(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2022년10월28일
(11) 등록번호 10-2459593
(24) 등록일자 2022년10월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H04B 3/54 (2006.01) *H04B 3/36* (2006.01)
H04B 3/46 (2015.01) *H04B 3/58* (2006.01)
(52) CPC특허분류
H04B 3/54 (2013.01)
H04B 3/36 (2020.08)
(21) 출원번호 10-2021-0096352
(22) 출원일자 2021년07월22일
심사청구일자 2021년07월22일
(65) 공개번호 10-2022-0013335
(43) 공개일자 2022년02월04일
(30) 우선권주장
1020200092489 2020년07월24일 대한민국(KR)
(56) 선행기술조사문헌
KR101460732 B1*
Xilin Cheng 외 2인, Relay-Aided Amplify-and-Forward Powerline Communications, IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID(2013.01.14)*
Yu-wen QIAN 외 5인, Performance analysis for a two-way relaying power line network with analog network coding, Front Inform Technol Electron Eng(2015.10.13)*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
한밭대학교 산학협력단
대전광역시 유성구 동서대로 125 (덕명동)
(72) 발명자
이경재
대전광역시 유성구 노은동로 111 열매마을10단지 아파트 1010동 701호
로저 콰오 아히아도메이
대전광역시 유성구 동서대로 158-11 HB학사, B동 301호
(74) 대리인
이은철, 이우영

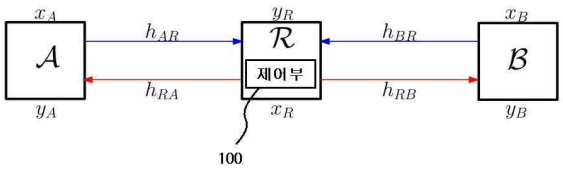
전체 청구항 수 : 총 6 항 심사관 : 박재희

(54) 발명의 명칭 **전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템 및 방법**

(57) 요 약

본 기술은 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템 및 방법이 개시된다. 구체적인 구현 예에 따르면 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용한 추정된 성능에 근거하여 양방향 릴레이 노드를 설계함에 따라, 스펙트럼 효율성 손실이 단방향 릴레이 노드보다 낮고, 이에 높은 데이터 전송률, 높은 스펙트럼 효율성, 더 나은 공정성 및 낮은 전송 전력을 보장할 수 있고, 높은 스펙트럼 효율로 작동할 수 있으며, 신호 감쇠 및 잡음에 견고하다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H04B 3/46 (2013.01)
H04B 3/58 (2020.08)
H04B 2203/5479 (2013.01)
H04B 2203/5495 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2017032300
과제번호 R17XA05-71
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국전력공사전력연구원
연구사업명 전력연구원 기초연구
연구과제명 스마트그리드를 위해 신뢰성 및 보안성이 강화된 다중릴레이 다중사용자 다중입출력 전력선통신 기술의 연구 개발
기 여 율 1/1
과제수행기관명 한밭대학교 산학협력단
연구기간 2017.05.01 ~ 2020.04.30
공지예외적용 : 있음

명 세 서

청구범위

청구항 1

적어도 하나의 전력선 소스 노드 사이에 양방향 릴레이 노드가 배치된 전력선 통신망에서,

상기 양방향 릴레이 노드는 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용하여 추정된 성능으로 AF 모드의 채널 용량을 도출하고,

상기 도출된 채널 용량으로 AF 모드를 수행하는 제어부를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 양방향 릴레이 노드는 AF 모드로 동작하되, 데이터 전송은 제1 시간슬롯에서 다중 액세스(MAC)가 수행되고, 제2 시간슬롯에서 방송(BC)이 수행되는 것을 특징으로 하는 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제어부는

상기 전력선 통신망의 채널 이득, 노드와 작동 주파수 간의 거리에 따른 신호 감쇄 및 총 소음으로 모델링된 적어도 하나의 전력선 소스 노드의 수신신호에 대해, 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용하여 추정된 성능으로 AF 모드의 채널 용량을 도출하는 도출수단 및

상기 도출된 채널 용량으로 AF 모드를 수행하도록 하는 동작수단을 포함하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 적어도 하나의 전력선 소스 노드 사이에 양방향 릴레이 노드가 배치된 전력선 통신망은

전력선 소스 노드 A와 B의 각각 MAC 채널 h_{AR}와 h_{BR}를 통해 심볼 형태의 전송 신호 x_A와 x_B를 릴레이 노드 R로 전송하고,

상기 릴레이 노드 R은 전송된 심볼 형태의 전송 신호 x_A와 x_B를 수신한 후, 수신 신호 y_R에 대해 AF 모드에서 전송하고자 하는 증폭 신호 x_R를 생성하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 양방향 릴레이 노드는

생성된 증폭 신호 x_R를 BC 채널 h_{RA}와 h_{RB}를 통해 전력선 소스 노드 A와 B로 전달하고, 전력선 소스 노드 A와 B는 증폭 신호 x_R를 수신한 다음 수신 신호 y_A, y_B에 포함된 자체 간섭 신호 SI를 제거하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템.

