기에서 전송된 신호의 피에이피알(PAPR)은 다음의 수학식 9와 같다.

수학식 9

$$PAPR = \frac{\max[|s(n)|^2]}{E[|s(n)|^2]}$$

[0054]

[0055]

여기서 $E[\cdot]$ 은 평균을 나타내며, 위의 수학식 9와 같은 방법으로 피에이피알(PAPR)을 계산하면 부반송파 수에 따라서 최대 파워가 결정된다. 감소된 FFT 크기를 사용하는 멀티 심벌 캡슐화된 OFDM 신호는 반송파의 수를 줄여서 기존의 OFDM 신호보다 피에이피알(PAPR)을 감소시키는 특징을 보여주므로, 적은 비용과 큰 효율을 필요로 하는 중계기(200)에서 큰 효과를 보여준다.

[0056]

중계기에서 수신된 신호는 시간 및 주파수 오프셋 보정을 거치고 IFFT 처리부(240)는 다음의 수학식 10과 같은 채널 등화를 수행하게 된다.

수학식 10

$$r_i = IFFT\left\{\frac{DFT(\tilde{r})}{H}\right\} + \tilde{v}_i$$

[0057]

[0058]

여기서 $\tilde{r}$ 은 CP 제거후의 신호를 나타내며, 등화된 신호 r_i 들은 IFFT 처리부(240)에 의하여 OFDM 심볼은 길이가 N이고 M개의 그룹으로 분할되는 병렬 형태로 변환된다. 그리고 복수의 FFT 처리부(250)는 병렬 형태의 OFDM 심볼에 포함되는 M개의 그룹들에 대해 각각 FFT 복조 처리를 수행한다.

[0059]

이와 같이 중계기(200)에서는 추가적인 주파수 오프셋 추정 과정없이 변형된 OFDM 심벌을 복조함으로써 주파수 오프셋과 피에이피알(PAPR)을 감소시킬 수 있다. 그리고, 병렬 변환부(260)는 FFT 복조 처리된 병렬 형태의 OFDM 심벌을 직렬 형태로 변환하며, 송신부(270)는 직렬 형태의 OFDM 심벌을 수신기(300)로 전송한다.

[0060]

여기서, 중계기(200)는 다시 수신기(300)로 신호를 전송할 경우, 도 2를 통해 설명한 송신기(100)와 같은 방법으로 신호를 전송하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 또한 수신기(300)는 도 4를 통해 설명한 중계기(200)와 같은 방법으로 신호를 수신하여 다이버시티 이득을 얻을 수 있다.

[0061]

이하에서는 도 5 내지 도 8을 통하여 본 발명의 실시예에 따른 협력 OFDM 시스템을 통한 비트 오류율 성능을 나타내는 그래프이다.

[0062]

도 5 내지 도 8에서 가로축은 신호 대 잡음비(SNR)이고, 세로축은 비트 에러율(BER)을 나타낸다. 모의실험에서, 시간 및 채널 추정은 완벽한 것으로 가정하고, 송신기-중계기 채널의 신호 대 잡음비(SNR)가 송신기-수신기 채널의 신호 대 잡음비(SNR)보다 10dB 좋다고 가정하였다. 중계기(200)는 DF(Decode and forward) 방식을 사용하고 비협력 통신과의 공정한 비교를 하기 위해 송신기와 중계기의 전송파워는 동일하게 할당하였다. 송신기(100)와 수신기(300) 사이에 상대적인 주파수 오프셋을 CFO(Carrier Frequency Offset)라고 정의하였다.

[0063]

도 5는 본 발명의 실시예에 있어서, 협력 OFDM 시스템을 구성하는 중계기의 수에 따른 비트 오류율을 보여주는 그래프이다. 송신기(100)는 부반송파를 M개의 그룹으로 나누어 OFDM 심벌을 만들어 전송하게 되는데, 도 5은 일정한 CFO가 발생하였을 때, M의 개수 변화에 따르는 비트 오류율의 측정 결과를 나타낸다. 각각 중계기와 수신기에서 M=1 인 경우는 기존의 OFDM 시스템과 같다. CFO가 0.2이면 CFO가 0인 일반적인 협력 OFDM 시스템과 비교해 볼 때, 본 발명의 실시예에 따른 협력 OFDM 시스템의 경우 M이 증가할수록 CFO의 영향을 적게 받는 것을 알 수 있다. 이 결과를 통해서 본 발명의 실시예에 따른 협력 OFDM 시스템은 주파수 동기화 에러에 강인함을 알 수 있다.

