



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년05월29일

(11) 등록번호 10-1524209

(24) 등록일자 2015년05월22일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H04B 7/14 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0053458

(22) 출원일자 2014년05월02일

심사청구일자 2014년05월02일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020130017832 A*

US20130223326 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

경상대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

정방철

경상남도 통영시 서송정3길 21-18, 로즈빌 101호

김성환

서울특별시 서초구 남부순환로 2311-12 방배아트
힐아파트 102동 602호

(74) 대리인

김영재

전체 청구항 수 : 총 7 항

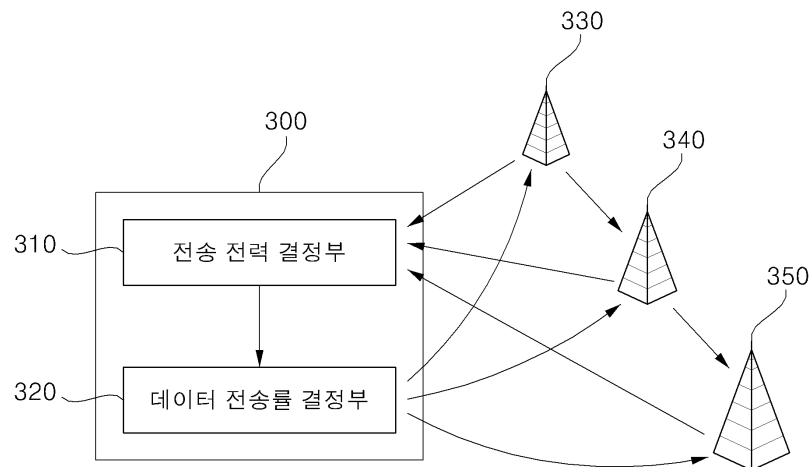
심사관 : 신상길

(54) 발명의 명칭 릴레이 전송 전력 결정 장치 및 방법

(57) 요약

선형 릴레이 네트워크에 포함된 릴레이들의 전송 전력을 결정하는 제어 장치가 개시된다. 각 릴레이들은 일렬로 배열되고, HARQ 기법을 이용하여 이전 릴레이로부터 수신한 데이터의 오류를 정정한다. 각 릴레이들의 전송 전력의 총합은 제한되고, 제어 장치는 전송 전력의 총합 이내에서 각 릴레이들의 전송 전력을 결정한다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1345205288

부처명 교육부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 기본연구지원사업

연구과제명 압축센싱기반의 Large-Scale 무선 네트워크 원천기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 경상대학교 산학협력단

연구기간 2013.06.01 ~ 2016.05.31

명세서

청구범위

청구항 1

선형 릴레이 네트워크에 포함된 릴레이들의 전송 전력 및 데이터 전송률을 결정하는 제어 장치에 있어서,

상기 선형 릴레이 네트워크의 장구간 평균 데이터 전송률(long-term average transmission rate)의 근사 함수를 상기 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분하고, 상기 미분의 역함수를 이용하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정하는 전송 전력 결정부; 및

상기 결정된 전송 전력을 이용하여 상기 각 릴레이들 각각의 데이터 전송률을 결정하는 데이터 전송률 결정부를 포함하고,

상기 각 릴레이에 대하여 결정된 전송 전력 및 상기 각 릴레이에 대하여 결정된 데이터 전송률은 상기 각 릴레이들간의 데이터 전송을 위하여 사용되는 제어 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 각 릴레이들의 전송 전력의 총합은 최대 전력값 이하로 제한되고,

상기 전송 전력 결정부는 상기 근사 함수의 상기 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값에 대하여 개별적으로 상한값과 하한값을 설정하고, 상기 상한값들과 하한값들의 산술평균에서의 상기 역함수의 값들의 합을 상기 최대 전력값과 비교하고, 상기 비교 결과에 따라 상기 상한값 또는 상기 하한값을 업데이트하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정하는 제어 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 각 릴레이들은 수신한 데이터에 대하여 HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request) 기법을 이용하여 오류를 정정하고, 오류가 정정된 데이터를 다른 릴레이로 전송하는 제어 장치.

