



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2016-0050107
(43) 공개일자 2016년05월11일

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/26 (2006.01) H04B 7/08 (2006.01)</p> <p>(21) 출원번호 10-2014-0146443</p> <p>(22) 출원일자 2014년10월27일
심사청구일자 2014년10월27일</p> | <p>(71) 출원인
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)</p> <p>(72) 발명자
이성주
서울 광진구 뚝섬로35길 32, 308동 1110호 (자양동, 우성3차아파트)
김나래
서울 노원구 공릉로 351, 8동 302호 (하계동, 한신청구아파트)</p> <p>(74) 대리인
특허법인태백</p> |
|--|---|

전체 청구항 수 : 총 12 항

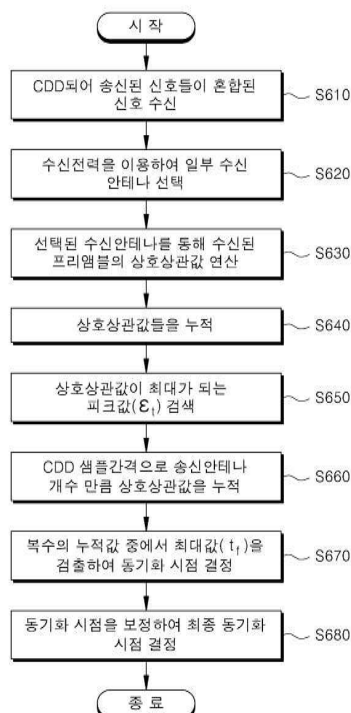
(54) 발명의 명칭 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법 및 그 장치

(57) 요약

본 발명은 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법 및 그 장치에 관한 것으로서, 본 발명의 일 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법은, 복수의 송신 안테나를 통하여 순환 지연(CDD)되어 전송된 OFDM 심볼을 복수의 수신 안테나를 이용하여 수신하는 단계, 상기 복수의 수신 안테나 각각에 대하여 수신 전력을 연산하

(뒷면에 계속)

대표도 - 도6



고, 상기 수신 전력의 크기를 이용하여 상기 복수의 수신 안테나 중에서 일부 수신 안테나를 선택하는 단계, 상기 선택된 수신 안테나가 각각 수신한 프리앰블과 기 설정된 상관 윈도우를 상호 상관 처리하여 최대 피크 값을 검출하는 단계, 상기 최대 피크 값을 기준으로 일정 범위를 포함되는 영역에서 CDD 샘플 간격으로 상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시키는 단계, 그리고 상기 상호 상관의 누적 값이 최대가 되는 시점을 검출하고, 검출되는 시점에 상기 복수의 송신 안테나의 개수에 따른 최대 CDD 값을 더하여 최종 동기화 시점을 결정하는 단계를 포함한다.

본 발명에 따르면 수신 안테나 별로 수신 신호의 전력을 측정하여 가용 안테나보다 적은 수의 안테나를 측정한 신호의 전력을 순서대로 선택함으로써 각 안테나마다 수행되는 동기부의 연산량을 줄일 수 있다. 또한 본 발명에 따르면 복수의 송신 안테나에 대하여 상호상관 값을 누적하여 동기화 시점을 결정한다는 점에서 멀티패스에서 높은 정확성을 갖고 시간 동기화를 진행할 수 있다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1345208112
부처명	교육부
연구관리전문기관	한국연구재단
연구사업명	일반연구자지원사업
연구과제명	SYAN(Ship and Yard Area network)에서의 최적 무선통신기법에 관한 연구
기 여 율	1/2
주관기관	세종대학교 산학협력단
연구기간	2013.11.01 ~ 2014.10.31이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호	1711014058
부처명	미래창조과학부
연구관리전문기관	정보통신산업진흥원(NIPA)
연구사업명	정보통신기술인력양성
연구과제명	에너지-IT 융합 핵심기술 연구
기 여 율	1/2
주관기관	국민대학교 산학협력단
연구기간	2009.03.01 ~ 2014.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

복수의 송신 안테나를 통하여 순환 지연(CDD)되어 전송된 OFDM 심볼을 복수의 수신 안테나를 이용하여 수신하는 단계,

상기 복수의 수신 안테나 각각에 대하여 수신 전력을 연산하고, 상기 수신 전력의 크기를 이용하여 상기 복수의 수신 안테나 중에서 일부 수신 안테나를 선택하는 단계,

상기 선택된 수신 안테나가 각각 수신한 프리앰블과 기 설정된 상관 윈도우를 상호 상관 처리하여 최대 피크 값을 검출하는 단계,

상기 최대 피크 값을 기준으로 일정 범위를 포함되는 영역에서 CDD 샘플 간격으로 상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시키는 단계, 그리고

상기 상호 상관의 누적 값이 최대가 되는 시점을 검출하고, 검출되는 시점에 상기 복수의 송신 안테나의 개수에 따른 최대 CDD 값을 더하여 최종 동기화 시점을 결정하는 단계를 포함하는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 OFDM 심볼을 복수의 수신 안테나를 이용하여 수신하는 단계는,

다음의 수학적식과 같이 상기 복수의 송신 안테나들로부터 송신된 송신 신호들이 혼합된 신호를 수신하는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법:

$$y_j(n) = \sum_{i=0}^{N_{TX}-1} \sum_{l=0}^{L-1} h_{i,j}(l) x_i(n-l) + w_j(n)$$

여기서, $y_j(n)$ 은 j 번째 수신 안테나를 통해 수신된 신호이고, $h_{i,j}(l)$ 은 i 번째 송신 안테나와 j 번째 수신 안테나 사이에 전달되는 l 번째 채널 응답 펄스이고, N_{TX} 는 송신 안테나 개수이며, L 은 채널 펄스 응답 펄스의 길이이고, $w_j(n)$ 은 AWGN을 나타낸다.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 복수의 수신 안테나 중에서 일부 수신 안테나를 선택하는 단계는,

다음의 수학적식을 이용하여 상기 복수의 수신 안테나 각각의 수신 전력($\rho_j(n)$)을 연산하는 단계,

상기 수신 안테나의 수신 전력($\rho_j(n)$)을 M 개의 샘플에 대하여 누적하여 누적 전력(P_j)을 획득하는 단계, 그리고

상기 누적 전력(P_j)의 크기가 상위 일정 비율 내에 포함되는 상기 일부 수신 안테나를 선택하는 단계를 포함하는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법:

$$\rho_j(n) = \sum_{k=0}^{K-1} |y_j(n+k+D)|^2$$

$$P_j = \sum_{m=0}^{M-1} \rho_j(m)$$

여기서, $\rho_j(n)$ 는 j 번째 수신 안테나의 수신 전력이며, D는 CDD 지연 값이고, k는 상관 윈도우 길이이다.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 선택된 수신 안테나가 각각 수신한 프리앰블과 기 설정된 상관 윈도우를 상호 상관 처리하여 합산하는 단계는,