[0064]

도 6은 CFO가 증가함에 따라 기존의 협력 OFDM 시스템과 본 발명에 따른 협력 OFDM 시스템의 비트 에러율을 비교한 결과를 나타내는 그래프이다. 본 모의 실험에서 M=2로 고정하였고, CFO를 점차 증가시키면서 실험하였다. 기존의 협력 OFDM 시스템(도 6에서 점선으로 표시됨)은 CFO가 점차 증가함에 따라 성능의 차이가 크게 벌어지는 것을 보여주며 본 발명은 CFO가 증가하더라도 적은 범위에서 성능의 차이가 나는 것을 알 수 있다. 따라서, 도

6에 따른 모의 실험을 통해 본 발명의 실시예에 따른 협력 OFDM 시스템은 CFO가 증가하더라도 성능에 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다.

[0065] 도 7은 본 발명의 실시예에 있어서, 송신기가 다중 안테나를 가졌을 때 CFO의 증가에 따른 비트 오류율을 비교한 결과를 나타내는 그래프이다. 즉, 송신기(100)가 두 개의 안테나를 가진다고 가정하고, 도 6과 동일한 환경에서 STBC(Space time block code) 전송 방법을 사용하였을 경우 CFO의 증가에 따른 비트 오류율(BER)을 보여주는 그래프이다. 도 7을 통하여, 여러 개의 안테나를 사용하여 전송하면 공간적인 다이버시티 이득을 얻어 전체적으로 성능이 향상된 것을 알 수 있다. 또한 송신기가 여러 개의 안테나를 사용하였을 경우 본 발명에 따른 협력 OFDM 시스템은 기존의 협력 OFDM 시스템과 비교할 때, CFO 증가하더라도 CFO에 큰 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다.

[0066] 도 8은 본 발명의 실시예에 있어서, 콘볼루션 채널 코딩을 하였을 경우 협력 OFDM 시스템을 구성하는 중계기의 수에 따른 비트 오류율을 보여주는 그래프이다. 즉, 도 8은 본 발명의 실시예에 있어서 전송률이 1/2인 콘볼루션 채널 코딩을 하였을 경우, 중계기의 수에 따른 비트 오류율을 측정하는 모의실험 결과이다. CFO는 0.2로 고정시키고 M의 크기에 따른 성능 변화를 나타낸다. 도 8에 나타난 것처럼, 채널 코딩을 한 경우에도 CFO가 존재할 경우 M의 증가에 따라 성능의 향상을 보여준다.

[0067] 이와 같이 본 발명의 실시예에 의하면, OFDM을 사용하는 통신 시스템은 송신기의 OFDM 변조방식에 있어서 멀티심벌을 그룹화하여 하나의 프레임으로 전송함으로써 중계기와 수신기에서 주파수 오프셋과 높은 피에이피알을 감소시켜 전체 시스템 성능을 높일 수 있게 한다. 또한, 한 개의 안테나를 사용하는 중계기가 높은 협력 다이버시티 이득을 얻을 수 있어 신뢰성이 있고 빠른 전송률을 획득할 수 있다.

[0068] 한편, 상술한 OFDM을 이용한 협력 통신 방법은, 컴퓨터에서 읽을 수 있는 코드/명령들(instructions)/프로그램으로 구현된다. 예를 들면, 상기의 방법은 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체를 이용하여 상기 코드/명령들/프로그램을 동작시키는 범용 디지털 컴퓨터에서 구현될 수 있다. 상기 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록 매체는 마그네틱 저장 매체(ex, 롬, 플로피 디스크, 하드디스크, 마그네틱 테이프 등), 광학적 판독 매체(ex, 시디롬, 디브이디 등) 및 캐리어 웨이브(ex, 인터넷을 통한 전송) 등의 저장 매체를 포함한다. 또한, 본 발명의 실시예는 컴퓨터로 읽을 수 있는 코드를 내장하는 매체(들)로서 구현되어, 네트워크를 통해 연결된 다수 개의 컴퓨터 시스템들이 분배되어 처리 동작하도록 할 수 있다. 본 발명의 방법이 실현하는 기능적인 프로그램들, 코드들 및 코드 세그먼트(segment)들은 본 발명이 속하는 기술 분야의 프로그래머들에 의해 쉽게 추론될 수 있음은 자명하다.