청구항 5

선형 릴레이 네트워크에 포함된 릴레이들의 전송 전력 및 데이터 전송률을 결정하는 제어 방법에 있어서,

상기 선형 릴레이 네트워크의 장구간 평균 데이터 전송률(long-term average transmission rate)의 근사 함수를 상기 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분하고, 상기 미분의 역함수를 이용하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정하는 단계; 및

상기 결정된 전송 전력을 이용하여 상기 각 릴레이들 각각의 데이터 전송률을 결정하는 단계를 포함하고,

상기 각 릴레이에 대하여 결정된 전송 전력 및 상기 각 릴레이에 대하여 결정된 데이터 전송률은 상기 각 릴레이들간의 데이터 전송을 위하여 사용되는 제어 방법.

청구항 6

삭제

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 각 릴레이들의 전송 전력의 총합은 최대 전력값 이하로 제한되고,

상기 전송 전력을 결정하는 단계는 상기 근사 함수의 상기 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값에 대하여 개별적으로 상한값과 하한값을 설정하고, 상기 상한값들과 하한값들의 산술평균에서의 상기 역함수의 값들의 합을 상기 최대 전력값과 비교하고, 상기 비교 결과에 따라 상기 상한값 또는 상기 하한값을 업데이트하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정하는 제어 방법.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 각 릴레이들은 수신한 데이터에 대하여 HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request) 기법을 이용하여 오류를 정정하고, 오류가 정정된 데이터를 다른 릴레이로 전송하는 제어 방법.

청구항 9

제5항 및 제7항 내지 제8항 중에서 어느 하나의 항의 방법을 실행시키기 위한 프로그램이 기록된 컴퓨터 판독 가능한 기록 매체.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 하기의 실시예들은 릴레이를 이용한 통신 시스템에 관한 것으로, 구체적으로는 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각 릴레이들의 전송 전력을 최적화하는 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 선형 릴레이 네트워크(LRN: Linear Relay Network)는 여러 개의 릴레이들이 일렬로(serially) 배치된 무선 네트워크이다. 선형 릴레이 네트워크는 소스 노드(source node), 목적 노드(destination node) 및 복수의 릴레이 노드(relay node)들을 포함한다.

[0003] 소스 노드는 데이터를 릴레이 노드로 전송하고, 각 릴레이 노드는 이웃한 릴레이 노드로 데이터를 전송한다. 데이터는 각각의 릴레이 노드를 순차적으로 경유하여 목적 노드로 전송된다.

[0004] 한편, HARQ 기법은 채널 코딩 기법을 이용하여 수신한 데이터의 오류를 정정하고, 오류가 정정되지 않은 경우 송신측에 재전송을 요구하는 강력한 오류 정정기법이다. HARQ 기법은 무선 채널의 상태가 일시적으로 불량해진 경우에 효과가 큰 것으로 알려졌다.

[0005] 선형 릴레이 네트워크는 HARQ 기법과 결합하여 좀더 신뢰성 있는 데이터 전송 시스템으로 개선되었다. 이에 따라서 채널이 급격하게 변동하는 경우나 채널 정보를 획득하지 못한 경우에도 선형 릴레이 네트워크는 데이터를 성공적으로 전송할 수 있게 되었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 하기의 실시예들은 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각 릴레이들의 전송 전력 및 데이터 전송률을 최적화 하는 것을 목적으로 한다.

[0007] 하기의 실시예들은 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각 릴레이들의 전송 전력을 결정하는 것을 목적으로 한다.