다음의 수학적식과 같이 상기 선택된 수신 안테나를 통해 수신된 프리앰블의 L-LTF가 시작되는 시점부터 상기 상관 윈도우(L-LTS)를 이용하여 상기 프리앰블의 상호 상관 값을 구하는 단계, 그리고

상기 선택된 수신 안테나가 수신한 상기 프리앰블의 상호 상관 값을 합산시키는 단계를 포함하는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법:

$$\varepsilon_{\sigma_q}(n) = \left| \sum_{k=0}^{K'-1} y_{\sigma_q}^*(n+k) s_{LTS}(k) \right|$$

$$\varepsilon(n) = \sum_{q=0}^{Q-1} \varepsilon_{\sigma_q}(n)$$

여기서, $s_{LTS}(k)$ 는 기 설정된 상관 윈도우(L-LTS)의 시간 도메인 값이고, $\varepsilon(n)$ 은 선택된 Q개의 수신 안테나로부터 계산된 프리앰블의 상호 상관 값이 합산된 값을 나타낸다.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시키는 단계는,

$\mathbb{W} = [\varepsilon_t - 2CDD_{\max}, \varepsilon_t + 2CDD_{\max}]$ 의 윈도우 구간에서 다음의 수학적식과 같이 CDD 샘플 간격으로 상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시키는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법:

$$\varepsilon_p = \sum_{i=0}^{N_{TX}-1} \varepsilon(W_t + i \times CDD_{\text{sample}})$$

여기서, ε_t 는 상기 최대 피크 값을 나타내며, $CDD_{\max}$ 는 상기 최대 CDD 값을 나타내고, CDD_{sample} 은 상기 CDD 샘플 간격이고, i는 송신 안테나의 인덱스이다.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 최종 동기화 시점을 결정하는 단계는,

다음의 수학적식으로 표시되는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법:

$$t'_f = t_f + CDD_{\max}$$

여기서, t'_f 는 상기 최종 동기화 시점이고, t_f 는 검출된 상기 상호 상관의 누적 값이 최대가 되는 시점을 나타낸다.

청구항 7

복수의 송신 안테나를 통하여 순환 지연(CDD)되어 전송된 OFDM 심볼을 복수의 수신 안테나를 이용하여 수신하는 데이터 수신부,

상기 복수의 수신 안테나 각각에 대하여 수신 전력을 연산하고, 상기 수신 전력의 크기를 이용하여 상기 복수의 수신 안테나 중에서 일부 수신 안테나를 선택하는 안테나 선택부, 그리고

상기 선택된 수신 안테나가 각각 수신한 프리앰블과 기 설정된 상관 윈도우를 상호 상관 처리하여 최대 피크 값을 검출하고, 상기 최대 피크 값을 기준으로 일정 범위를 포함되는 영역에서 CDD 샘플 간격으로 상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시켜, 상기 상호 상관의 누적 값이 최대가 되는 시점을 검출하며 검출되는 시점에 상기 복수의 송신 안테나의 개수에 따른 최대 CDD 값을 더하여 최종 동기화 시점을 결정하는 동기화부를 포함하는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 데이터 수신부는,

다음의 수학적식과 같이 상기 복수의 송신 안테나들로부터 송신된 송신 신호들이 혼합된 신호를 수신하는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 장치:

$$y_j(n) = \sum_{i=0}^{N_{TX}-1} \sum_{l=0}^{L-1} h_{i,j}(l) x_i(n-l) + w_j(n)$$

여기서, $y_j(n)$ 은 j 번째 수신 안테나를 통해 수신된 신호이고, $h_{i,j}(l)$ 은 i 번째 송신 안테나와 j 번째 수신 안테나 사이에 전달되는 l 번째 채널 응답 펄스이고, N_{TX} 는 송신 안테나 개수이며, L 은 채널 펄스 응답 펄스의 길이이고, $w_j(n)$ 은 AWGN을 나타낸다.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 안테나 선택부는,

다음의 수학적식을 이용하여 상기 복수의 수신 안테나 각각의 수신 전력($\rho_j(n)$)을 연산하고, 상기 수신 안테나의 수신 전력($\rho_j(n)$)을 M 개의 샘플에 대하여 누적하여 누적 전력(P_j)를 획득하며, 상기 누적 전력(P_j)의 크기가 상위 일정 비율 내에 포함되는 상기 일부 수신 안테나를 선택하는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 장치:

$$\rho_j(n) = \sum_{k=0}^{K-1} |y_j(n+k+D)|^2$$

$$P_j = \sum_{m=0}^{M-1} \rho_j(m)$$

여기서, $\rho_j(n)$ 는 j 번째 수신 안테나의 수신 전력이며, D는 CDD 지연 값이고, k는 상관 윈도우 길이이다.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 동기화부는,

다음의 수학적식과 같이 상기 선택된 수신 안테나를 통해 수신된 프리앰블의 L-LTF가 시작되는 시점부터 상기 상관 윈도우(L-LTS)를 이용하여 상기 프리앰블의 상호 상관 값을 구하고, 상기 선택된 수신 안테나가 수신한 상기 프리앰블의 상호 상관 값을 합산시키는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 장치:

$$\varepsilon_{\sigma_q}(n) = \left| \sum_{k=0}^{K'-1} y_{\sigma_q}^*(n+k) s_{LTS}(k) \right|$$

$$\varepsilon(n) = \sum_{q=0}^{Q-1} \varepsilon_{\sigma_q}(n)$$

여기서, $s_{LTS}(k)$ 는 기 설정된 상관 윈도우(L-LTS)의 시간 도메인 값이고, $\varepsilon(n)$ 은 선택된 Q개의 수신 안테나로부터 계산된 프리앰블의 상호 상관 값이 합산된 값을 나타낸다.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 동기화부는,

$W = [\varepsilon_t - 2CDD_{\max}, \varepsilon_t + 2CDD_{\max}]$ 의 윈도우 구간에서 다음의 수학적식과 같이 CDD 샘플 간격으로 상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시키는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 장치:

$$\varepsilon_p = \sum_{i=0}^{N_{Tx}-1} \varepsilon(W_r + i \times CDD_{\text{sample}})$$

여기서, ε_t 는 상기 최대 피크 값을 나타내며, $CDD_{\max}$ 는 상기 최대 CDD 값을 나타내고, CDD_{sample} 은 상기 CDD 샘플 간격이고, i는 송신 안테나의 인덱스이다.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 동기화부는,

다음의 수학적식으로 표시되는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 장치:

$$t'_f = t_f + CDD_{\max}$$

여기서, t'_f 는 상기 최종 동기화 시점이고, t_f 는 검출된 상기 상호 상관의 누적 값이 최대가 되는 시점을 나타낸다.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법 및 그 장치에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 다중 안테나로 인해 발생하는 멀티패스 상에서 높은 정확성을 가지고 동기화 작업을 수행할 수 있는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 통신 기술의 발전과 편의성의 요구로 휴대 기기의 사용이 보편화되면서, 휴대 기기 내에 기술을 집약시키기 위한 기술 개발이 요구되고 있다. 특히, 홈 네트워크를 구성하여 각종 무선 멀티미디어 장치들 사이의 무선 연결을 위해 IEEE 802.11ac 무선랜 시스템에 대한 개발은 계속되고 있다.