청구항 6

적어도 하나의 전력선 소스 노드 사이에 양방향 릴레이 노드가 배치된 전력선 통신망의 제어부에서,

평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용하여 추정된 성능으로 AF 모드의 채널 용량을 도출하는 단계; 및

도출된 채널 용량으로 AF 모드를 수행하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 전력선 통신망의 양방향 릴레이 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템 및 방법에 관한 것으로, 보다 상세하게는 전력선 통신망에서 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용한 추정된 성능에 근거하여 AF 모드로 동작되는 양방향 최적 릴레이 노드를 설계할 수 있는 기술에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 전력선 통신(PLC: Power-line Communication) 시스템은 스마트 그리드 및 IoT(Internet-of-things)은 단일 전력선(SISO)에서 다중 전력선(MIMO) 시스템으로 성장하였다. 또한, PLC 시스템은 시스템 성능을 향상시키기 위한 협력적 통신에서도 구현될 수 있다.

[0003] 그러나, PLC 시스템은 전송 채널의 불량으로 인해 현재 데이터 전송 속도가 낮다. 즉, PLC 데이터 전송 채널은 임펄스 노이즈, 임피던스 불일치(이 때문에 전송 신호 출력이 감소하고, 다중 경로 페이딩을 야기한다.), 주파수 선택적 다중 경로 페이딩, 전자기 호환성(EMC) 요구사항, 고주파수 및 거리 신호 감쇠의 존재로 인해 저하된다.

[0004] 여기서, 임피던스의 불일치는 다중 경로 페이딩과 전원 케이블의 신호 전력 전송 손실을 야기하여 PLC 망의 신뢰성도가 저하된다. 이에 다른 주파수 사용자(예: 무선 시스템)에 대한 전자파 간섭(EMI)을 최소화하고 전자기 호환성(EMC) 규정을 충족하기 위해 PLC 네트워크의 전송 능력이 제한된다.

[0005] 그러나 전송 전력이 낮으면 PLC 망의 목적지 노드에서 신호 대 잡음비(SNR)가 낮아지고 이에 PLC 채널, 노이즈 및 신호 전파와 관련된 병목현상은 전력선 통신 시스템의 강력한 성능을 위해 개선될 필요가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 한국등록특허 제1287291호(2013.07.11.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용한 추정된 성능에 근거하여 양방향 릴레이 노드를 설계함에 따라, 스펙트럼 효율성 손실이 단방향 릴레이 노드 보다 낮고, 이에 높은 데이터 전송률, 높은 스펙트럼 효율성, 더 나은 공정성 및 낮은 전송 전력을 보장할 수 있고, 높은 스펙트럼 효율로 작동할 수 있으며, 신호 감쇠 및 잡음에 견고한 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템 및 방법을 제공하고자 함에 있다.

[0008] 본 발명의 목적은 이상에서 언급된 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 다른 목적들은 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 이루기 위한 하나의 양태에 의거한 일 실시예의 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템은 적어도 하나의 전력선 소스 노드 사이에 양방향 릴레이 노드가 배치된 전력선 통신망에서, 상기 양방향 릴레이 노드는

평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용하여 추정된 성능으로 AF 모드의 채널 용량을 도출하고, 상기 도출된 채널 용량으로 AF 모드를 수행하는 제어부를 포함한다.

[0010] 상기 양방향 릴레이 노드는 AF 모드로 동작하되, 데이터 전송은 제1 시간슬롯에서 다중 액세스(MAC)가 수행되고, 제2 시간슬롯에서 방송(BC)이 수행된다.

[0011] 제어부는 상기 전력선 통신망의 채널 이득, 노드와 작동 주파수 간의 거리에 따른 신호 감쇄 및 총 소음으로 모델링된 적어도 하나의 전력선 소스 노드의 수신신호에 대해, 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용하여 추정된 성능으로 AF 모드의 채널 용량을 도출하는 도출수단 및 상기 도출수단으로 도출된 채널 용량으로 AF 모드를 수행하도록 하는 동작수단을 포함한다.

[0012] 적어도 하나의 전력선 소스 노드 사이에 양방향 릴레이 노드가 배치된 전력선 통신망은 전력선 소스 노드 A와 B의 각각 MAC 채널 h_{AR}와 h_{BR}를 통해 심볼 형태의 전송 신호 x_A와 x_B를 릴레이 노드 R로 전송하고, 상기 릴레이 노드 R은 전송된 심볼 형태의 전송 신호 x_A와 x_B를 수신한 후, 수신 신호 y_R에 대해 AF 모드에서 전송하고자 하는 증폭 신호 x_R를 생성한다.

[0013] 양방향 릴레이 노드는 생성된 증폭 신호 x_R를 BC 채널 h_{RA}와 h_{RB}를 통해 전력선 소스 노드 A와 B로 전달하고, 전력선 소스 노드 A와 B는 증폭 신호 x_R를 수신한 다음 수신 신호 y_A, y_B에 포함된 자체 간섭 신호 SI를 제거한다.

