(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2017년12월22일
(11) 등록번호 10-1811953
(24) 등록일자 2017년12월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04L 27/26 (2006.01) *H04L 25/02* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04L 27/2655 (2013.01)
H04L 25/0202 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2016-0111775
(22) 출원일자 2016년08월31일
심사청구일자 2016년08월31일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020130046713 A
KR1020130059788 A
Yong-An Jung et al., 'A robust SFO estimation scheme for OFDM-based DRM with Non-symmetric distributed pilots' Wireless Personal Communications 2016

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
유영환
서울특별시 송파구 동남로 225, 105동 302호 (가락동, 래미안파크팰리스)
정용안
서울특별시 서초구 방배중앙로5길 18-3, 2층 (방배동)
(74) 대리인
특허법인태백

전체 청구항 수 : 총 12 항 심사관 : 노상민

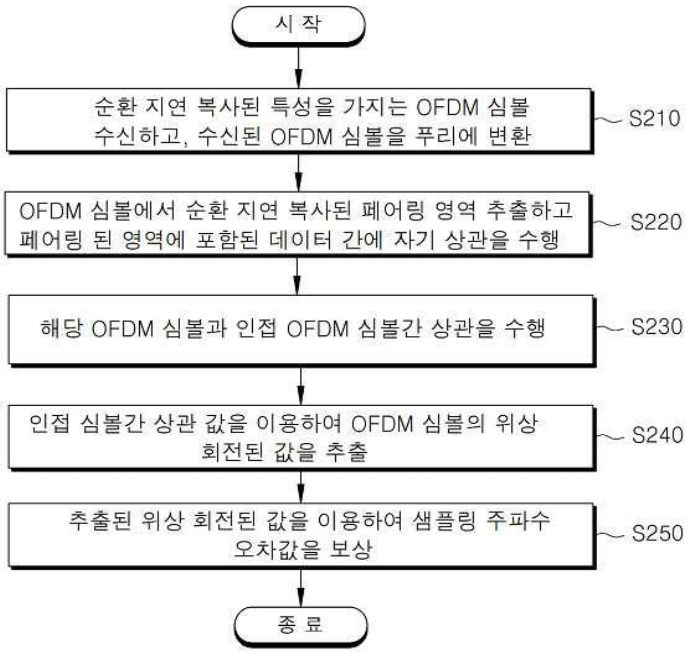
(54) 발명의 명칭 **OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 방법 및 그 장치**

(57) 요 약

본 발명은 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 방법 및 그 장치에 관한 것이다. 본 발명의 따르면 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 방법에 있어서, 순환 지연 복사된 특성을 가지는 적어도 하나의 OFDM 심볼을 수신하며, 수신된 OFDM 심볼을 푸리에 변환시키는 단계, 상기

(뒷면에 계속)

대 표 도 - 도2



OFDM 심볼에서 순환 지연 복사된 페어링 영역을 추출하고, 상기 페어링된 영역에 포함된 데이터 간에 자기 상관을 수행하는 단계, 상기 OFDM 심볼과 인접한 OFDM 심볼에 대하여 인접 심볼 간 상관을 수행하는 단계, 상기 인접 심볼 간 상관 값을 이용하여 상기 OFDM 심볼의 위상 회전된 값을 추출하는 단계, 그리고 상기 추출된 값을 이용하여 샘플링 주파수 오차값을 보상해주는 단계를 포함한다.

본 발명에 따르면, 순환 지연 복사된 특성을 갖는 데이터 심볼을 이용하여 2단계의 상관 함수를 거쳐 위상 회전된 값을 추정함으로써, 샘플링 주파수 동기화 오차값의 크기에 따른 영향을 적게 받기 때문에 기존의 기법에 비해 보다 넓은 샘플링 주파수 오차 추정 범위를 확보할 수 있다.

(52) CPC특허분류
H04L 27/2662 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2014R1A1A2057122
부처명 교육부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 이공학개인기초연구지원
연구과제명 차세대 통신 시스템을 위한 다중 부반송파 FTN 송수신 기술 개발
기 여 율 1/1
주관기관 세종대학교 산학협력단
연구기간 2016.05.01 ~ 2017.04.30
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 방법에 있어서,

순환 지연 복사된 특성을 가지는 적어도 하나의 OFDM 심볼을 수신하며, 수신된 OFDM 심볼을 고속 푸리에 변환시키는 단계,

상기 OFDM 심볼에서 순환 지연 복사된 페어링 영역을 추출하고, 상기 페어링된 영역에 포함된 데이터 간에 자기 상관을 수행하는 단계,

상기 OFDM 심볼과 인접한 OFDM 심볼에 대하여 인접 심볼 간 상관을 수행하는 단계,

상기 인접 심볼 간 상관 값을 이용하여 상기 OFDM 심볼의 위상 회전된 값을 추출하는 단계, 그리고

상기 추출된 값을 이용하여 샘플링 주파수 오차값을 보상해주는 단계를 포함하는 샘플링 주파수 오차 추정 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템은 Home Plug Green PHY 표준으로 high-speed ROBO mode를 사용하고,

상기 OFDM 심볼은 4개의 영역으로 나뉘는 경우, 첫번째 영역과 네번째 영역이 페어를 이루고, 두번째 영역과 세번째 영역이 페어를 이루도록 순환 지연 복사된 샘플링 주파수 오차 추정 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 데이터 간에 자기 상관하는 단계는,

다음의 자기 상관 함수에 대한 수학식을 이용하여 자기 상관을 수행하는 샘플링 주파수 오차 추정 방법:

$$\widehat{C_{l+m}}(k)=R_{l+m}^{*}(k)R_{l+m}(k+\frac{3}{4}K),\quad k=1,2,\ldots,\frac{1}{4}K,\ m=0,1$$

$$\widehat{D_{l+m}}(k)=R_{l+m}^{*}(k)R_{l+m}(k+\frac{1}{4}K),\quad k=\frac{1}{4}K+1,\ldots,\frac{1}{2}K,\ m=0,1$$