[0003] IEEE 802.11ac 시스템은 높은 전송 효율과 비교적 채널 보상에 유리한 OFDM 방식과 데이터 전송률 향상 또는 신뢰성 향상에 유리한 MIMO 기법이 결합된 MIMO-OFDM(Multiple Input Multiple Output)-OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 채택하고 있다. 그러나 MIMO 기술에 최대 8개의 안테나를 지원되기 때문에 안테나 배치, 동작 속도, 전력 소모 문제 등이 고려되어야 한다.

[0004] OFDM 기법은 다중경로 페이딩 환경과 협대역 간섭에 매우 강인한 특징을 가지지만, 변복조되는 부반송파들(sub-carriers)간의 상호 직교성이 반드시 유지되어야 하는 제약 조건 때문에 단일 반송파 시스템에 비해 동기 오차(synchronization error)에 매우 민감한 특징을 보인다. 동기 오차가 발생하면 심볼간 간섭 및 인접 부반송파간 간섭이 나타나게 되어 성능 열화가 심각해지거나 패킷 자체를 손실(packet loss)하는 문제를 갖고 있다.

[0005] 동기화부(Synchronization)의 성능에 따라 시스템 전체의 성능이 좌우되기 때문에 정확한 동기는 WLAN system의 필수 조건이 된다. 더욱이, MIMO 기법에 순환 지연 다이버시티(cyclic delay diversity, CDD) 기술이 적용되기 때문에, 기존의 상호 상관 알고리즘 기반의 시간 동기 기법이 적용되면 "pseudo multipath" 문제가 발생하여 동기 수행에 어려움이 생긴다. 또한 MIMO 방식에 CDD 기술이 적용되면 동기 정확도가 떨어지고, ML(maximum likelihood) 방식을 이용한 알고리즘으로 연산량과 전력 소모가 증가하는 문제점이 있다. 또한 WLAN modem에서 각 알고리즘의 계산 복잡도를 살펴보면 동기 부분은 전체 모뎀에서 큰 비중을 차지하고 있기 때문에 동기화부의 계산 복잡도를 줄이기 위한 기술 개발이 필요하다.

[0006] 본 발명의 배경이 되는 기술은 국내등록특허 제10-1341202호(2013.12.12 공고)에 개시되어 있다.

[0007] 도 1은 종래 기술에 따른 MIMO-OFDM 시스템의 동기화 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0008] 종래기술인 국내등록특허 제10-1341202호에 따르면, 도 1과 같이 상호 상관 값의 첫번째 피크 발생 시점(t_{T1}) 근처에 해당하는 $W=[t_{T1}-Lg, t_{T1}+Lg]$ 범위 내에서 상호 상관 합산 값($\epsilon(w)$)이 최대가 되는 최대 피크 값(ϵ_{max})을 검색하고, 검색된 최대 피크 값(ϵ_{max})을 기준으로 수학적 1과 같이 임계값(ϵ_{thr})을 설정한다.

수학적 1

$$\epsilon_{thr} = \epsilon_{max} - (\alpha \cdot t)$$

[0009]

[0010] 여기서, α 는 증분값이고, t 는 α 의 차감 회수가 된다. 즉, 동기화 장치는 검색된 최대 피크 값(ϵ_{max})을 기준으로 α 만큼의 크기로 조건을 만족할 때까지 t 회에 걸쳐서 차감을 시켜줌으로써, 임계값(ϵ_{thr})을 구한다.

[0011] 그리고, 동기화 장치는 상호 상관 합산 값($\epsilon(w)$)이 임계값(ϵ_{thr})보다 크거나 같고, 상호 상관 피크 값 사이의 간격이 최대가 되도록 하는 상호 상관 피크의 발생 시점을 동기화 시점(t_f)으로 판단한다.

[0012] 그러나 종래 기술(국내등록특허 제10-1341202호)과 같이 임계값을 사용하여 동기화 시점을 탐색하는 방법은

multipath에 의하여 오류에 의한 피크 값이 마지막 CDD 피크보다 크면 최대 피크 값($\epsilon_{\max}$)이 잘못 판별이 되어 동기의 정확성이 떨어지게 된다. 특히 임계값을 사용하기 때문에 multipath의 한 지점의 값에 크게 영향을 받게 되는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 다중 안테나로 인해 발생하는 멀티패스 상에서 높은 정확성을 가지고 동기화 작업을 수행할 수 있는 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법 및 그 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0014] 본 발명의 일 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 방법은, 복수의 송신 안테나를 통하여 순환 지연(CDD)되어 전송된 OFDM 심볼을 복수의 수신 안테나를 이용하여 수신하는 단계, 상기 복수의 수신 안테나 각각에 대하여 수신 전력을 연산하고, 상기 수신 전력의 크기를 이용하여 상기 복수의 수신 안테나 중에서 일부 수신 안테나를 선택하는 단계, 상기 선택된 수신 안테나가 각각 수신한 프리앰블과 기 설정된 상관 윈도우를 상호 상관 처리하여 최대 피크 값을 검출하는 단계, 상기 최대 피크 값을 기준으로 일정 범위를 포함되는 영역에서 CDD 샘플 간격으로 상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시키는 단계, 그리고 상기 상호 상관의 누적 값이 최대가 되는 시점을 검출하고, 검출되는 시점에 상기 복수의 송신 안테나의 개수에 따른 최대 CDD 값을 더하여 최종 동기화 시점을 결정하는 단계를 포함한다.

[0015] 상기 OFDM 심볼을 복수의 수신 안테나를 이용하여 수신하는 단계는, 다음의 수학적식과 같이 상기 복수의 송신 안테나들로부터 송신된 송신 신호들이 혼합된 신호를 수신할 수 있다.

$$y_j(n) = \sum_{i=0}^{N_{TX}-1} \sum_{l=0}^{L-1} h_{i,j}(l) x_i(n-l) + w_j(n)$$

[0016]

[0017] 여기서, $y_j(n)$ 은 j 번째 수신 안테나를 통해 수신된 신호이고, $h_{i,j}(l)$ 은 i 번째 송신 안테나와 j 번째 수신 안테나 사이에 전달되는 l 번째 채널 응답 펄스이고, N_{TX} 는 송신 안테나 개수이며, L 은 채널 펄스 응답 펄스의 길이이고, $w_j(n)$ 은 AWGN을 나타낸다.