과제의 해결 수단

[0008] 예시적 실시예들에 따르면, 선형 릴레이 네트워크에 포함된 릴레이들의 전송 전력 및 데이터 전송률을 결정하는 제어 장치에 있어서, 상기 선형 릴레이 네트워크의 장구간 평균 데이터 전송률(long-term average transmission rate)의 근사 함수를 상기 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정하는 전송 전력 결정부 및 상기 결정된 전송 전력을 이용하여 상기 각 릴레이들 각각의 데이터 전송률을 결정하는 데이터 전송률 결정부를 포함하고, 상기 각 릴레이에 대하여 결정된 전송 전력 및 상기 각 릴레이에 대하여 결정된 데이터 전송률은 상기 각 릴레이들간의 데이터 전송을 위하여 사용되는 제어 장치가 제공된다.

[0009] 여기서, 상기 전송 전력 결정부는 상기 근사 함수의 미분의 역함수를 이용하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정할 수 있다.

[0010] 그리고, 상기 각 릴레이들의 전송 전력의 총합은 최대 전력값 이하로 제한되고, 상기 전송 전력 결정부는 상기 근사 함수의 상기 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값에 대하여 개별적으로 상한값과 하한값을 설정하고, 상기 상한값들과 하한값들의 산술평균에서의 상기 역함수의 값들의 합을 상기 최대 전력값과 비교하고, 상기 비교 결과에 따라 상기 상한값 또는 상기 하한값을 업데이트하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정할 수 있다.

[0011] 또한, 상기 각 릴레이들은 수신한 데이터에 대하여 HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request) 기법을 이용하여 오류를 정정하고, 오류가 정정된 데이터를 다른 릴레이로 전송할 수 있다.

[0012] 또 다른 예시적 실시예에 따르면, 선형 릴레이 네트워크에 포함된 릴레이들의 전송 전력 및 데이터 전송률을 결정하는 제어 방법에 있어서, 상기 선형 릴레이 네트워크의 장구간 평균 데이터 전송률(long-term average transmission rate)의 근사 함수를 상기 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정하는 단계 및 상기 결정된 전송 전력을 이용하여 상기 각 릴레이들 각각의 데이터 전송률을 결정하는 단계를 포함하고, 상기 각 릴레이에 대하여 결정된 전송 전력 및 상기 각 릴레이에 대하여 결정된 데이터 전송률은 상기 각 릴레이들간의 데이터 전송을 위하여 사용되는 제어 방법이 제공된다.

[0013] 여기서, 상기 전송 전력을 결정하는 단계는 상기 근사 함수의 미분의 역함수를 이용하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정할 수 있다.

[0014] 그리고, 상기 각 릴레이들의 전송 전력의 총합은 최대 전력값 이하로 제한되고, 상기 전송 전력을 결정하는 단계는 상기 근사 함수의 상기 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값에 대하여 개별적으로 상한값과 하한값을 설정하고, 상기 상한값들과 하한값들의 산술평균에서의 상기 역함수의 값들의 합을 상기 최대 전력값과 비교하고, 상기 비교 결과에 따라 상기 상한값 또는 상기 하한값을 업데이트하여 상기 각 릴레이들의 전송 전력을 결정할 수 있다.

[0015] 또한, 상기 각 릴레이들은 수신한 데이터에 대하여 HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request) 기법을 이용하여 오류를 정정하고, 오류가 정정된 데이터를 다른 릴레이로 전송할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 하기의 실시예들에 따르면, 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각 릴레이들의 전송 전력 및 데이터 전송률을 최적화 할 수 있다.

[0017] 하기의 실시예들에 따르면, 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각 릴레이들의 전송 전력을 결정할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0018] 도 1은 선형 릴레이 네트워크를 도시한 도면이다.

도 2는 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각 릴레이들의 동작을 단계별로 설명한 순서도이다.

도 3은 예시적 실시예에 따라 릴레이의 전송 전력을 결정하는 제어 장치의 구조를 도시한 블록도이다.