여기서, $\widehat{C_{l+m}}(k)$ 은 상기 OFDM 심볼의 첫번째 영역(1/4구간)과 네번째 영역(4/4 구간)의 자기 상관 값을 나타내고, $\widehat{D_{l+m}}(k)$ 는 상기 OFDM 심볼의 두번째 영역(2/4 구간)과 세번째 영역(3/4구간)의 자기 상관 값을 나타내며, K는 l번째 OFDM 심볼의 총 길이를 의미한다.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 인접 심볼간에 상관하는 단계는,

다음의 상관 함수에 대한 수학식을 이용하여 인접 심볼간 상관을 수행하는 샘플링 주파수 오차 추정 방법:

$$C(k) = \widetilde{C_l^*}(k)\widetilde{C_{l+1}^*}(k),\ k = 1,2,..,\frac{1}{4}K$$

$$D(k) = \widetilde{D_l^*}(k)\widetilde{D_{l+1}^*}(k),\ k = \frac{1}{4}K+1,..,\frac{1}{2}K$$

여기서, C(k)는 l번째 OFDM 심볼과 l+1번째 OFDM 심볼의 첫번째 영역(1/4구간) 및 네번째 영역(4/4 구간)의 자기 상관 값 간의 상관 값을 나타내고, D(k)는 l번째 OFDM 심볼과 l+1번째 OFDM 심볼의 두번째 영역(2/4 구간) 및 세번째 영역(3/4 구간)의 자기 상관 값 간의 상관 값을 나타낸다.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 위상 회전된 값을 추출하는 단계는,

다음의 수학식을 이용하여 구해진 상관 값을 통해 위상 회전된 값을 추출하는 샘플링 주파수 오차 추정 방법:

$$\widehat{\Delta_s} = \frac{1}{2}\left\{\frac{2N}{3\pi KN_u}\arg\left\{\sum_{k=1}^{K/4}C(k)\right\} + \frac{N}{\pi KN_u}\arg\left\{\sum_{k=K/4+1}^{K/2}D(k)\right\}\right\}$$

여기서, $\arg\{x\}$ 은 위상 회전된 복소수 x의 각도를 구하는 함수이고, K/4 는 상관 윈도우의 크기를 나타내며, $N_u = N + N_g$ 이며, N은 부반송파의 개수, N_g는 순환보호구간(Cyclic prefix)를 나타낸다.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 샘플링 주파수 오차값을 보상해주는 단계는,

아래의 수학식에 상기 추출된 OFDM 심볼의 위상 회전된 값($\widehat{\Delta_s}$)을 적용하여 샘플링 주파수 오차 값을 보상해주는 샘플링 주파수 오차 추정 방법:

$$R_l(k) = H_l(k)X_l(k)e^{j2\pi k\Delta_s(lN_u+N_g)/N}e^{j\pi(N-1)k\Delta_s/N} + Z_l(k)$$

여기서 $R_l(k)$ 는 l번째 OFDM 심볼의 k번째 부반송파에 실린 OFDM 심볼이고, $H_l(k)$는 채널 주파수 응답, $X_l(k)$는 송신 심볼, $Z_l(k)$ 는 백색 가우시안 잡음을 나타낸다.

청구항 7

OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 장치에 있어서,

순환 지연 복사된 특성을 가지는 적어도 하나의 OFDM 심볼을 수신하며, 수신된 OFDM 심볼을 고속 푸리에 변환시키는 푸리에 변환부,

상기 OFDM 심볼에서 순환 지연 복사된 페어링 영역을 추출하고, 상기 페어링된 영역 포함된 데이터 간에 자기 상관을 수행하는 자기 상관 처리부,

상기 OFDM 심볼과 인접한 OFDM 심볼에 대하여 인접 심볼 간 상관을 수행하는 심볼 상관 처리부,

상기 인접 심볼간 상관 값을 이용하여 상기 OFDM 심볼의 위상 회전된 값을 추정하는 주파수 오차 추정부, 그리고

상기 추출된 값을 이용하여 샘플링 주파수 오차값을 보상해주는 주파수 오차 보상부를 포함하는 샘플링 주파수 오차 추정 장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템은 Home Plug Green PHY 표준으로 high-speed ROBO mode를 사용하고,

상기 OFDM 심볼은 4개의 영역으로 나뉘는 경우, 첫번째 영역과 네번째 영역이 페어를 이루고, 두번째 영역과 세번째 영역이 페어를 이루도록 순환 지연 복사된 샘플링 주파수 오차 추정 장치.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 자기 상관 처리부는,

다음의 자기 상관 함수에 대한 수학식을 이용하여 자기 상관을 수행하는 샘플링 주파수 오차 추정 장치:

$$\widehat{C_{l+m}}(k)=R_{l+m}^{*}(k)R_{l+m}(k+\frac{3}{4}K),\quad k=1,2,...,\frac{1}{4}K,\ m=0,1$$

$$\widehat{D_{l+m}}(k)=R_{l+m}^{*}(k)R_{l+m}(k+\frac{1}{4}K),\quad k=\frac{1}{4}K+1,...,\frac{1}{2}K,\ m=0,1$$

여기서, $\widehat{C_{l+m}}(k)$ 은 상기 OFDM 심볼의 첫번째 영역(1/4구간)과 네번째 영역(4/4 구간)의 자기 상관 값을 나타내고, $\widehat{D_{l+m}}(k)$ 는 상기 OFDM 심볼의 두번째 영역(2/4 구간)과 세번째 영역(3/4구간)의 자기 상관 값을 나타내며, K는 l번째 OFDM 심볼의 총 길이를 의미한다.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 심볼 상관 처리부는,

다음의 상관 함수에 대한 수학식을 이용하여 인접 심볼간 상관을 수행하는 샘플링 주파수 오차 추정 장치:

$$C(k)=\widehat{C_{l}^{*}}(k)\widehat{C_{l+1}^{*}}(k),\ k=1,2,...,\frac{1}{4}K$$

$$D(k)=\widehat{D_{l}^{*}}(k)\widehat{D_{l+1}^{*}}(k),\ k=\frac{1}{4}K+1,...,\frac{1}{2}K$$