[0018] 상기 복수의 수신 안테나 중에서 일부 수신 안테나를 선택하는 단계는, 다음의 수학적식을 이용하여 상기 복수의 수신 안테나 각각의 수신 전력($\rho_j(n)$)을 연산하는 단계, 상기 수신 안테나의 수신 전력($\rho_j(n)$)을 M 개의 샘플에 대하여 누적하여 누적 전력(P_j)를 획득하는 단계, 그리고 상기 누적 전력(P_j)의 크기가 상위 일정 비율 내에 포함되는 상기 일부 수신 안테나를 선택하는 단계를 포함할 수 있다.

$$\rho_j(n) = \sum_{k=0}^{K-1} |y_j(n+k+D)|^2$$

[0019]

$$P_j = \sum_{m=0}^{M-1} \rho_j(m)$$

[0020]

[0021] 여기서, $\rho_j(n)$ 은 j 번째 수신 안테나의 수신 전력이며, D 는 CDD 지연 값이고, k 는 상관 윈도우 길이이다.

[0022] 상기 선택된 수신 안테나가 각각 수신한 프리앰블과 기 설정된 상관 윈도우를 상호 상관 처리하여 합산하는 단계는, 다음의 수학적식과 같이 상기 선택된 수신 안테나를 통해 수신된 프리앰블의 L-LTF가 시작되는 시점부터 상기 상관 윈도우(L-LTS)를 이용하여 상기 프리앰블의 상호 상관 값을 구하는 단계, 그리고 상기 선택된 수신 안

테나가 수신한 상기 프리앰블의 상호 상관 값을 합산시키는 단계를 포함할 수 있다.

$$\varepsilon_{\sigma_q}(n) = \left| \sum_{k=0}^{K'-1} y_{\sigma_q}^*(n+k) s_{LTS}(k) \right|$$

$$\varepsilon(n) = \sum_{q=0}^{Q-1} \varepsilon_{\sigma_q}(n)$$

여기서, $S_{LTS}(k)$ 는 기 설정된 상관 윈도우(L-LTS)의 시간 도메인 값이고, $\varepsilon(n)$ 은 선택된 Q개의 수신 안테나로부터 계산된 프리앰블의 상호 상관 값이 합산된 값을 나타낸다.

상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시키는 단계는, $\mathbb{W} = [\varepsilon_f - 2CDD_{\max}, \varepsilon_f + 2CDD_{\max}]$ 의 윈도우 구간에서 다음의 수학적식과 같이 CDD 샘플 간격으로 상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시킬 수 있다.

$$\varepsilon_p = \sum_{i=0}^{M_{TX}-1} \varepsilon(W_r + i \times CDD_{\text{sample}})$$

여기서, ε_f 는 상기 최대 피크 값을 나타내며, $CDD_{\max}$ 는 상기 최대 CDD 값을 나타내고, CDD_{sample} 은 상기 CDD 샘플 간격이고, i 는 송신 안테나의 인덱스이다.

상기 최종 동기화 시점을 결정하는 단계는, 다음의 수학적식으로 표시될 수 있다.

$$t'_f = t_f + CDD_{\max}$$

여기서, t'_f 는 상기 최종 동기화 시점이고, t_f 는 검출된 상기 상호 상관의 누적 값이 최대가 되는 시점을 나타낸다.

본 발명의 다른 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 장치는, 복수의 송신 안테나를 통하여 순환 지연(CDD)되어 전송된 OFDM 심볼을 복수의 수신 안테나를 이용하여 수신하는 데이터 수신부, 상기 복수의 수신 안테나 각각에 대하여 수신 전력을 연산하고, 상기 수신 전력의 크기를 이용하여 상기 복수의 수신 안테나 중에서 일부 수신 안테나를 선택하는 안테나 선택부, 그리고 상기 선택된 수신 안테나가 각각 수신한 프리앰블과 기 설정된 상관 윈도우를 상호 상관 처리하여 최대 피크 값을 검출하고, 상기 최대 피크 값을 기준으로 일정 범위를 포함되는 영역에서 CDD 샘플 간격으로 상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시켜, 상기 상호 상관의 누적 값이 최대가 되는 시점을 검출하며 검출되는 시점에 상기 복수의 송신 안테나의 개수에 따른 최대 CDD 값을 더하여 최종 동기화 시점을 결정하는 동기화부를 포함한다.

발명의 효과

이와 같이 본 발명에 따르면 수신 안테나 별로 수신 신호의 전력을 측정하여 가용 안테나보다 적은 수의 안테나를 측정한 신호의 전력을 순서대로 선택함으로써 각 안테나마다 수행되는 동기부의 연산량을 줄일 수 있다.

또한 종래 기술에 따르면 MIMO-OFDM 시스템에서 멀티패스(multipath)의 영향으로 정확한 동기를 검출할 수 없었으나, 본 발명에 따르면 복수의 송신 안테나에 대하여 상호상관 값을 누적하여 동기화 시점을 결정한다는 점에서 멀티패스에서도 높은 정확성을 갖고 시간 동기화를 진행할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 종래 기술에 따른 MIMO-OFDM 시스템의 동기화 방법을 설명하기 위한 도면이다.

도 2는 일반적인 MIMO-OFDM 시스템의 전송 방식을 설명하기 위한 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템의 구성을 나타낸 도면이다.

도 4는 MIMO-OFDM 시스템을 통해 전송되는 데이터 스트림을 설명하기 위한 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 을 이용한 수신장치의 구성을 나타내는 도면이다.