도 4는 예시적 실시예에 따라 릴레이의 전송 전력을 결정하는 제어 방법을 단계별로 설명한 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0019] 이하, 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.

[0020] 도 1은 선형 릴레이 네트워크를 도시한 도면이다.

[0021] 선형 릴레이 네트워크는 도 1에 도시된 바와 같이 여러 개의 릴레이들이 선형적으로 연결된 네트워크이다. 선형 릴레이 네트워크는 데이터를 최초로 전송하는 소스 노드(110), 데이터를 수신하는 목적 노드(150), 데이터를 포워딩하는 릴레이 노드(120, 130, 140)들을 포함한다. 여기서, 릴레이 노드(120, 130, 140), 소스 노드(110) 및 목적 노드(150)는 모두 '릴레이'라 말할 수 있다.

[0022] 선형 릴레이 네트워크에 포함된 릴레이(110, 120, 130, 140, 150)들은 인접한 어느 하나의 릴레이(110, 120, 130)로부터 데이터를 수신하고, 수신한 데이터를 인접한 다른 하나의 릴레이(130, 140, 150)로 전송한다. 데이터는 각 선형 릴레이 네트워크에 포함된 릴레이(110, 120, 130, 140, 150)를 순차적으로 경유하여 전송된다. 선형 릴레이 네트워크가 M+1개의 릴레이(110, 120, 130, 140, 150)를 포함하는 경우에, 데이터를 소스 노드(110)로부터 목적 노드(150)로 전송하기 위해서는 M 번의 데이터 전송(홉핑 Hopping)이 필요하다. 특히, 이하의 명세서에서는 m 번째 릴레이로부터 m+1 번째 릴레이로 데이터가 전송되는 경우, 이를 m번째 홉핑이라고 부르기로 한다.

[0023] 일측에 따르면, 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각 릴레이들(110, 120, 130, 140, 150)은 데이터의 오류를 정정하기 위하여 HARQ 기법을 이용할 수 있다. HARQ 기법은 FER(Forward Error Correction) 기법과 ARQ(Automatic Retransmit reQuest) 기법을 결합한 것이다. HARQ 기법에 따르면, 데이터를 수신한 노드는 채널 코딩 등의 FEC(Forward Error Correction) 기법을 이용하여 수신한 데이터에 발생한 오류를 정정한다. 만약, FEC 기법에 의해서 정정되지 못한 오류가 있다면 데이터를 수신한 노드는 해당 데이터에 대한 재전송 요구를 전송 장치로 전송하고, 재전송 요구에 따라 해당 데이터를 재수신할 수 있다.

[0024] 도 1에서, 소스 노드(110)는 제1 릴레이 노드(120)로 데이터를 전송하고, 제1 릴레이 노드(120)는 제2 릴레이 노드(130)로 데이터를 전송한다. 제2 릴레이 노드(130)가 수신한 데이터에 오류가 발생한 경우, 제2 릴레이 노드(130)는 제1 릴레이 노드(120)로 재전송 요구를 전송하고, 제2 릴레이 노드(130)는 제1 릴레이 노드(120)로부터 데이터를 재수신할 수 있다.

[0025] HARQ 기법에는 HARQ-CC(Chase Combining HARQ) 타입과 HARQ-IR(Incremental Redundancy HARQ) 타입이 있다. 여기서, HARQ-CC 타입은 오류가 있는 데이터를 폐기하지 않고, 재전송 받은 데이터와 결합하여 데이터 수신 성능을 향상시키는 기법이다. 또한, HARQ-IR 기법은 데이터를 재전송하는 경우에는 최초 전송시보다 더 낮은 데이터율(data rate)의 FEC 기법을 적용하는 기법으로서, 낮은 데이터율의 FEC 기법을 적용하는 경우 오류 발생 확률은 낮아진다.