[0069] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

도면의 간단한 설명

[0070] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 OFDM을 이용한 협력 통신 시스템을 설명하기 위한 도면이다.

[0071] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 송신기의 구성을 나타낸 도면이다.

[0072] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 순환 접두어(CP)가 삽입되어 생성된 OFDM 심벌 구조를 도시한 것이다.

[0073] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 중계기의 구성을 나타낸 도면이다.

[0074] 도 5는 본 발명의 실시예에 있어서, 협력 OFDM 시스템을 구성하는 중계기의 수에 따른 비트 오류율을 보여주는 그래프이다.

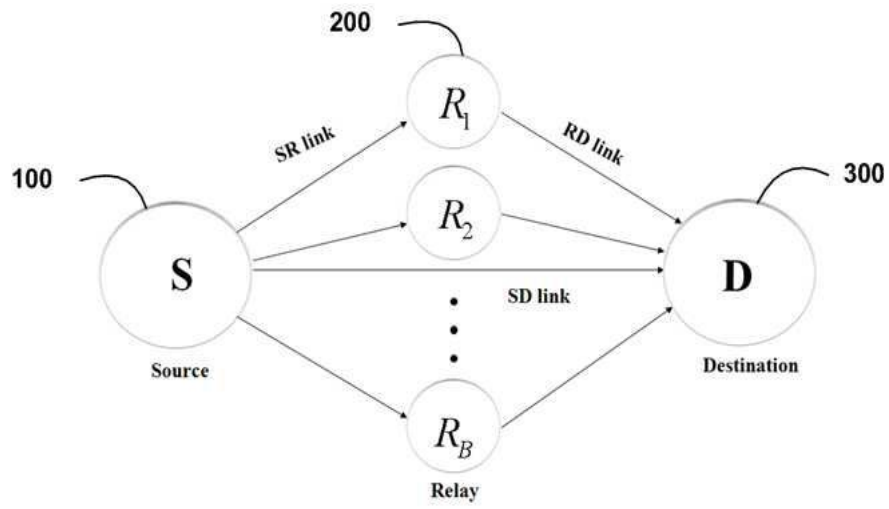
[0075] 도 6은 CFO가 증가함에 따라 기존의 협력 OFDM 시스템과 본 발명에 따른 협력 OFDM 시스템의 비트 에러율(BER)을 비교한 결과를 나타내는 그래프이다.

[0076] 도 7은 본 발명의 실시예에 있어서, 송신기가 다중 안테나를 가졌을 때 CFO의 증가에 따른 비트 오류율(BER)을 비교한 결과를 나타내는 그래프이다.

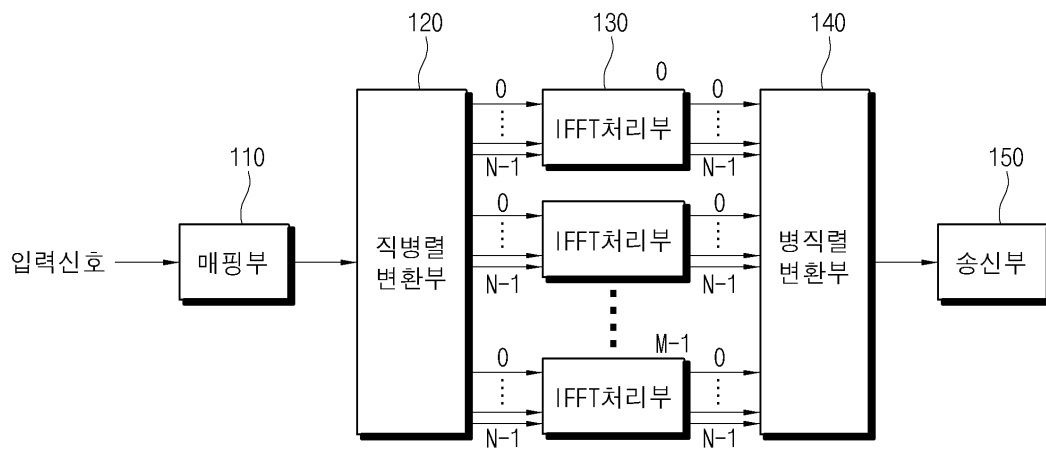
[0077] 도 8은 본 발명의 실시예에 있어서, 콘볼루션 채널 코딩을 하였을 경우 협력 OFDM 시스템을 구성하는 중계기의 수에 따른 비트 오류율을 보여주는 그래프이다.