도 6은 도 5에 따른 MIMO-OFDM 수신장치의 동작을 나타내는 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0036] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세하게 설명한다. 사용되는 용어들은 실시예에서의 기능을 고려하여 선택된 용어들로서, 그 용어의 의미는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 후술하는 실시예들에서 사용된 용어의 의미는, 본 명세서에 구체적으로 정의된 경우에는 그 정의에 따르며, 구체적인 정의가 없는 경우는 당업자들이 일반적으로 인식하는 의미로 해석되어야 할 것이다.
- [0037] 도 2는 일반적인 MIMO-OFDM 시스템의 전송 방식을 설명하기 위한 것으로, 2개의 송신 안테나(TX1, TX2)를 포함하는 송신장치가 CDD를 적용하여 각각 OFDM 심볼 데이터를 송신하는 경우를 예시한 것이다.
- [0038] 도 2에서 보는 것처럼, 송신 안테나(TX1)가 CDD 지연되지 않은 상태(CDD sample=0)에서 OFDM 심볼 데이터 스트림을 전송하는데 L-LTS는 64개의 심볼($S_0, S_1, S_2, S_3, \dots, S_{63}$)로 이루어져 있다. 그리고, 송신 안테나(TX2)가 2개의 심볼만큼 전방으로 CDD 쉬프트된 상태(CDD sample=-2)에서 OFDM 심볼 데이터 스트림을 전송하는 것을 예로 든 것이다.
- [0039] 상기와 같이 수신 장치는 2개의 송신 안테나(TX1, TX2)로부터 OFDM 심볼 데이터 스트림을 수신하면, 슬라이딩 윈도우에 포함된 파일럿 심볼($S_0, S_1, S_2, S_3, \dots, S_{63}$)을 수신된 신호와 상호 상관(cross-correlation window) 처리한다.
- [0040] 상호 상관 결과(cross-correlation output), 대응되는 OFDM 심볼의 시작점에서는 피크가 발생하게 된다. 즉, 다중 송신 안테나가 사용될 때, 각 송신 안테나(TX1, TX2)에서는 서로 다른 CDD가 적용되고, CDD로 인해 수신 안테나(RX1, RX2)와 상호 상관기를 통과한 신호에서는 CDD의 개수만큼 피크가 발생한다.
- [0041] 이와 같이, MIMO-OFDM 시스템에서는 CDD가 적용되므로 다수의 피크가 발생하고, 채널의 상태에 따라 피크의 크기가 달라지기 때문에 몇 번째 피크가 동기 시점이 되는지 알 수 없다는 점에서 시간 동기화에 어려움이 생긴다(Pseudo multipath problem). 즉, CDD가 적용된 샘플 위치에서 상호 상관 값의 피크가 발생하므로 동기 시점을 결정하기가 어렵게 된다.
- [0042] 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템의 구성을 나타낸 도면이고, 도 4는 MIMO-OFDM 시스템을 통해 전송되는 데이터 스트림을 설명하기 위한 도면이다. 도 3과 같이 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템은 OFDM 송신장치(100) 및 OFDM 수신장치(200)를 포함한다.
- [0043] 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 구성하는 OFDM 송신장치(100)와 OFDM 수신장치(200)는 각각 복수의 송신 안테나(TX1, TX2, ..., TXn)와 수신 안테나(RX1, RX2, ..., RXn)를 포함하고 있으며, OFDM 송신장치(100)는 서로 다른 채널(CH)을 통하여 순환 지연 다이버시티(CDD)가 적용된 OFDM 심볼 데이터를 OFDM 수신장치(200)로 송신한다.
- [0044] 이와 같이 CDD 적용되어 송신된 신호들은 각 수신 안테나(RX1, RX2, ..., RXn)들에 의해 혼합된 상태로 수신되며 OFDM 수신장치(200)는 채널 추정을 통해 혼합된 신호들로부터 송신된 신호들을 분리해낸다.
- [0045] 도 4에 나타난 데이터 스트림은 IEEE 802.11a 표준의 PPDU 포맷을 설명하기 위한 것이다. MIMO-OFDM 통신 시스템을 통해 전송되는 데이터 스트림은 도 4와 같이 레거시(Legacy) 프리앰블을 포함하는데, 레거시 프리앰블은 L-STF(Legacy short training field)와 L-LTF(Legacy long training field)를 포함하며 하위 호환성(backward compatibility)을 갖는다.
- [0046] 여기서, 프리앰블의 L-STF는 10개의 STS(short training symbol)들로 이루어져 있고(t_1 내지 t_{10}), L-LTF는 보호구간(GI1)과 2개의 LTS(long training symbol)들로 이루어져 있다(T_1 및 T_2). 또한 OFDM 수신장치(200)에 의한 시간 동기화는 레거시 프리앰블 구간에서 이루어진다.

[0047] 한편 송신 안테나(TX)와 수신 안테나(RX)는 최대 8개까지 구성될 수 있고, 각각의 안테나에서 전송되는 신호는 CDD 기법이 적용된다. CDD는 의도하지 않은 빔형성이 생성되는 것을 방지하고, 송신 안테나에 대한 다이버시티 이득을 얻을 수 있도록 해준다.

[0048] 예를 들어, i번째 송신 안테나가 δ_i 의 순환 지연(cyclic delay)을 가지면, 송신 안테나에서 전송되는 OFDM 심볼은 다음의 수학적 식 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 2

$$x_i(n) = \bar{x}_i(\text{mod}(n + \delta_i, N_{sc}))$$

[0049] 여기서, N_{sc} 는 부반송파(서브캐리어)의 개수이고, $\bar{x}_i(n)$ 은 CDD가 적용되기 전의 i번째 송신 안테나(TX)로부터 송신되는 OFDM 심볼, $x_i(n)$ 은 CDD가 적용된 i번째 송신 안테나(TX)로부터 송신되는 OFDM 심볼, $\text{mod}(a, b)$ 는 변조 함수를 나타낸다. 그리고 각각의 송신 안테나(TX)는 기 설정된 CDD 지연 값(Cyclic shift value)을 가진다. L-SFT와 L-LTF에 적용되는 송신 안테나 수(N_{TX}) 별 CDD 지연 값은 다음의 표 1과 같다.

표 1

Total number of TX antennas (N_{TX})	Cyclic shift for TX antenna i (ns)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
1	0							
2	0	-200						
3	0	-100	-200					
4	0	-50	-100	-150				
5	0	-175	-25	-50	-75			
6	0	-200	-25	-150	-175	-125		
7	0	-200	-150	-25	-175	-75	-50	
8	0	-175	-150	-125	-25	-100	-50	-200

[0051] 표 1에 나타난 것처럼, 송신 안테나의 개수(N_{TX})가 증가하면, 증가되는 송신 안테나의 개수에 대응하여 OFDM 심볼 데이터는 순환 지연되어 전송된다. 예를 들어 송신 안테나의 개수(N_{TX})가 3개인 경우, 0ns, 100ns, 200ns에 해당하는 시점에 심볼 데이터가 각각의 안테나로부터 멀티 패스 채널(multipath channel)을 통해 수신 안테나(RX)로 전송된다.

[0052] 또한, 표 1에 나타난 것처럼, 송신 안테나의 개수에 따라 CDD 샘플 간격이 서로 상이하다는 것을 알 수 있다. 예를 들어 송신 안테나가 3개이면 CDD 샘플 간격이 100ns이고, 송신 안테나가 4개이면 CDD 샘플 간격이 50ns이다.

[0053] 이하에서는 도 5 및 도 6을 통하여 OFDM 수신장치(200)가 복수의 수신 안테나 중 일부를 선택하고 CDD 지연되어 수신되는 OFDM 심볼 데이터를 동기화시키는 동작에 대하여 설명한다.

[0054] 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 을 이용한 수신장치의 구성을 나타내는 도면이다.

[0055] MIMO-OFDM 수신장치(200)는 본 발명의 실시예에 따른 MIMO-OFDM 시스템을 이용한 동기화 장치로서, 데이터 수신부(210), 안테나 선택부(220) 및 동기화부(230)를 포함한다.