[0014] 한편, 전력선 통신망의 양방향 릴레이 방법은 적어도 하나의 전력선 소스 노드 사이에 양방향 릴레이 노드가 배치된 전력선 통신망의 제어부에서, 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용하여 추정된 성능으로 AF 모드의 채널 용량을 도출하는 단계; 및 도출된 채널 용량으로 AF 모드를 수행하는 단계를 포함한다. 상기 양방향 릴레이 노드는 AF 모드로 동작하되, 데이터 전송은 제1 시간슬롯에서 다중 액세스(MAC)가 수행되고, 제2 시간슬롯에서 방송(BC)이 수행된다.

발명의 효과

[0015] 일 실시예에 따르면, 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용한 추정된 성능에 근거하여 양방향 릴레이 노드를 설계함에 따라, 스펙트럼 효율성 손실이 단방향 릴레이 노드 보다 낮고, 이에 높은 데이터 전송률, 높은 스펙트럼 효율성, 더 나은 공정성 및 낮은 전송 전력을 보장할 수 있고, 높은 스펙트럼 효율로 작동할 수 있으며, 신호 감쇠 및 잡음에 견고하다.

도면의 간단한 설명

[0016] 도 1은 일 실시예가 적용되는 전력선 통신 시스템의 구성을 보인 도이다.

도 2는 일 실시예의 시스템의 양방향 릴레이 노드 및 단방향 릴레이 노드의 AF 모드의 채널 용량을 보인 비교도이다.

도 3은 일 실시예에 의거 시스템의 양방향 릴레이 노드의 AF 모드 및 DF 모드 각각의 채널 용량을 보인 비교도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0017] 본 발명의 실시예에서 제시되는 특정한 구조 내지 기능적 설명들은 단지 본 발명의 개념에 따른 실시예를 설명하기 위한 목적으로 예시된 것으로, 본 발명의 개념에 따른 실시예들은 다양한 형태로 실시될 수 있다. 또한, 본 명세서에 설명된 실시예들에 한정되는 것으로 해석되어서는 아니 되며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경물, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0018] 한편, 본 발명에서 제1 및/또는 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 상기 구성요소들은 상기 용어들에 한정되지는 않는다. 상기 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소들과 구별하는 목적으로만, 예컨대 본 발명의 개념에 따른 권리 범위로부터 벗어나지 않는 범위 내에서, 제1 구성요소는 제2 구성요소로 명명될 수 있고, 유사하게 제2 구성요소는 제1 구성요소로도 명명될 수 있다.

[0019] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명한다. 본 발명의 실시예를 설명함에 있어서, 관련된 공지

기능 혹은 구성에 대한 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 설명을 생략하였다.

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템은 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용한 추정된 성능에 근거하여 양방향 릴레이 노드를 설계함에 따라, 스펙트럼 효율성 손실이 단방향 릴레이 노드보다 낮고, 이에 높은 데이터 전송률, 높은 스펙트럼 효율성, 더 나은 공정성 및 낮은 전송 전력을 보장할 수 있고, 높은 스펙트럼 효율로 작동할 수 있으며, 신호 감쇠 및 잡음에 견고한 방안을 제안하고자 한다.

[0021] 본 실시예에 따른 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템은 전력선 통신(PLC) 네트워크의 양방향 릴레이(TWR)에 기초한 릴레이 선택 기법에 관한 것으로 폐쇄형 성능 추정에 기초하여 AF(amplify-and-forward)모드에서 작동하는 릴레이를 선택한다. 전력선 통신은 송전선을 이용한 통신을 가능하게 한다. PLC는 스마트 그리드 사업자가 선호하는 통신 기술로서 주목을 받았다. 이는 전력망에 의해 가능해진 비용 효율과 넓은 커버리지 때문이다. 발전된 계측기, 전기 차량 충전 및 광대역 인터넷 접속은 PLC의 적용 분야 중 하나이다. 그러나 전력선은 데이터 통신에 안 좋은 영향을 끼친다. 따라서 PLC 시스템 성능은 긴 케이블 길이에 걸쳐 충동 소음, 간섭, 다중 경로 효과 및 신호 페이딩에 의해 저하된다. 충동 소음은 가전제품 등 연결된 전기기기의 ON/OFF로 인해 발생하는 소음이다. 임펄스 노이즈에는 높은 전력 스펙트럼 밀도(PSD)가 있으므로, 더 많은 연결 장치가 고출력 노이즈를 발생시키고 성능 손실이 크다. 데이터 전송 속도도 전자기(EMC) 규정으로 인해 낮은 전송력의 영향을 받는다. 스마트 그리드의 성능은 주로 데이터의 양방향 전송에 의해 활성화된다. 스마트 그리드 애플리케이션에 대해 PLC를 매력적으로 만들기 위해서는 병목 현상을 해결해야 한다. 공동 릴레이는 긴 케이블 길이의 성능 손실을 완화할 수 있는 효과적인 솔루션이다. 소스 노드와 대상 노드 사이에 배치된 릴레이는 특히 직접 링크가 심각하게 감쇠된 경우 링크 신뢰도를 높이고 커버리지를 확장할 수 있다. 릴레이는 AF 또는 DF 모드에서 작동할 수 있다. AF 릴레이는 단순히 수신된 신호를 증폭시키고 재전송한다. 반대로, DF 릴레이는 대상 노드로 재전송하기 위해 새로운 신호를 디코딩하고 인코딩한다. 반면, AF 릴레이는 소음 증폭에 영향을 받고, DF 릴레이는 처리 비용이 더 든다.