여기서, C(k)는 l번째 OFDM 심볼과 l+1번째 OFDM 심볼의 첫번째 영역(1/4구간) 및 네번째 영역(4/4 구간)의 자기 상관 값 간의 상관 값을 나타내고, D(k)는 l번째 OFDM 심볼과 l+1번째 OFDM 심볼의 두번째 영역(2/4 구간) 및 세번째 영역(3/4 구간)의 자기 상관 값 간의 상관 값을 나타낸다.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 주파수 오차 추정부는,

다음의 수학식을 이용하여 구해진 상관 값을 통해 위상 회전된 값을 추출하는 샘플링 주파수 오차 추정 장치:

$$\widehat{\Delta_s}=\frac{1}{2}\left\{\frac{2N}{3\pi KN_u}\arg\left\{\sum_{k=1}^{K/4}C(k)\right\}+\frac{N}{\pi KN_u}\arg\left\{\sum_{k=K/4+1}^{K/2}D(k)\right\}\right\}$$

여기서, $\arg\{x\}$ 은 위상 회전된 복소수 x의 각도를 구하는 함수이고, K/4 는 상관 윈도우의 크기를 나타내며, $N_u=N+N_g$ 이며, N은 부반송파의 개수, N_g는 순환보호구간(Cyclic prefix)를 나타낸다.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 주파수 오차 보상부는,

아래의 수학식에 상기 추출된 OFDM 심볼의 위상 회전된 값($\widehat{\Delta_s}$)을 적용하여 샘플링 주파수 오차 값을 보상해주는 샘플링 주파수 오차 추정 장치:

$$R_l(k) = H_l(k)X_l(k)e^{j2\pi k\Delta_s(lN_u+N_g)/N}e^{j\pi(N-1)k\Delta_s/N} + Z_l(k)$$

여기서 $R_l(k)$ 는 l번째 OFDM 심볼의 k번째 부반송파에 실린 OFDM 심볼이고, $H_l(k)$는 채널 주파수 응답, $X_l(k)$는 송신 심볼, $Z_l(k)$ 는 백색 가우시안 잡음을 나타낸다.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 방법 및 그 장치에 관한 것으로, 보다 상세하게는 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템에서 샘플링 주파수 동기화 오차를 추정하여 해당 오차 값을 보정하는 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 방법 및 그 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 전력선 통신(PLC: Power Line Communication)은 별도의 통신선로 없이 전원 라인을 이용하여 전원 공급과 데이터 전송을 함께 수행할 수 있는 통신 방식을 의미한다.

[0003] 최근 정보통신 기술의 발전이 이루어지면서 고속의 데이터 통신의 필요성이 강조되고 있는 상황에서 전력선 통신은 기존의 전력 공급을 위해 설계되었던 전력선을 통신 매개체로 사용함으로써 별도의 설치비용이 들지 않는다는 점에서 최고의 해결책으로 각광받고 있다.

[0004] 하지만, 현재 구축되어있는 전력선은 애초에 통신을 위한 용도가 아닌 전력 공급을 위해 설계되었기 때문에 고속의 데이터 통신 용도로 사용하기엔 매우 열악한 실정이다. 전력선을 이용하여 통신을 할 경우 가정 내의 디지털 정보가전 및 전자 제품에 의한 전자기적인 외부 간섭의 영향 및 전력선 채널잡음 환경을 고려해야 하며, 다중경로 채널 현상에 의한 주파수 선택적 페이딩 채널, 임펄스 잡음 등에 강인하도록 해야 한다.

[0005] 이를 해결하기 위해서 현재 무선 통신 시스템환경에서 채택하여 사용하고 있는 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 방식을 전력선 통신에서 사용하는 기술이 필요하다. OFDM 기반의 전송 시스템은 상호 직교성을 갖는 복수의 반송파를 사용하기 때문에 수신기에서 샘플링 주파수 동기화 오차가 완벽하게 추정 및 보상이 이루어지지 않고 FFT를 통과할 경우 부반송파들 간의 직교성이 깨지게 되어 부반송파간의 간섭(ICI:inter-carrier interference)을 발생시키게 된다. 이러한 부반송파간의 간섭은 신호대 잡음비(SNR)의 저하를 포함하여 신호의 왜곡을 일으키게 되어 심각한 성능 저하를 일으키게 된다.

[0006] 따라서 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템에서 신뢰성 있고 효율적인 통신을 위해서 올바른 샘플링 주파수 동기화 오차를 정확하게 추정하고 오차 값을 보상해주는 기술이 요구된다.

[0007] 본 발명의 배경이 되는 기술은 대한민국 국내등록특허 제10-0719112호(2007.05.17 공고)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템에서 샘플링 주파수 동기화 오차를 추정하여 해당 오차 값을 보정하는 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 방법 및 그 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 이러한 기술적 과제를 이루기 위한 본 발명의 실시예에 따르면, OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 방법에 있어서, 순환 지연 복사된 특성을 가지는 적어도 하나의 OFDM 심볼을 수신하며, 수신된 OFDM 심볼을 푸리에 변환시키는 단계, 상기 OFDM 심볼에서 순환 지연 복사된 페어링 영역을 추출하고, 상기 페어링된 영역에 포함된 데이터 간에 자기 상관을 수행하는 단계, 상기 OFDM 심볼과 인접한 OFDM 심볼에 대하여 인접 심볼 간 상관을 수행하는 단계, 상기 인접 심볼 간 상관 값을 이용하여 상기 OFDM 심볼의 위상 회전된 값을 추출하는 단계, 그리고 상기 추출된 값을 이용하여 샘플링 주파수 오차값을 보상해주는 단계를 포함한다.

[0010] 상기 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템은 Home Plug Green PHY 표준으로 high-speed ROBO mode를 사용하고, 상기 OFDM 심볼은 4개의 영역으로 나뉘는 경우, 첫번째 영역과 네번째 영역이 페어를 이루고, 두번째 영역과 세번째 영역이 페어를 이루도록 순환 지연 복사될 수 있다.