[0056] 데이터 수신부(210)는 복수의 송신 안테나를 통하여 순환 지연(CDD)되어 전송된 OFDM 심볼을 복수의 수신 안테나를 이용하여 수신한다. 안테나 선택부(220)는 복수의 수신 안테나 각각에 대하여 수신 전력을 연산하고, 수

신 전력의 크기를 이용하여 상기 복수의 수신 안테나 중에서 일부 수신 안테나를 선택한다.

[0058] 동기화부(230)는 선택된 수신 안테나가 각각 수신한 프리앰블과 기 설정된 상관 윈도우를 상호 상관 처리하여 최대 피크 값을 검출하고, 상기 최대 피크 값을 기준으로 일정 범위를 포함되는 영역에서 CDD 샘플 간격으로 상기 복수의 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시켜, 상기 상호 상관의 누적 값이 최대가 되는 시점을 검출한다. 그리고, 검출되는 시점에 복수의 송신 안테나의 개수에 따른 최대 CDD 값을 더하여 최종 동기화 시점을 결정한다.

[0059] 도 6은 도 5에 따른 MIMO-OFDM 수신장치의 동작을 나타내는 순서도이다.

[0060] 먼저, OFDM 송신장치(100)가 복수의 송신 안테나를 이용하여 상기의 수학식 2와 같은 CDD 지연된 복수의 심볼 데이터를 수신 장치(200)로 전송하면, OFDM 수신장치(200)는 각각의 수신 안테나(RX1, RX2, ..., RXn)를 통하여 수학식 2와 같이 CDD되어 송신된 신호들이 혼합된 신호(y(n))를 수신한다(S610).

[0061] 즉, 수신 장치(200)의 j번째 수신 안테나(RX)로 수신되는 신호(y_j(n))는 다음의 수학식 3과 같이 모든 송신 안테나들에 백색 부가 가우시안 노이즈(Additive White Gaussian Noise, AWGN)이 더해진 신호의 합으로 표현된다.

수학식 3

$$y_j(n) = \sum_{i=0}^{N_{TX}-1} \sum_{l=0}^{L-1} h_{i,j}(l) x_i(n-l) + w_j(n)$$

[0062]

[0063] 여기서, h_{i,j}(l)은 i 번째 송신 안테나와 j 번째 수신 안테나 사이에 전달되는 l 번째 채널 응답 펄스이고, L은 채널 펄스 응답 펄스의 길이이고, w_j(n)은 AWGN을 나타낸다.

[0064] 그리고, 안테나 선택부(420)는 처리되는 연산량을 줄이기 위하여 복수의 수신 안테나(RX1, RX2, ..., RXn) 중에서 일부 수신 안테나를 선택한다(S620). 즉, 수신된 신호의 동기화를 위하여 각 수신 안테나마다 상호 상관 처리를 진행해야 하므로 그 계산 복잡도가 매우 크고 이로 인한 전력 소모가 매우 심각하다.

[0065] 따라서, 안테나 선택부(420)는 다음의 수학식 4 내지 6을 이용하여 전체 수신 안테나 중에서 일부만을 선택함으로써, 연산량 및 전력 소모를 줄이도록 한다. 특히 안테나 선택부(420)는 수학식 4 내지 6과 같이 신호 검출에 쓰이는 알고리즘 중 하나인 지연 후 상관 알고리즘(delay and correlate algorithm)을 이용한다.

수학식 4

$$\lambda_j(n) = \sum_{k=0}^{K-1} y_j(n+k) y_j^*(n+k+D)$$

[0066]

[0067] 여기서, λ_j(n) 는 지연(delay) 값(D)과 상관 윈도우 길이(K)를 가지는 자기상관의 결과 값이고, 지연(delay) 값(D)은 프리앰블의 반복 주기와 동일하다.

[0068] 그리고, 다음의 수학식 5를 이용하여 안테나 선택부(420)는 j 번째 수신 안테나의 수신 전력(ρ_j(n))을 연산한다.

수학식 5

$$\rho_j(n) = \sum_{k=0}^{K-1} |y_j(n+k+D)|^2$$

[0069]

수학식 6

$$\hat{\lambda}_j(n) = \frac{|\lambda_j(n)|^2}{\rho_j^2(n)}$$

[0070]

[0071] 여기서, $\hat{\lambda}_j(n)$ 는 [0,1] 사이의 값을 가지는 정규화된 자기 상관 결과(normalized Auto-correlation)이고, 기준값 이상의 값이 되면 패킷 수신이 시작된 것으로 판단한다.

[0072] 이와 같이, 각각의 수신 안테나(RX)는 수신 신호를 검출함과 동시에 M개의 샘플에 걸쳐 연산된 수신 신호의 전력을 누적한다. 즉, 수학식 5를 통해 연산한 각 수신 안테나의 수신 전력($\rho_j(n)$)을 M개의 샘플에 대하여 누적함으로써 수학식 7과 같은 M개의 샘플에 대한 누적 전력(P_j)를 획득한다.

수학식 7

$$P_j = \sum_{m=0}^{M-1} \rho_j(m)$$

[0073]

[0074] 이와 같은 방식으로 획득한 누적 전력(P_j)을 이용하여 누적 전력이 큰 순서대로 수신 안테나를 선택하게 되는데, 안테나 선택부(420)는 가용 수신 안테나 개수(N_{RT})보다 적은 Q개의 수신 안테나를 선택함으로써, 각 안테나마다 수행되는 동기화부(440)의 연산량을 줄일 수 있다.

수학식 8

$$\sigma_q \big|_{q \in Q} = F_{\downarrow}(P_j, Q)$$

[0075]

[0076] 여기서, $F_{\downarrow}(P_j, Q)$ 는 누적 전력(P_j)이 큰 순서대로 Q개의 수신 안테나를 선택하기 위한 함수이며, 안테나 선택부(420)는 가용 수신 안테나 개수(N_{RT}) 중에서 누적 전력(P_j)이 상위 일정 비율(%) 내에 포함되는 수

신 안테나를 선택할 수 있으며, 일정 비율 내에 포함되더라도 누적 전력(P_j)이 기준 값보다 적으면 선택하지 않을 수 있다.

[0077] 다음으로 동기화부(530)는 선택된 Q개의 수신 안테나로부터 신호 검출이 완료된 후, 수학식 7과 같이 각각의 선택된 수신 안테나를 통해 수신된 프리앰블의 L-LTF가 시작되는 시점부터 이미 알고 있는 상관 윈도우(L-LTS)를 이용하여 수학식 9와 같이 프리앰블의 상호 상관 값(cross-correlation)을 구하도록 한다(S630).