[0026] 이하 본 명세서에서는 도 1에 도시된 각 릴레이들이 HARQ-IR 방식을 이용하여 데이터를 재전송하고, 오류를 정정하는 것으로 가정하여 설명한다. 또한, 도 1에 도시된 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각 릴레이(110, 120, 130, 140, 150)들의 전송 전력의 총합, 재전송으로 인한 전송 딜레이의 총합, 재전송 횟수는 제한된다고 가정한다.

[0027] 도 2는 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각 릴레이들의 동작을 단계별로 설명한 순서도이다.

[0028] 선형 릴레이 네트워크는 1개의 소스 노드, M-1 개의 릴레이 노드, 1개의 목적 노드를 포함할 수 있다. 각 릴레이들은 반 이중 방식(half-duplex)을 이용하여 데이터를 전송하며, 수신한 데이터를 디코딩한 후, 재인코딩하여 인접한 이웃 릴레이로 전송할 수 있다.

[0029] 단계(250)에서, 릴레이 $\mathcal{N}_{m-1}$ (210)는 수신 또는 생성한 b 비트의 정보를 인코딩하여 $\mathbf{c}_{m-1}$ 을 생성하고, 릴레이 $\mathcal{N}_m$ (220)으로 전송한다.

[0030]

릴레이 $\mathcal{N}_m$ (220)은 $\mathbf{c}_{m-1}$ 을 수신하고, 디코딩한다. 만약 $\mathbf{c}_{m-1}$ 에 오류가 발생하지 않은 경우, 릴레이 $\mathcal{N}_m$ (220)은 b 비트의 정보를 복원할 수 있다.

[0031]

단계(260)에서, 릴레이 $\mathcal{N}_m$ (220)은 b 비트의 정보를 재인코딩하여 $\mathbf{c}_m$ 을 생성한다. $\mathbf{c}_m$ 의 길이는 $T_m K$ 일 수 있다. 여기서, K 는 $\mathbf{c}_m$ 을 구성하는 서브 블록의 개수를 나타내고, T_m 은 각 서브 블록에 포함된 심볼의 개수를 나타낸다. 여기서, 각 서브 블록은 서로 다른 개수의 심볼을 포함할 수 있으며, 다른 서브 블록에 관계없이 개별적으로 디코딩 될 수 있다.

[0032]

도 2에 도시된 선형 릴레이 네트워크는 시간 슬롯을 단위로 하여 동작한다. 하나의 서브 블록을 하나의 시간 슬롯 동안 전송될 수 있다.

[0033]

릴레이 $\mathcal{N}_m$ (220)가 시간 슬롯 (s)에서 $\mathbf{c}_{m-1}$ 을 수신한 경우, 릴레이 $\mathcal{N}_m$ (220)은 시간 슬롯 (s+1)에서 $\mathbf{c}_m$ 을 릴레이 $\mathcal{N}_{m+1}$ (230)으로 전송할 수 있다.

[0034]

릴레이 $\mathcal{N}_{m+1}$ (230)은 수신한 $\mathbf{c}_m$ 을 디코딩한다. 만약 릴레이 $\mathcal{N}_{m+1}$ (230)가 $\mathbf{c}_m$ 의 디코딩에 성공한다면(수신한 $\mathbf{c}_m$ 에 오류가 없다면), 릴레이 $\mathcal{N}_{m+1}$ (230)은 단계(270)에서 $\mathbf{c}_{m+1}$ 를 재인코딩하고, 재인코딩된 $\mathbf{c}_{m+1}$ 를 릴레이 $\mathcal{N}_{m+2}$ (240)으로 전송할 수 있다. 단계(270)은 시간 슬롯 (s+2)에 대응된다.