[0022] 또한 릴레이는 단방향 릴레이(OWR) 또는 양방향 릴레이(TWR)로 배치될 수 있다. 4개의 시간 슬롯에서 양방향 통신을 달성하는 OWR과 비교하여, TWR은 네트워크 코딩을 이용하여 단 2개의 시간 슬롯에서 양방향 통신을 가능하게 한다. 따라서 OWR과 관련된 스펙트럼 효율성 손실은 TWR로 완화된다. 높은 스펙트럼 효율성, 링크 신뢰성 및 보안을 실현하기 위해서는 스마트 그리드 애플리케이션을 위한 양방향 릴레이가 필수적이다.

[0023] 일 실시예에서 적어도 하나의 릴레이 노드는 증폭 및 전달(AF) 또는 디코딩 및 전달(DF) 모드로 배치할 수 있다. 릴레이 노드의 AF 모드는 소스 메시지의 증폭된 신호를 대상 노드로 전송하고, 반대로, 릴레이 노드의 DF 모드는 소스 메시지를 해독하고 다시 인코딩된 신호를 대상 노드로 전달한다. 디코딩으로 인해 DF 모드는 낮은 신호 대 잡음 비율(SNR)의 AF 모드 보다 향상된다.

[0024] 또한, 릴레이 노드는 단방향 릴레이(OWR) 또는 양방향 릴레이(TWR)로 배치될 수 있다. 4개의 시간 슬롯에서 양방향 통신을 달성하는 OWR과 비교하여, TWR은 네트워크 코딩을 이용하여 단 2개의 시간 슬롯에서 양방향 통신을 가능하게 한다. 따라서 OWR과 관련된 스펙트럼 효율성 손실은 TWR로 완화된다. 높은 스펙트럼 효율성, 링크 신뢰성 및 보안을 실현하기 위해서는 스마트 그리드 애플리케이션을 위한 양방향 릴레이가 필수적이다.

[0025] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 일 실시 예의 전력선 통신망에서 협력 다중 접속에 기초한 DF 모드의 릴레이 선택 시스템에 대해 상세히 설명하기로 한다.

[0026] 도 1은 일 실시예가 적용되는 전력선 통신 시스템의 구성을 보인 도이고, 도 2는 도 1에 도시된 전력선 통신 시스템(이하 PLC 시스템으로 약칭함) 일 실시예의 시스템의 양방향 릴레이 노드 및 단방향 릴레이 노드의 AF 모드의 채널 용량을 보인 비교 그래프이고, 도 3은 도 1의 시스템의 양방향 릴레이 노드의 AF 모드 및 DF 모드 각각의 채널 용량을 보인 비교 그래프이다.

[0027] 본 발명의 일실시예에 따른 전력선 통신망의 양방향 릴레이 시스템은 적어도 하나의 전력선 소스 노드 사이에 양방향 릴레이 노드가 배치된 전력선 통신망에서, 상기 양방향 릴레이 노드는 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용하여 추정된 성능으로 AF 모드의 채널 용량을 도출하고, 상기 도출된 채널 용량으로 AF 모드를 수행하는 제어부(100)를 포함한다. 여기서, 양방향 릴레이 노드는 AF 모드로 동작하되, 데이터 전송은 제1 시간슬롯에서 다중 액세스(MAC)가 수행되고, 제2 시간슬롯에서 방송(BC)이 수행된다. 이러한 기능을 수행하는 제어부는 전력선 통신망의 채널 이득, 노드와 작동 주파수 간의 거리에 따른 신호 감쇄 및 총 소음으로

모델링된 적어도 하나의 전력선 소스 노드의 수신신호에 대해, 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용하여 추정된 성능으로 AF 모드의 채널 용량을 도출하는 도출수단 및 상기 도출된 채널 용량으로 AF 모드를 수행하도록 하는 동작수단을 포함한다.

[0028] 또한 적어도 하나의 전력선 소스 노드 사이에 양방향 릴레이 노드가 배치된 전력선 통신망은 전력선 소스 노드 A와 B의 각각 MAC 채널 h_{AR}와 h_{BR}를 통해 심볼 형태의 전송 신호 x_A와 x_B를 릴레이 노드 R로 전송하고, 상기 릴레이 노드 R은 전송된 심볼 형태의 전송 신호 x_A와 x_B를 수신한 후, 수신 신호 y_R에 대해 AF 모드에서 전송하고자 하는 증폭 신호 x_R를 생성한다.

[0029] 또한 양방향 릴레이 노드는 생성된 증폭 신호 x_R를 BC 채널 h_{RA}와 h_{RB}를 통해 전력선 소스 노드 A와 B로 전달하고, 전력선 소스 노드 A와 B는 증폭 신호 x_R를 수신한 다음 수신 신호 y_A, y_B에 포함된 자체 간섭 신호 SI를 제거한다.