수학식 9

$$\varepsilon_{\sigma_q}(n) = \left| \sum_{k=0}^{K'-1} y_{\sigma_q}^*(n+k) s_{LTS}(k) \right|$$

[0078]

[0079] 여기서 $S_{LTS}(k)$ 는 이미 알고 있는 상관 윈도우(L-LTS)의 시간 도메인 값이며, K'는 상관 윈도우의 길이를 나타낸다.

[0080] 그리고, 수학식 9와 같이 각 수신 안테나가 수신한 프리앰블의 상호 상관 누적값을 구하면, 동기화부(530)는 수학식 10과 같이 Q개의 수신 안테나에서 계산된 상호 상관 값을 서로 누적한다(S640).

수학식 10

$$\varepsilon(n) = \sum_{q=0}^{Q-1} \varepsilon_{\sigma_q}(n)$$

[0081]

[0082] L-LTF는 2개의 동일한 LTS를 가지므로, 상호 상관 값은 도 3의 LTS T1과 T2가 시작하는 지점(t_{T1} , t_{T2})에서 피크가 발생한다. 이때 t_{T1} 에서 정확한 동기가 이루어진다면, t_{T2} 에서도 같은 위치에서 동기가 적용될 수 있다.

[0083] 동기화부(530)는 동기화 효율 향상을 위해서 상호 상관 값의 첫번째 피크 발생 시점(t_{T1}) 근처에 해당하는 $W=[t_{T1}-Lg, t_{T1}+Lg]$ 범위 내에서 수학식 11과 같이 상호 상관 합산 값($\varepsilon(w)$)이 최대가 되는 최대 피크 값(ε_f)을 검출한다(S650).

수학식 11

$$\varepsilon_f = \arg \max(\varepsilon(w) |_{w \in W})$$

[0084]

[0085] 다음으로, 동기화부(530)는 $W=[\varepsilon_f - 2CDD_{max}, \varepsilon_f + 2CDD_{max}]$ 의 윈도우 구간에서 수학식 12와 같이 CDD 샘플 간격으로 송신 안테나의 개수만큼 상호 상관 값을 누적시킨다(S660).

수학식 12

$$\varepsilon_p = \sum_{i=0}^{N_{TX}-1} \varepsilon(W_r + i \times CDD_{sample})$$

[0086]

[0087] 예를 들어, 최대 피크 값(ε_t)이 0이고, 안테나의 개수가 4개이면, 윈도우(W)의 범위는 표 1과 수학적 식 11에 의하여 [-300, 300]이 된다. 윈도우의 이동 간격 샘플이 1이라고 가정하면, 동기화부(530)는 수학적 식 12를 이용하여 W_r 이 -300일 때의 ε_p 값을 계산하고, 다시 윈도우를 1샘플 이동시켜 W_r 이 -299일 때의 ε_p 값을 계산한다. 이와 같이, 윈도우를 1샘플씩 이동시켜가면서 동기화부(530)는 W_r 이 300일 때까지의 ε_p 값을 계산하며, 총 601개의 누적 값(ε_p)이 산출된다.

[0088] 그리고, 복수의 누적 값(ε_p)이 산출되면, 동기화부(530)는 다음의 수학적 식 13과 같이 누적 값(ε_p)의 최대값(t_f)을 검출한다(S670).

수학적 식 13

$$t_f = \arg \max(\varepsilon_p(w) |_{w \in W_r})$$

[0090] 상기의 예에서 601개의 누적 값(ε_p)이 산출되면, 동기화부(530)는 601개의 누적 값(ε_p) 중에서 최대값이 되는 W_r 지점을 시간 동기 시점(t_f)으로 검출한다.

[0091] 즉, CDD 시점마다 상관 피크가 존재한다는 전제에서, 동기화부(530)는 시간 동기 시점(t_f)을 수학적 식 13과 같이 결정될 수 있다.

[0092] 송신 안테나별로 순환 지연(CDD) 값은 서로 다르지만, 원래 시간 동기 시점은 CDD 값이 0이기 때문에, 동기화부(530)는 수학적 식 14와 같이 CDD가 나타나는 범위에서 가장 마지막 피크 발생 지점이 최종 동기화 시점(t'_f)으로 결정한다(S680).

수학적 식 14

$$t'_f = t_f + CDD_{\max}$$

[0094] 즉, 동기화부(530)는 첫번째 샘플이 가장 오른쪽에 위치하므로, 수학적 식 14와 같이 시간 동기 시점(t_f)에 $CDD_{\max}$ 값을 더해줌으로써, 보정된 최종 시간 동기 시점(t'_f)을 획득할 수 있다.

[0095] 이와 같이 본 발명의 실시예에 따르면 수신 안테나 별로 수신 신호의 전력을 측정하여 가용 안테나보다 적은 수의 안테나를 측정한 신호의 전력을 순서대로 선택함으로써 각 안테나마다 수행되는 동기부의 연산량을 줄일 수 있다.

[0096] 또한 종래 기술에 따르면 MIMO-OFDM 시스템에서 멀티패스(multipath)의 영향으로 정확한 동기를 검출할 수 없었으나, 본 발명의 실시예에 따르면 복수의 송신 안테나에 대하여 상호상관 값을 누적하여 동기화 시점을 결정한다는 점에서 멀티패스에서도 높은 정확성을 갖고 시간 동기화를 진행할 수 있다.

[0097] 이상에서 본 발명은 도면을 참조하면서 기술되는 바람직한 실시예를 중심으로 설명되었지만 이에 한정되는 것은 아니다. 따라서 본 발명은 기재된 실시예로부터 도출 가능한 자명한 변형예를 포괄하도록 의도된 특허청구범위의 기재에 의해 해석되어야 한다.