도면

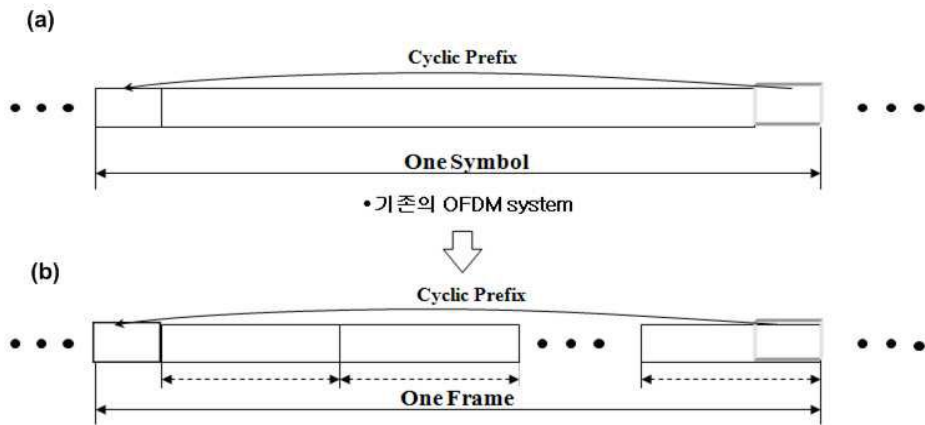
도면1



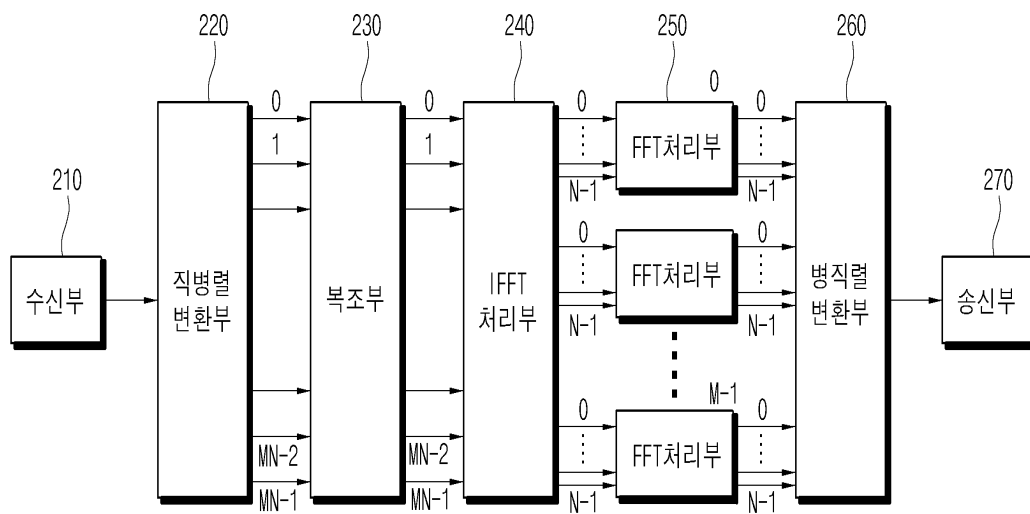
도면2



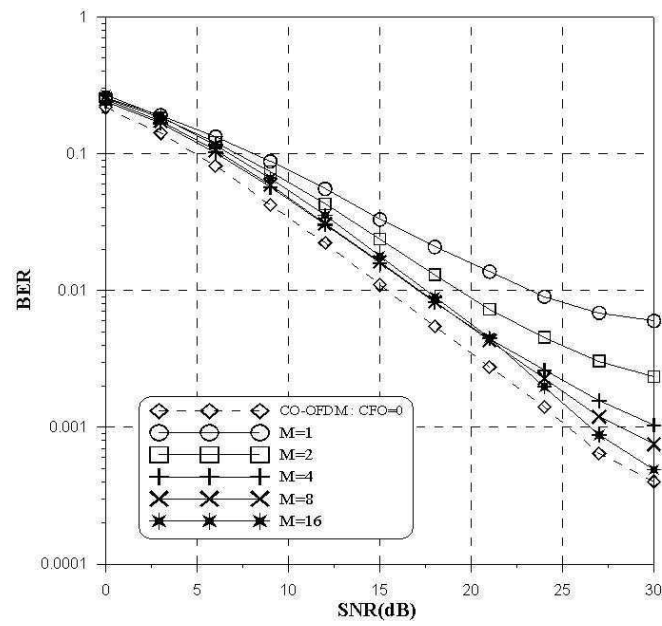