[0011] 상기 데이터 간에 자기 상관하는 단계는, 다음의 자기 상관 함수에 대한 수학식을 이용하여 자기 상관을 수행할 수 있다.

$$\widehat{C_{l+m}}(k)=R_{l+m}^{*}(k)R_{l+m}(k+\frac{3}{4}K),\quad k=1,2,\ldots,\frac{1}{4}K,\ m=0,1$$

[0012]
$$\widehat{D_{l+m}}(k)=R_{l+m}^{*}(k)R_{l+m}(k+\frac{1}{4}K),\quad k=\frac{1}{4}K+1,\ldots,\frac{1}{2}K,\ m=0,1$$

[0013] 여기서, $\widehat{C_{l+m}}(k)$ 은 상기 OFDM 심볼의 첫번째 영역(1/4구간)과 네번째 영역(4/4 구간)의 자기 상관 값을 나타내고, $\widehat{D_{l+m}}(k)$ 는 상기 OFDM 심볼의 두번째 영역(2/4 구간)과 세번째 영역(3/4구간)의 자기 상관 값을 나타내며, K는 l번째 OFDM 심볼의 총 길이를 의미한다.

[0014] 상기 인접 심볼간에 상관하는 단계는, 다음의 상관 함수에 대한 수학식을 이용하여 인접 심볼간 상관을 수행할 수 있다.

$$C(k)=\widehat{C_{l}^{*}}(k)\widehat{C_{l+1}^{*}}(k),\ k=1,2,\ldots,\frac{1}{4}K$$

[0015]
$$D(k)=\widehat{D_{l}^{*}}(k)\widehat{D_{l+1}^{*}}(k),\ k=\frac{1}{4}K+1,\ldots,\frac{1}{2}K$$

[0016] 여기서, C(k)는 l번째 OFDM 심볼과 l+1번째 OFDM 심볼의 첫번째 영역(1/4구간) 및 네번째 영역(4/4 구간)의 자기 상관 값 간의 상관 값을 나타내고, D(k)는 l번째 OFDM 심볼과 l+1번째 OFDM 심볼의 두번째 영역(2/4 구간) 및 세번째 영역(3/4 구간)의 자기 상관 값 간의 상관 값을 나타낸다.

[0017] 상기 위상 회전된 값을 추출하는 단계는 다음의 수학식을 이용하여 구해진 상관 값을 통해 위상 회전된 값을 추출할 수 있다.

[0018]
$$\widehat{\Delta_s}=\frac{1}{2}\left\{\frac{2N}{3\pi KN_u}\arg\left\{\sum_{k=1}^{K/4}C(k)\right\}+\frac{N}{\pi KN_u}\arg\left\{\sum_{k=K/4+1}^{K/2}D(k)\right\}\right\}$$

[0019] 여기서, $\arg\{x\}$ 은 위상 회전된 복소수 x의 각도를 구하는 함수이고, K/4 는 상관 윈도우의 크기를 나타내며, $N_u=N+N_g$ 이며, N은 부반송파의 개수, N_g는 순환보호구간(Cyclic prefix)를 나타낸다.

[0020] 상기 샘플링 주파수 오차값을 보상해주는 단계는 아래의 수학식에 상기 추출된 OFDM 심볼의 위상 회전된 값($\widehat{\Delta_s}$)을 적용하여 샘플링 주파수 오차 값을 보상해줄 수 있다.

[0021] $$R_l(k) = H_l(k)X_l(k)e^{j2\pi k\Delta_s(lN_u+N_g)/N}e^{j\pi(N-1)k\Delta_s/N} + Z_l(k)$$

[0022] 여기서 $R_l(k)$ 는 l번째 OFDM 심볼의 k번째 부반송파에 실린 OFDM 심볼이고, $H_l(k)$는 채널 주파수 응답, $X_l(k)$는 송신 심볼, $Z_l(k)$ 는 백색 가우시안 잡음을 나타낸다.

[0023] 본 발명의 다른 실시예에 따르면 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 장치에 있어서, 샘플링 주파수 오차 추정 장치는 순환 지연 복사된 특성을 가지는 적어도 하나의 OFDM 심볼을 수신하며, 수신된 OFDM 심볼을 푸리에 변환시키는 푸리에 변환부, 상기 OFDM 심볼에서 순환 지연 복사된 페어링 영역을 추출하고, 상기 페어링된 영역 포함된 데이터 간에 자기 상관을 수행하는 자기 상관 처리부, 상기 OFDM 심볼과 인접한 OFDM 심볼에 대하여 인접 심볼 간 상관을 수행하는 심볼 상관 처리부, 상기 인접 심볼간 상관 값을 이용하여 상기 OFDM 심볼의 위상 회전된 값을 추정하는 주파수 오차 추정부, 그리고 상기 추출된 값을 이용하여 샘플링 주파수 오차값을 보상해주는 주파수 오차 보상부를 포함한다.

발명의 효과

[0024] 본 발명에 따르면, 순환 지연 복사된 특성을 갖는 데이터 심볼을 이용하여 2단계의 상관 함수를 거쳐 위상 회전된 값을 추정함으로써, 샘플링 주파수 동기화 오차값의 크기에 따른 영향을 적게 받기 때문에 기존의 기법에 비해, 보다 넓은 샘플링 주파수 오차 추정 범위를 확보할 수 있다.

[0025] 즉, 기존의 오차 추정 기법으로는 샘플링 주차수 동기화 오차 값이 15ppm 이상으로 클 경우 오차 값을 명확하게 추정할 수 없지만, 본 발명에 따른 샘플링 주파수 동기화 오차 추정 기법은 50ppm이상의 오차 값이 발생한 경우에도 명확하게 추정할 수 있다.