[0035]

그러나, 단계(260)에서, 릴레이 $\mathcal{N}_{m+1}$ (230)가 $\mathbf{c}_m$ 의 디코딩에 실패한다면(수신한 $\mathbf{c}_m$ 의 첫 번째 서브 블록에 오류가 존재한다면) 릴레이 $\mathcal{N}_{m+1}$ (230)은 단계(280)에서 릴레이 $\mathcal{N}_m$ (220)으로 수신한 $\mathbf{c}_m$ 의 첫 번째 서브 블록에 대한 NACK를 전송한다. 여기서, NACK가 전송되는 단계(280)은 시간 슬롯 (s+1)에서 수행되는 것으로 가정할 수 있다.

[0036]

단계(290)에서, 릴레이 $\mathcal{N}_m$ (220)은 NACK에 응답하여 $\mathbf{c}_m$ 을 재수신할 수 있다. 일측에 따르면, 단계(290)에서 수신하는 $\mathbf{c}_m$ 은, 단계(260)에서 수신된 $\mathbf{c}_m$ 보다 낮은 데이터율로 인코딩된 것일 수 있다. 릴레이 $\mathcal{N}_m$ (220)은 재수신된 $\mathbf{c}_m$ 을 이용하여 b 비트의 정보를 복원할 수 있다. 단계(290)은 시간 슬롯 (s+2)에 대응된다.

[0037]

도 2에 도시된 실시예에서, b 비트의 정보를 소스 노드로부터 목적 노드까지 전송하기 위하여 필요한 재전송을 포함한 전송 횟수는 L 로 제한된다. 또한, m 번째 릴레이로부터 이웃한 $m+1$ 번째 릴레이 사이의 재전송 횟수는 L_m 으로 제한된다. 여기서, $\sum_{m=1}^M L_m = L$ 이다. 만약 m 번째 릴레이로부터 이웃한 $m+1$ 번째 릴레이 사이의 전송에서, L_m 번의 재전송에도 불구하고 데이터의 전송에 실패한다면, 해당 데이터는 폐기된

다. 일측에 따르면, L_m 은 모든 m 에 동일한 값을 가지며, $L_m = L/M$ 일 수 있다.

[0038]

도 2에 도시된 실시예에서, 각 릴레이들의 전송 전력의 총합은 P_{total} 로 제한될 수 있다.

[0039]

M 번째 홉의 첫 번째 HARQ 라운드에서의 데이터 전송률은 하기 수학식 1과 같이 나타낼 수 있다.

[0040]

[수학식 1]

[0041]

$$R_m \triangleq \frac{b}{T_m}, \forall m \text{ (bps/Hz)}$$

[0042]

여기서, R_m 의 값은 m 에 따라 달라질 수 있다.

[0043]

m 번째 홉핑에서, I 번째 메시지를 전송하기 위한 시간 슬롯의 개수를 S_m^i 라고 하면, D 개의 패킷을 전송하는 경우의 장구간 평균 데이터 전송률(long-term average transmission rate)은

$$Db / \left(\sum_{i=1}^D \sum_{m=1}^M T_m S_m^i \right)$$

이다. 여기서, D 가 매우 크거나 무한대라고 가정하면, 도 1 내지 2에 도시된 선형 릴레이 네트워크의 장구간 평균 데이터 전송률은 하기 수학식 2와 같이 나타낼 수 있다.

[0044]

[수학식 2]

$$\mathcal{T} = \frac{1}{\sum_{m=1}^M \mathbb{E}[S_m] / R_m} \text{ [bps/Hz]}$$

[0045]

[0046]

여기서, S_m 는 m 번째 홉핑에서의 전송 횟수를 나타낸다.

[0047]

도 3은 예시적 실시예에 따라 릴레이의 전송 전력을 결정하는 제어 장치의 구조를 도시한 블록도이다. 예시적 실시예에 따른 제어 장치는 전송 전력 결정부(310) 및 데이터 전송률 결정부(320)를 포함한다.

[0048]

전송 전력 결정부(310)는 선형 릴레이 네트워크에 포함된 릴레이(330, 340, 350)들의 전송 전력을 결정한다. 각 릴레이(330, 340, 350)들의 데이터 전송률은 전송 전력을 이용하여 결정될 수 있다.