도면3



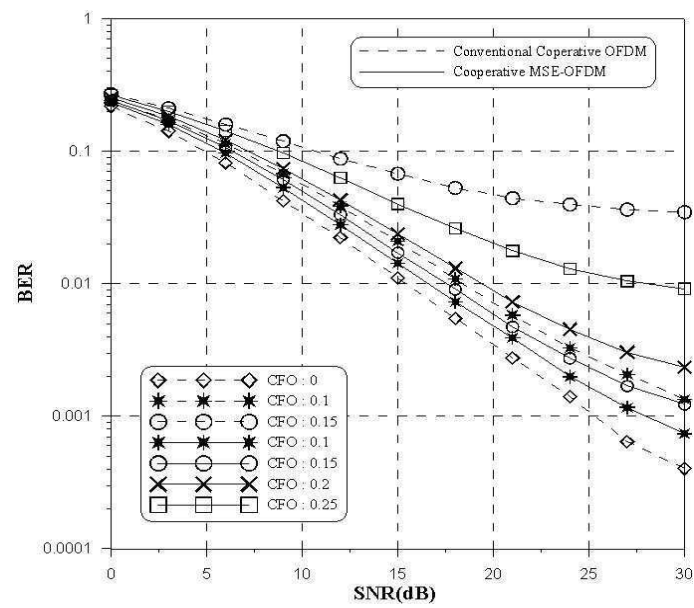
도면4



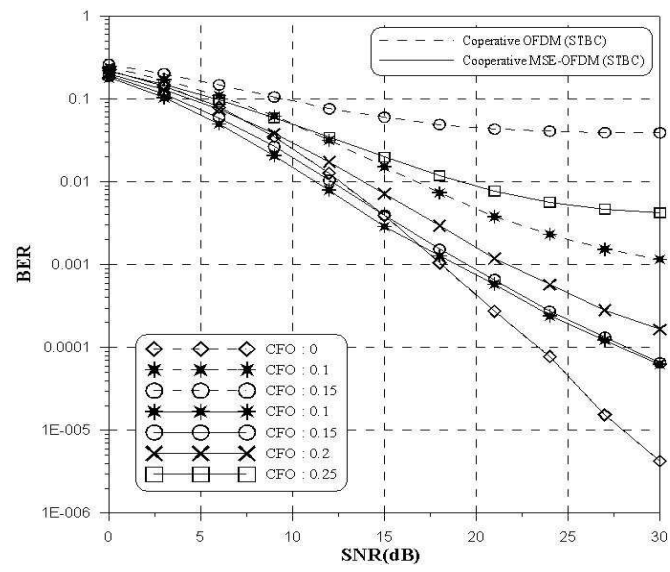
도면5



도면6



도면7



도면8