[0026] 그리고 본 발명에 따르면 별도의 훈련 심볼이나 파일럿등을 이용하지 않고도 수신된 데이터 심볼을 이용하여 샘플링 주파수 동기화 오차를 명확하게 추정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0027] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 장치를 나타낸 구성도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 방법을 나타낸 순서도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 순환 지연 복사 특성을 가지는 OFDM 심볼의 구조를 나타낸 예시도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 방법과 기존 방법의 SNR(Signal to Noise Ratio) 대비 MSE 성능을 비교한 그래프이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 방법과 기존 방법의 SFO(sampling frequency offset) 대비 MSE 성능을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 아래에서는 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

[0029] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0030] 그러면 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다.

[0031] 본 발명의 실시예에 따른 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템은 송신장치의 ROBO Interleaver를 거친 이후 순환 지연 복사된 데이터 심볼의 특성을 이용한 샘플링 주파수 동기화 오차 추정 기법을 제안한다.

[0032] 여기서, 송신장치는 채널 환경에 강인하게 하기 위해 ROBO-Interleaver를 거치면서 순환 지연 복사된 데이터 심

볼을 생성한다.

[0033] 또한, 본 발명의 실시예에 따른 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템은 HomePlug Green PHY 표준을 따르며, mini-ROBO mode, High-speed ROBO mode, standard ROBO mode 중에서 high-speed ROBO mode를 사용하여 데이터를 송신한다.

[0034] 한편, 본 발명의 실시예에 따른 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템의 수신 장치는 샘플링 주파수 오차 추정 장치와 동일한 기능을 수행하는 장치로서, 이하에서는 설명의 편의상 "샘플링 주파수 오차 추정 장치"로 명명한다.

[0035] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 장치를 나타낸 구성도이다.

[0036] 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 푸리에 변환부(110), 자기 상관 처리부(120), 심볼 상관 처리부(130), 주파수 오차 추정부(140), 주파수 오차 보상부(150)를 포함한다.

[0037] 먼저, 푸리에 변환부(110)는 순환 지연 복사된 특성을 가지는 적어도 하나의 OFDM 심볼을 수신하며, 수신된 OFDM 심볼을 고속 푸리에 변환(FFT: Fast Fourier Transform)시킨다.

[0038] 그리고 자기 상관 처리부(120)는 OFDM 심볼에서 순환 지연 복사된 페어링 영역을 추출하고, 상기 페어링된 영역 포함된 데이터 간에 자기 상관을 수행한다. 자기 상관 처리부(120)는 데이터 심볼간의 영향을 없애기 위해서 자기 상관을 수행한다.

[0039] 심볼 상관 처리부(130)는 해당 OFDM 심볼과 인접한 OFDM 심볼에 대하여 인접 심볼 간 상관을 수행한다. 심볼 상관 처리부(130)는 채널의 영향을 없애기 위해 인접 심볼 간 상관을 수행한다.

[0040] 주파수 오차 추정부(140)는 인접 심볼간 상관 값을 이용하여 OFDM 심볼의 위상 회전된 값을 추정한다.

[0041] 주파수 오차 보상부(150)는 추출된 값을 이용하여 샘플링 주파수 오차값을 보상한다.

[0042] 이하에서는 도 2 및 도 3을 이용하여 본 발명의 실시예에 따른 OFDM 기반의 전력선 통신 시스템을 이용한 샘플링 주파수 오차 추정 방법을 설명한다.

[0043] 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 방법을 나타낸 순서도이고, 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 순환 지연 복사 특성을 가지는 OFDM 심볼의 구조를 나타낸 예시도이다.

[0044] 먼저, 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 순환 지연 복사된 특성을 가지는 적어도 하나의 OFDM 심볼을 송신 장치(미도시함)로부터 수신하며, 수신된 OFDM 심볼을 고속 푸리에 변환시킨다(S210).

[0045] 본 발명의 실시예에 따른 전력선 통신 시스템은 HomePlug Green PHY 표준을 따르며, high-speed ROBO mode를 사용하여 데이터를 송신할 경우 l번째 OFDM 심볼은 도 3과 같은 순환 지연 복사된 특성을 갖게 된다.

[0046] 도 3에서와 같이, OFDM 심볼은 총 길이는 K인 것으로 가정하며, 크게 4개의 영역으로 나누어진다. 여기서, 첫번째 영역과 네번째 영역이 페어를 이루고, 두번째 영역과 세번째 영역이 페어를 이루도록 순환 지연 복사된다.

[0047] 즉, OFDM 심볼은 첫번째 영역의 데이터와 네번째 영역의 데이터가 동일하며, 두번째 영역의 데이터와 세번째 영역의 데이터가 동일하도록 순환 지역 복사된 특징을 가진다.

[0048] 그리고 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 OFDM 심볼에서 순환 지연 복사된 페어링 영역을 추출하고, 페어링된 영역에 포함된 데이터 간에 자기 상관을 수행한다(S220).

[0049] 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 하나의 OFDM 심볼에서 순환 지연 복사된 동일한 페어링된 영역을 추출하고, 페어링된 영역간에 다음의 자기 상관 함수에 대한 수학식 1을 이용하여 자기 상관을 수행한다.

수학식 1

$$\overline{C_{l+m}}(k) = R^{*}_{l+m}(k) R_{l+m}(k+\frac{3}{4}K), \quad k = 1,2,\ldots,\frac{1}{4}K,\ m = 0,1$$

[0050]

$$\overline{D_{l+m}}(k) = R^{*}_{l+m}(k) R_{l+m}(k+\frac{1}{4}K), \quad k = \frac{1}{4}K+1,\ldots,\frac{1}{2}K,\ m = 0,1$$

[0051] 여기서, $\widehat{C_{l+m}}(k)$ 은 OFDM 심볼의 첫번째 영역(1/4구간)과 네번째 영역(4/4 구간)의 자기 상관 값을 나타내고, $\widehat{D_{l+m}}(k)$ 는 OFDM 심볼의 두번째 영역(2/4 구간)과 세번째 영역(3/4구간)의 자기 상관 값을 나타내며, $R_{l+m}(k)$ 는 l+m번째 OFDM 심볼의 k번째 부반송파에 실린 OFDM 심볼을 나타내고, K는 l번째 OFDM 심볼의 총 길이를 의미한다.