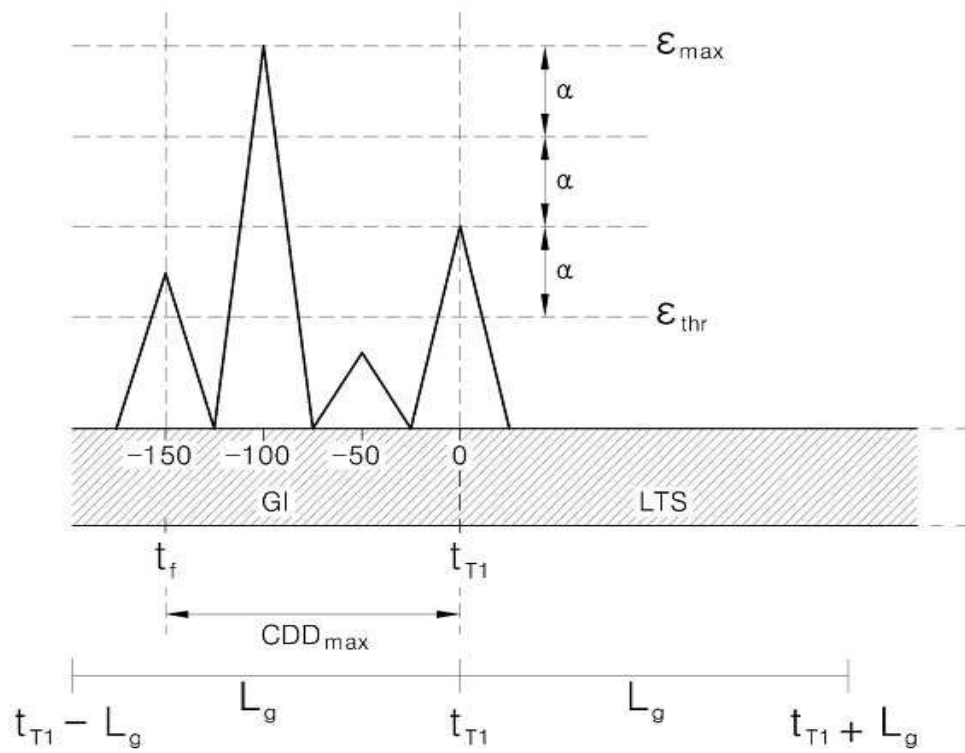
부호의 설명

[0098]

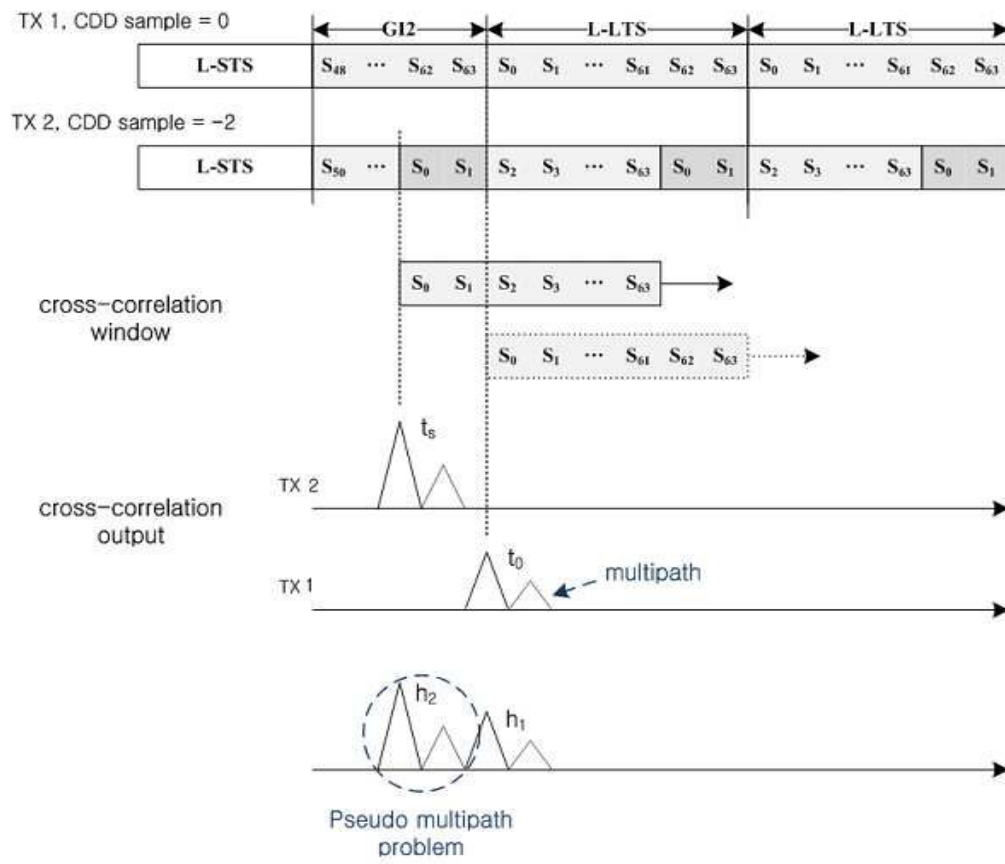
100 : OFDM 송신장치, 200 : OFDM 수신장치,
210 : 데이터 수신부, 220 : 안테나 선택부,
230 : 동기화부

도면

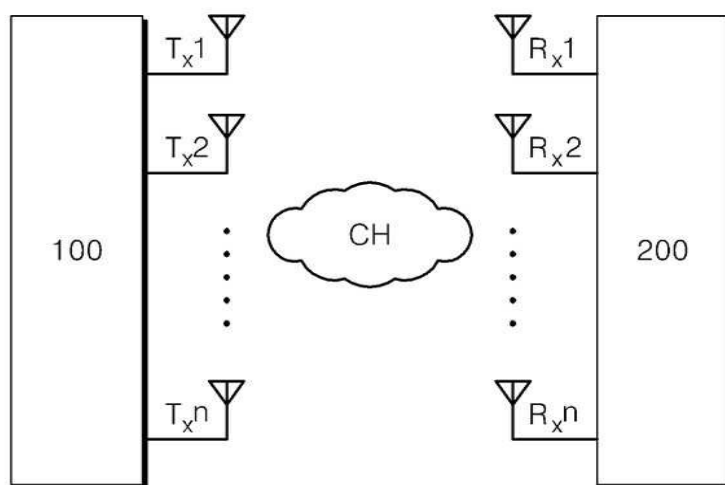
도면1



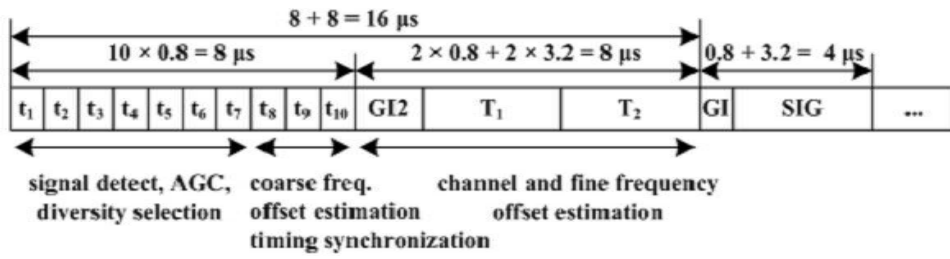
도면2



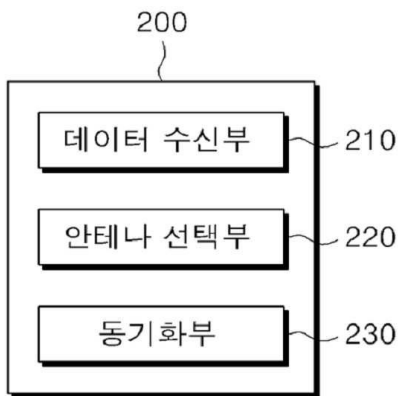
도면3



도면4



도면5



도면6