[0030] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 일 실시 예에 따른 PLC 시스템은 전력선 소스 노드 A, 릴레이 노드 R 및 대상 노드 B를 포함할 수 있다.

[0031] 도 1에 도시된 전력선 통신 시스템은 바람직한 실시예일 뿐, 필요에 따라 일부 구성 요소가 추가되거나 삭제될 수 있음은 물론이다. 또한, 각각의 구성 요소들은 기능적으로 구분되는 기능 요소들을 나타낸 것으로서, 복수의 구성 요소가 실제 물리적 환경에서는 서로 통합되는 형태로 구현될 수도 있음에 유의한다.

[0032] 여기서, 전력선 소스 노드 A와 B 및 릴레이 노드 R 간 상호 통신하는 네트워크를 고려하면, 각 노드는 전력선 통신으로 연결되고, 릴레이 노드 R은 양방향 릴레이 노드(TWR)로 구비되며, 양방향 릴레이 노드(TWR)은 AF 모드로 동작된다.

[0033] 이때 PLC 시스템의 데이터 전송은 2개의 시간 슬롯으로 구비되며, 첫번째 시간 슬롯에서 다중 액세스(MAC)가 수행되며, 두번째 시간 슬롯에서 방송(BC)이 수행된다.

[0034] 즉, 전력선 소스 노드 A와 B의 각각 MAC 채널 h_{AR}와 h_{BR}를 통해 심볼 형태의 전송 신호 x_A와 x_B를 릴레이 노드 R로 전송한다.

[0035] 그리고, 릴레이 노드 R은 전송된 심볼 형태의 전송 신호 x_A와 x_B를 수신한 후, 수신 신호 y_R에 대해 AF 모드에서 전송하고자 하는 증폭 신호 x_R를 생성한다.

[0036] 이 후 릴레이 노드 R의 생성된 증폭 신호 x_R는 BC 채널 h_{RA}와 h_{RB}를 통해 전력선 소스 노드 A와 B로 전달되고, 전력선 소스 노드 A와 B는 증폭 신호 x_R를 수신한 다음 수신 신호 y_A, y_B에 포함된 자체 간섭 신호 SI를 제거한다.

[0037] 여기서, MAC 및 BC 채널은 상호적이며 자체 간섭 신호 SI를 무효하기 위해 전력선 소스 노드 A와 B는 채널 상태 정보(CSI) 및 전송 신호 x_A와 x_B 를 알고 있다.

[0038] 이러한 PLC 시스템에서 릴레이 노드 R의 수신 신호 y_R에 대해, MAC 및 BC 채널 이득은 측정 채널에 대한 불연속 및 연결된 부하에 의해 발생하는 불규칙적인 효과를 고려하여 구축된 로그 정규 페이딩에 의한 모델링된다. 이러한 모델로부터 도출된 모멘트 생성 함수 MGF는 랜덤 변수 RV의 분포를 특정할 수 있으며, 로그 정규 및 채널에 대한 MGF는 폐쇄 형태로 존재하지 아니하며, 채널 h에 대한 모멘트 생성 함수 MGF는 하기 식 1로 나타낼 수 있다.

[0039] [식 1]

[0040] $$\mathcal{M}_h(z) \simeq \sum_{k=1}^{K} \frac{w_k}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-z \exp\left(\frac{\sqrt{2}\sigma_h s_k + \mu_h}{\xi}\right)\right]$$

[0041] 여기서, $\xi = 10/\ln(10)$는 스케일링 상수로서 Gauss-Hermite 사각형을 사용하여 근사치로 추정하고 페이딩 파라미

터 μ_h와 σ_h(데시벨 단위)는 각각 $10\log_{10}(h)$의 평균 및 표준 편차이며, 페이딩 파라미터는 PLC 시스템의 분기 토폴로지와 직접 관련이 있다. w_k와 δ_k는 각각 K오더 헤르미트 다항식의 무게와 0을 나타낸다.

[0042] 한편, 주파수 및 거리에 따라 달라지는 신호 감쇠는 각각 노드 간 거리 d(미터 단위), MHz 단위의 주파수 f, 계수 k, 스텝 사이즈 b_0, b_1 각 측정값에서 얻은 신호 감쇠가 상수인 경우에 의해 모델링되며, 신호 감소는 다음 식 2로 나타낼 수 있다.

[0043] [식 2]

[0044] $$a = \exp\left(-(b_0 + b_1 f^k)d\right)$$

[0045] 한편, 전송 신호에 포함된 배경 소음 및 충동 소음을 포함하는 총 소음은 Bernouli-Gaussian 모델을 기반으로 다음 식 3으로 모델링된다.