[0052] 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 수학식 1에서 m=0일 때에는 해당하는 l번째 OFDM 심볼의 페어링된 영역간의 자기 상관 값을 구할 수 있고, m=1일 때는 인접한 l+1번째 OFDM 심볼의 페어링된 영역간의 자기 상관 값을 구할 수 있다.

[0053] 다음으로, 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 해당 OFDM 심볼과 인접한 OFDM 심볼에 대하여 인접 심볼 간 상관을 수행한다(S230).

[0054] 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 다음의 상관 함수에 대한 수학식 2을 이용하여 인접 심볼간 상관을 수행한다.

수학식 2

[0055]
$$C(k)=\widehat{C_l^*}(k)\widehat{C_{l+1}^*}(k),\ k=1,2,\ldots,\frac{1}{4}K$$

$$D(k)=\widehat{D_l^*}(k)\widehat{D_{l+1}^*}(k),\ k=\frac{1}{4}K+1,\ldots,\frac{1}{2}K$$

[0056] 여기서, C(k)는 l번째 OFDM 심볼과 l+1번째 OFDM 심볼의 첫번째 영역(1/4구간) 및 네번째 영역(4/4 구간)의 자기 상관 값 간의 상관 값을 나타내고, D(k)는 l번째 OFDM 심볼과 l+1번째 OFDM 심볼의 두번째 영역(2/4 구간) 및 세번째 영역(3/4 구간)의 자기 상관 값 간의 상관 값을 나타낸다.

[0057] 즉, 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 S220 단계에서 연산한 OFDM 심볼의 자기 상관 값을 이용하여 인접한 심볼간의 상관을 수행한다.

[0058] 그리고 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 인접 심볼 간 상관 값을 이용하여 상기 OFDM 심볼의 위상 회전된 값을 추출한다(S240).

[0059] 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 다음의 수학식 3을 이용하여 구해진 상관 값을 통해 위상 회전된 값을 추출한다.

수학식 3

[0060]
$$\widehat{\Delta_s}=\frac{1}{2}\left\{\frac{2N}{3\pi KN_u}\arg\left\{\sum_{k=1}^{K/4}C(k)\right\}+\frac{N}{\pi KN_u}\arg\left\{\sum_{k=K/4+1}^{K/2}D(k)\right\}\right\}$$

[0061] 여기서, $\arg\{x\}$ 은 위상 회전된 복소수 x의 각도를 구하는 함수이고, K/4 는 상관 윈도우의 크기를 나타내며, $N_u=N+N_g$ 이며, N은 부반송파의 개수, N_g는 순환보호구간(Cyclic prefix)를 나타낸다.

[0062] 다음으로, 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 추출된 값을 이용하여 샘플링 주파수 오차 값을 보상한다(S250).

[0063] 먼저, 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 수신 심볼($R_l(k)$)을 수학식 4와 같이 나타낼 수 있다.

수학식 4

[0064] $$R_l(k) = H_l(k)X_l(k)e^{j2\pi k\Delta_s(lN_u+N_g)/N}e^{j\pi(N-1)k\Delta_s/N} + Z_l(k)$$

[0065] 여기서 $R_l(k)$ 는 l번째 OFDM 심볼의 k번째 부반송파에 실린 OFDM 심볼이고, $H_l(k)$는 채널 주파수 응답, $X_l(k)$는 송신 심볼, $Z_l(k)$ 는 백색 가우시안 잡음을 나타낸다

[0066] 이때, $H_l(k)$는 평균이 0이고 분산이 σ_H^2인 채널의 주파수 응답을 나타내며, $Z_l(k)$는 l번째 심볼 구간 동안 평균이 0이고 분산이 σ_Z^2인 백색 가우시안 잡음(AWGN: Additive white Gaussian noise)를 나타낸다.

[0067] 수학식 4를 보면, 수신 심볼($R_l(k)$)은 샘플링 주파수 오차의 영향을 받아 지수 부분($e^{j2\pi k\Delta_s(lN_u+N_g)/N}e^{j\pi(N-1)k\Delta_s/N}$)이 생성된다. 그러므로 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 해당 지수부분을 상쇄하여 샘플링 주파수 오차를 보상해준다.

[0068] 즉, 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 S320 단계에서 $X_l(k)$의 영향을 없애기 위해 수학식 1을 이용하여 자기상관하고, S330 단계에서 $H_l(k)$의 영향을 없애기 위해 수학식 2를 이용하여 인접 OFDM 심볼간의 상관한다.

[0069] 그리고 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 S340 단계에서 인접 OFDM 심볼간의 상관 값을 이용한 수학식 3을 통해 샘플링 주파수 오차값($\widehat{\Delta_s}$)을 추정한다.

[0070] 샘플링 주파수 오차 추정 장치(100)는 추출된 OFDM 심볼의 위상 회전된 값인 샘플링 주파수 오차 값($\widehat{\Delta_s}$)을 수학식 4의 지수부분에 적용하여 해당 지수부분을 상쇄하여 오차값을 보상해줄 수 있다.

[0071] 이하에서는 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 방법과 기존의 방법간에 비교를 통해 MSE(mean square error) 성능을 설명한다.

[0072] 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 방법과 기존 방법의 SNR(Signal to Noise Ratio)대비 MSE 성능을 비교한 그래프이다. 도 5는 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 오차 추정 방법과 기존 방법의 SFO (sampling frequency offset)대비 MSE 성능을 비교한 그래프이다.

[0073] 먼저, 도 4 및 도 5는 2~28MHz 대역을 사용하는 OFDM 시스템이며, FFT 크기는 N=3072, N_g= 417, Δ_s=20ppm, OFDM 심볼 길이 K=916 이며, 도 4 (a)와 도 5 (a)는 PLC 채널 모델 class 1인 채널 환경을 도 4 (b) 와 도 5 (b)는 PLC 채널 모델 class 1인 채널 환경인 조건에서 수행된 결과를 나타낸 그래프이다.

[0074] 도 4를 보면, 기존의 방법(Conventional B)와 본 발명에서 제안하는 방법(Proposed)이 유사하게 좋은 성능이 나타나는 것을 알 수 있다.

[0075] 그리고 도 5는 SNR 값이 60dB인 경우, 기존의 방법과 본 발명에서 제안된 방법의 SFO 대비 MSE를 나타낸다.

[0076] 도 5를 보면, 기존의 방법(Conventional A, Conventional B)이 본 발명에서 제안된 방법(Proposed)보다 SFO의 수집 범위에 대해 보다 강하게 민감하다는 것을 알 수 있다. 즉, 본 발명에서 제안한 방법(Proposed)은 SFO의 수집 범위에 상관없이 일정한 성능을 확보할 수 있다.

[0077] 즉, 도 4 및 도 5의 그래프를 보면, 본 발명에서 제안하는 샘플링 주파수 오차 추정 방법이 기본의 기법보다 좋은 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다.

[0078] 이와 같이 본 발명의 실시예에 따르면, 순환 지연 복사된 특성을 갖는 데이터 심볼을 이용하여 2단계의 상관 함수를 거쳐 위상 회전된 값을 추정함으로써, 샘플링 주파수 동기화 오차값의 크기에 따른 영향을 적게 받기 때문

에 기존의 기법에 비해 보다 넓은 샘플링 주파수 오차 추정 범위를 확보할 수 있다.

[0079] 즉, 기존의 오차 추정 기법으로는 샘플링 주차수 동기화 오차 값이 15ppm 이상으로 클 경우 오차 값을 명확하게 추정할 수 없지만, 본 발명의 실시예에 따른 샘플링 주파수 동기화 오차 추정 기법은 50ppm이상의 오차 값이 발생한 경우에도 명확하게 추정할 수 있다.

[0080] 그리고 본 발명의 실시예에 따르면, 별도의 훈련 심볼이나 파일럿등을 이용하지 않고도 수신된 데이터 심볼을 이용하여 샘플링 주파수 동기화 오차를 명확하게 추정할 수 있다.

[0081] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서, 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

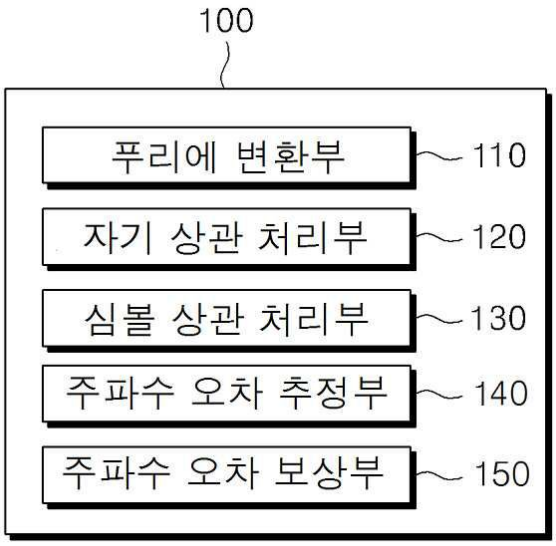
[0082] 100: 샘플링 주파수 오차 추정 장치 110: 푸리에 변환부