[0046] [식 3]

[0047] $$\sigma_n^2 = (1-p)\sigma_I^2 + p(\sigma_I^2 + \sigma_G^2)$$

[0048] 여기서 p는 충동 소음 확률이고, 분산 σ_G^2는 배경 소음의 힘이고, 분산 $\sigma_I^2+\sigma_G^2$는 배경 소음만 존재하는 소음과, 배경소음과 충동적 소음이 존재하는 소음의 힘을 각각 나타낸다. 기존의 PLC 시스템은 데이터 통신을 위해 단방향 릴레이를 사용한다. 스펙트럼 효율성 손실을 완화하고 스마트 그리드 애플리케이션을 위한 양방향 통신을 달성하기 위해서는 폐쇄형 성능 추정에 기초한 PLC 양방향 릴레이 설계가 필요하다. 이에 따라 본 실시예에서는 양방향 PLC 계전기 시스템에 대한 폐쇄형 성능 추정 방법을 제안한다. 양방향 릴레이에서는 단 2개의 시간 슬롯에서 양방향 통신을 달성하고 단방향 릴레이에 비해 성능이 향상된다. 본 발명품에서는 릴레이가 AF 모드로 동작한다.

[0049] 도 1에 도시된 바와 같이, 두 소스 노드 A와 B가 중간 릴레이 R을 통해 서로 통신하는 양방향 릴레이 PLC 네트워크를 고려해보면, 두 소스 노드 간의 직접 링크가 심각하게 감쇠된다. 데이터 전송은 2개의 시간 슬롯, 즉 다중 액세스(MAC) 단계와 방송(BC) 단계로 완료된다.

[0050] MAC 단계에서 소스 노드 A와 B는 각각 채널 h_{AR}와 h_{BR} 를 통해 x_A와 x_B를 릴레이로 전송한다. 전송된 데이터를 수신한 후, y_R AF 모드에서 동작하는 릴레이는 다음 단계에서 전송될 증폭 버전 x_R를 생성한다.

[0051] BC단계에서 릴레이는 채널 h_{RA}와 h_{RB}를 통해 각각 x_R를 노드 A와 B로 전달한다. 목적지 노드 A와 B는 각각 y_A와 y_B 신호를 수신한다. 노드는 자체 전송 신호를 알기 때문에 디코딩 전에 자체 간섭(SI)을 뺄 수 있다. MAC 및 BC 채널은 상호적이며 SI를 무효하기 위해 대상 노드에서 채널 상태 정보(CSI)를 완벽하게 알고 있다고 가정한다.

[0052] 평균 용량은 현재의 발명 성과를 보여준다. PLC AF TWR 시스템의 평균 합계 용량은 소스-릴레이-대상 링크의 개별 용량의 합으로 추론된다. 제안된 발명은 평균 총 용량에 대한 닫힌 형태의 추정치를 제시한다. PLC AF TWR 네트워크의 평균 합계 용량은 다음과 같은 Gauss-Laguerre 사분면을 사용하여 근사치를 구한다.

[0053] 릴레이 노드 R의 수신 신호 y_R 는 릴레이 노드 R에 의거 전송 전 증폭하는 AF 모드를 수행하여 증폭 신호 x_R를 생성한 다음 전력선 소스 노드 A와 B로 전달한다. 이에 릴레이 노드 R은 AF 모드를 수행하는 양방향 릴레이 노드로 구비될 수 있다.

[0054] 이에 PLC 시스템의 총 채널 용량은 소스 링크, 릴레이 링크 및 다시 소스 링크의 개별 채널 용량의 총 합으로 추론되며, 이때 총 채널 용량에 대한 닫힌 형태의 추정치는 하기 식 4로 나타낼 수 있다.

[0055] [식 4]

$$C_{AF} \approx \frac{1}{2\ln(2)} \sum_{j=0}^{1} \sum_{m=1}^{M} p_j \frac{\varrho_m}{\iota_m} \left(1 - \mathcal{M}_{\mathcal{Y}}(\delta_{m_j})\right) \mathcal{M}_{\mathcal{X}_j}(\delta_{m_j})$$

[0056]

$$+\frac{1}{2\ln(2)} \sum_{j=0}^{1} \sum_{m=1}^{M} p_j \frac{\varrho_m}{\iota_m} \left(1 - \mathcal{M}_{\mathcal{K}}(\varepsilon_{m_j})\right) \mathcal{M}_{\mathcal{Z}_j}(\varepsilon_{m_j})$$

[0057] 즉, 총 채널 용량에 대한 닫힌 형태의 추정치 C_{AF} 는 Gauss-Laguerre 사분면을 사용하여 근사치로 도출되며, 소음 $p_0 = 1 - p$, $p_1 = p$, $\delta_{m_i} = \iota_m / \eta_j$, 그리고 $\epsilon_{m_i} = \iota_m / \omega_j$ 이다. ρ_m 와 ι_m 은 각각 M차 Laguerre 다항식의 가중치와 영점들이다.