120: 자기 상관 처리부 130: 심볼 상관 처리부

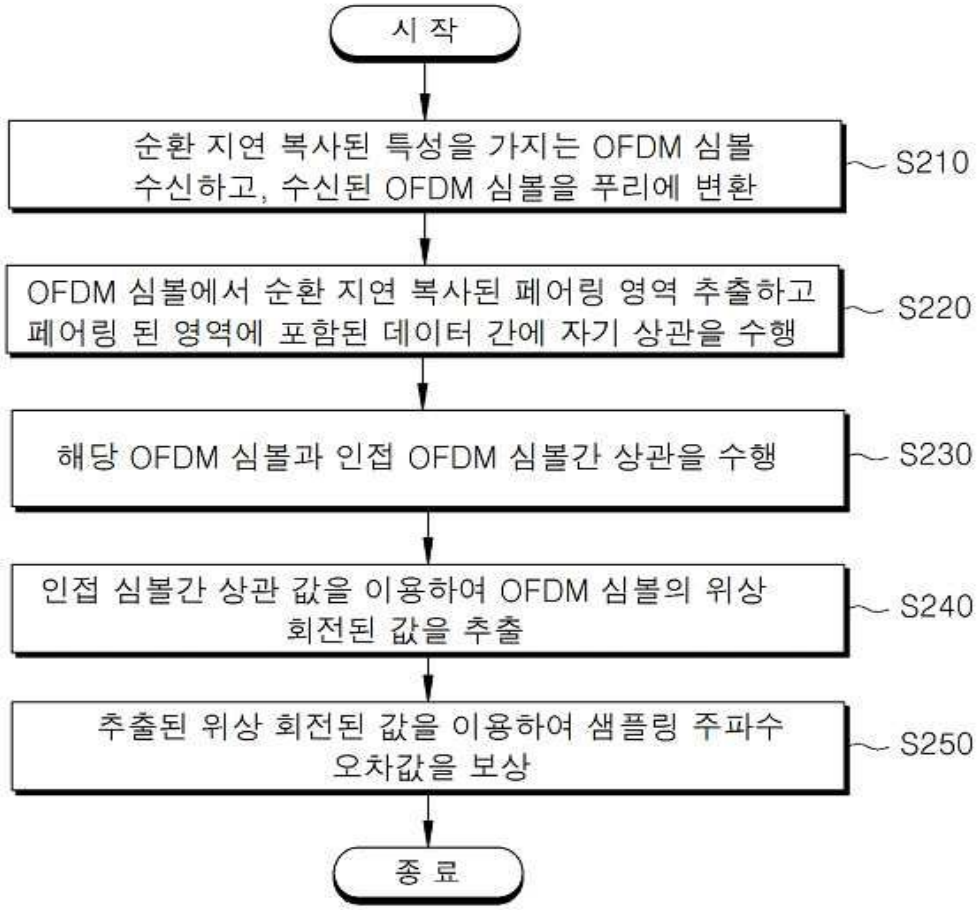
140: 주파수 오차 추정부 150: 주파수 오차 보상부

도면

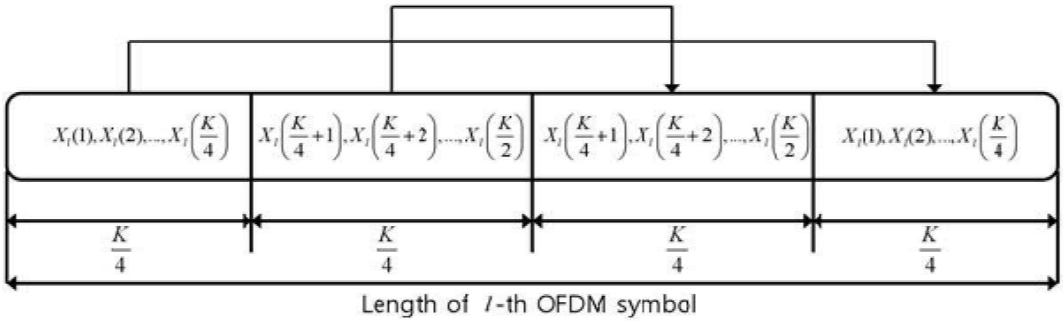
도면1



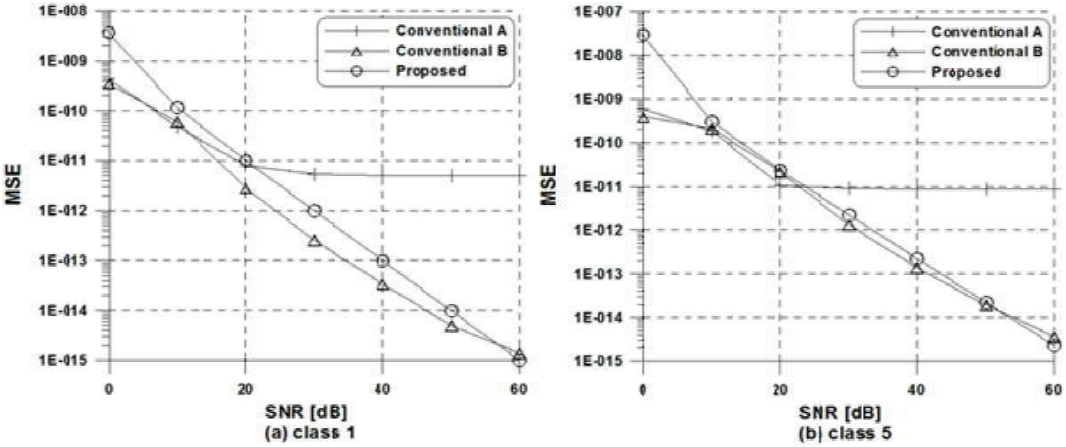
도면2


시 작
순환 지연 복사된 특성을 가지는 OFDM 심볼 수신하고, 수신된 OFDM 심볼을 푸리에 변환
S210
OFDM 심볼에서 순환 지연 복사된 페어링 영역 추출하고 페어링 된 영역에 포함된 데이터 간에 자기 상관을 수행
S220
해당 OFDM 심볼과 인접 OFDM 심볼간 상관을 수행
S230
인접 심볼간 상관 값을 이용하여 OFDM 심볼의 위상 회전된 값을 추출
S240
추출된 위상 회전된 값을 이용하여 샘플링 주파수 오차값을 보상
S250
종 료

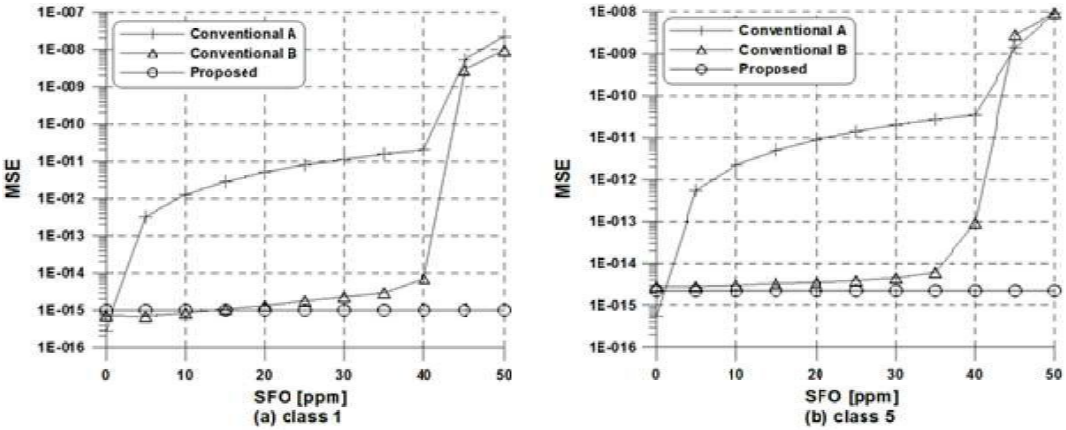
도면3


$X_l(1), X_l(2), \ldots, X_l\left(\frac{K}{4}\right)$
$X_l\left(\frac{K}{4}+1\right), X_l\left(\frac{K}{4}+2\right), \ldots, X_l\left(\frac{K}{2}\right)$
$X_l\left(\frac{K}{4}+1\right), X_l\left(\frac{K}{4}+2\right), \ldots, X_l\left(\frac{K}{2}\right)$
$X_l(1), X_l(2), \ldots, X_l\left(\frac{K}{4}\right)$
$\frac{K}{4}$
$\frac{K}{4}$
$\frac{K}{4}$
$\frac{K}{4}$
Length of l-th OFDM symbol

도면4


Conventional A
Conventional B
Proposed
MSE
SNR [dB]
(a) class 1
SNR [dB]
(b) class 5

도면5


Conventional A
Conventional B
Proposed
MSE
SFO [ppm]
(a) class 1
SFO [ppm]
(b) class 5