[0058] 여기서, 1/2인자는 데이터 통신이 두 개의 시간 슬롯으로 완료되기 때문에 존재하고 각 모멘트 생성 함수 MGF는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathcal{M}_{\mathcal{X}_j}(z) \simeq \sum_{k=1}^{K} \frac{w_k}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\sigma_{Aj}^2 z \exp\left(-\frac{2\sqrt{2}\sigma_X s_k + 2\mu_X}{\xi}\right)\right]$$

$$\mathcal{M}_{\mathcal{Y}}(z) \simeq \sum_{k=1}^{K} \frac{w_k}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\epsilon_1 \epsilon_2 z \exp\left(\frac{2\sqrt{2}\sigma_Y s_k + 2\mu_Y}{\xi}\right)\right]$$

$$\mathcal{M}_{\mathcal{K}}(z) \simeq \sum_{k=1}^{K} \frac{w_k}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\vartheta_1 \vartheta_2 z \exp\left(\frac{2\sqrt{2}\sigma_X s_k + 2\mu_X}{\xi}\right)\right]$$

[0059]

$$\mathcal{M}_{\mathcal{Z}_j}(z) \simeq \sum_{k=1}^{K} \frac{w_k}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\sigma_{Bj}^2 z \exp\left(-\frac{2\sqrt{2}\sigma_Y s_k + 2\mu_Y}{\xi}\right)\right]$$

[0060] 여기서 $\epsilon_1 = P_B \alpha_{BR}^2$, $\epsilon_2 = \beta^2 \alpha_{RA}^2$, $\eta_j = \epsilon_2 \sigma_{Rj}^2$, $\vartheta_1 = P_A \alpha_{AR}^2$, $\vartheta_2 = \beta^2 \alpha_{RB}^2$, $\omega_j = \vartheta_2 \sigma_{Rj}^2$ 이다. P_A, P_B, β는 각각 A노드, B노드에서의 전송 전력, 그리고 릴레이 이득이다.

[0061] 제안된 폐쇄형 성능 추정은 정상 로그 페이딩에 의해 채널 이득이 모델링되는 무선 시스템에도 적용할 수 있다. 이 경우 무선 시나리오에서의 전파를 고려하여 신호를 감쇠한다. 이에 일 실시예는 정상 로그 페이딩에 의거 채널 이득이 모델되는 총 채널 용량에 대한 닫힌 형태의 추정치를 근거로 전력선 시스템의 양방향 릴레이 노드를 설계하는 일례로 설명하고 있으나, 무선 시스템에도 적용될 수 있으며, 이에 한정하지 아니한다.

[0062] 도 2는 신호 대 잡음 비율에 대한 제안된 PLC, AF, TWR의 평균 용량을 나타낸다. 도 2에서, 평균 용량의 폐쇄형 표현은 시뮬레이션 결과에 비해 매우 정확하다. 따라서 시스템 성능의 좋은 예측 변수로 작용한다. OWR과 TWR을 비교하면, 우리 시스템에 사용되는 양방향 통신에 의해 평균 용량이 향상된다. 예를 들어 SNR = 30dB 및 $p = 0.01$ 에서 TWR은 OWR에서 약 3.5bps/Hz의 속도 이득을 얻는다. OWR에 의한 스펙트럼 효율 손실은 TWRs을 배치하여 효과적으로 완화된다. 마지막으로, 시스템 성능에 대한 임펄스 소음이 미치는 부정적인 영향은 높은 임펄스 소음이 평균 용량을 저하시키는 경우 직접 관찰된다. 예를 들어, 충동 소음 확률은 $p = 0.01$ 에서 $p = 0.3$ 로 증가함에 따라 TWR의 평균 용량은 약 2bps/Hz 감소한다.

[0063] 정리하면, 도 2를 참조하여 단방향 릴레이 노드 OWR과 양방향 릴레이 노드 TWR의 채널 용량을 비교하면, 전력선 통신 시스템의 양방향 릴레이 노드에 의한 통신의 평균 채널 용량이 향상되는 것을 알 수 있다. 일례로 SNR = 30dB 및 $p = 0.01$ 에서 TWR은 OWR에서 약 3.5bps/Hz의 속도 이득을 얻을 수 있고, OWR에 의한 스펙트럼 효율 손실은 TWRs을 배치하여 효과적으로 완화됨을 확인할 수 있다. 또한, 양방향 릴레이 노드로 통신하는 PLC 시스템은 시스템 성능에 대한 임펄스 소음이 미치는 부정적인 영향은 높은 임펄스 소음이 평균 용량을 저하시키는 경우 직접 관찰된다. 예를 들어, 충동 소음 확률은 $p = 0.01$ 에서 $p = 0.3$ 로 증가함에 따라 TWR의 평균 채널 용량은 약 2bps/Hz로 감소됨을 알 수 있다.

[0064] 도 3은 AF와 DF 릴레이의 평균 용량 성능을 비교한 것이다. DF 릴레이는 아날로그-네트워크 코딩(ANC)과 물리적 계층 네트워크 코딩(PNC)을 사용하여 작동할 수 있다. 그림에서 PLC DF TWR은 낮은 SNR 영역(0 - 10dB)에서 PLC AF TWR을 능가한다. 이는 DF 릴레이에 적용된 디코딩 작업 때문이다. 그러나 SNR이 증가함에 따라 PLC AF TWR의 평균 용량은 PLC DF TWR에 비해 향상된다. AF 프로토콜이 DF 프로토콜을 능가하기 시작하는 교차 지점이 존재한다. 즉, $p = 0.01$ 의 경우 12dB. 이 교차점은 PLC 네트워크에 하이브리드 AF/DF TWR을 가능하게 하는 통찰력 있

는 설계를 제공할 수 있다.

[0065] 도 3을 참조하여 AF 모드 및 DF 모드에 따른 평균 TWR 채널 용량을 비교하면, DF 모드로 동작 시 양방향 릴레이 노드로 통신하는 PLC 시스템(PLC AF TWR)은 낮은 SNR 영역(0 - 10dB)에서 AF 모드로 동작하는 양방향 릴레이 노드(PLC AF TWR)을 능가한다. DF 릴레이에 적용된 디코딩 작업 때문이다.

[0066] 그러나 SNR이 증가함에 따라 PLC AF TWR의 평균 채널 용량은 PLC DF TWR에 비해 향상됨을 알 수 있다. 이에 PLC AF TWR의 평균 채널 용량이 PLC DF TWRDML 평균 채널 용량을 초과하는 교차 지점이 존재함을 확인할 수 있고, 교차점은 $p=0.01$ 의 경우 12Db 이다. 즉, PLC AF TWR의 평균 채널 용량이 PLC DF TWRDML 평균 채널 용량을 초과하는 교차점으로 전력선 통신망 기반의 무선 통신을 수행하는 하이브리드 PLC/W 통신 시스템에서 양방향 릴레이 노드 TWR의 AF/DF 모드를 수행하도록 제공될 수 있다.

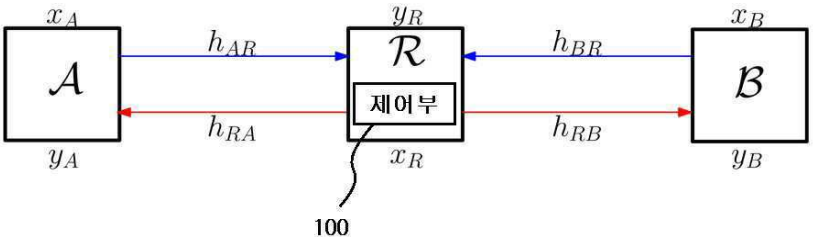
[0067] 이에 일 실시예에 의거, 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용한 추정된 성능에 근거하여 양방향 릴레이 노드를 설계함에 따라, 스펙트럼 효율성 손실이 단방향 릴레이 노드보다 낮고, 이에 높은 데이터 전송률, 높은 스펙트럼 효율성, 더 나은 공정성 및 낮은 전송 전력을 보장할 수 있고, 높은 스펙트럼 효율로 작동할 수 있으며, 신호 감쇠 및 잡음에 견고하다.

[0068] 다른 실시 태양으로 전력선 통신망의 양방향 릴레이 방법은, 적어도 하나의 전력선 소스 노드 사이에 양방향 릴레이 노드가 배치된 전력선 통신망의 제어부에서 평균 총 채널 용량에 대한 폐쇄형 성능 추정 알고리즘을 이용하여 추정된 성능으로 AF 모드의 채널 용량을 도출하는 단계 및 도출된 채널 용량으로 AF 모드를 수행하는 단계를 포함한다. 여기서, 상기 양방향 릴레이 노드는 AF 모드로 동작하되, 데이터 전송은 제1 시간슬롯에서 다중 액세스(MAC)가 수행되고, 제2 시간슬롯에서 방송(BC)이 수행된다. 상기의 전력선 통신망의 양방향 릴레이 방법의 각 단계는 전술한 협력적 다중 접속된 릴레이 노드의 제어부(100)에서 수행되는 기능으로 자세한 원용은 생략한다.

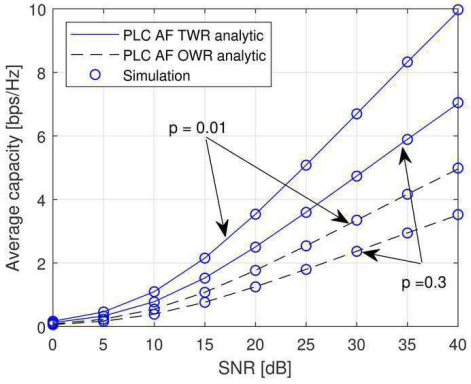
[0069] 이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능함은 당업자에게 명백할 것이다.

도면

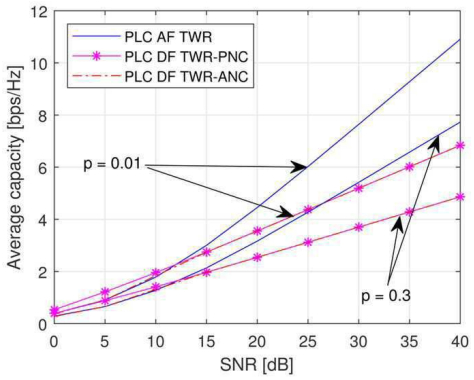
도면1



도면2



도면3


PLC AF TWR
PLC DF TWR-PNC
PLC DF TWR-ANC
p = 0.01
p = 0.3
Average capacity [bps/Hz]
SNR [dB]
0
2
4
6
8
10
12
0
5
10
15
20
25
30
35
40