[0049]

일측에 따르면 전송 전력 결정부(310)는 선형 릴레이 네트워크의 장구간 평균 데이터 전송률(long-term average transmission rate)에 기반하여 각 릴레이(330, 340, 350)들의 전송 전력을 결정할 수 있다.

[0050]

일측에 따르면, m 번째 홉핑에서의 데이터 전송률 R_m 은 m 번째 릴레이의 데이터 전송률이라고 할 수 있고, m

번째 홉핑에서의 전송 전력 P_m 은 m번째 릴레이의 전송 전력이라고 할 수 있다.

[0051]

먼저, m 번째 홉핑에서의 데이터 전송률 R_m 이 주어진 경우, m 번째 홉핑의 k 번째 HARQ 라운드 에서의 오류율(outage probability)은 하기 수학적 식 3과 같이 나타낼 수 있다.

[0052]

[수학적 식 3]

[0053]

$$p_{m,k}(R_m, P_m) = \Pr \left[\sum_{l=1}^k \log_2 (1 + |h_{m,l}|^2 P_m) < R_m \right]$$

[0054]

여기서, $p_{m,k}(R_m, P_m)$ 는 m번째 홉핑에서의 데이터 전송률 R_m 및 m 번째 홉핑에서의 전송 전력 P_m 가 결정된 경우 m 번째 홉핑의 k 번째 HARQ 라운드에서의 오류율이고, $h_{m,l}$ 는 m번째 홉핑의 l 번째 HARQ 라운드에서의 채널 상태이다.

[0055]

여기서, 각각의 홉핑은 통계적으로 독립적으로 수행된다고 가정할 수 있고, 하나의 패킷이 m번째 홉핑의 k번째 HARQ 라운드에서 성공적으로 디코딩될 확률은 하기 수학적 식 4와 같이 나타낼 수 있다.

[0056]

[수학적 식 4]

[0057]

$$q_{m,k}(R_m, P_m) = p_{m,k-1}(R_m, P_m) - p_{m,k}(R_m, P_m)$$

[0058]

수학적 식 3, 4를 참고하면, M+1개의 릴레이들로 구성된 선형 릴레이 네트워크의 전체 오류율(overall outage probability)는 하기 수학적 식 5와 같이 나타낼 수 있다.

[0059]

[수학적 식 5]

[0060]

$$\mathcal{P}_{M,L}(\mathbf{R}, \mathbf{P}) = \sum_{m=1}^M p_{m,L_m}(R_m, P_m)$$

[0061]

여기서, $\mathbf{R} = \{R_1, \dots, R_M\}$ 이고, $\mathbf{P} = \{P_1, \dots, P_M\}$ 이다. 수학적 식 5에서의 $\mathcal{P}_{M,L}(\mathbf{R}, \mathbf{P})$ 는 해당 패킷이 선형 릴레이 네트워크에서 드롭(drop)되어 최종적으로 전송 실패할 확률을 나타낸다.

[0062]

첫 번째 홉핑의 경우 데이터 전송률은 R_1 , 전송 전력은 P_1 이다. 이 경우 첫 번째 홉핑에서의 선형 릴레이 네트워크의 평균 전송 횟수는 하기 수학적 식 6과 같이 나타낼 수 있다.

[0063] [수학식 6]

[0064]

$$\mathbb{E}[S_1|R_1, P_1; L] = \sum_{k=1}^{L-1} k \cdot q_k(R_k, P_k) + L p_{L-1}(R_{L-1}, P_{L-1})$$

[0065]

$$= \sum_{l=0}^{L_1-1} p_{1,l}(R_1, P_1)$$

[0066] $m \geq 2$ 인 경우에는 이전 홉핑에서 전송된 패킷들이 모두 L_k 번째 라운드 이전 ($k = \{1, \dots, m-1\}^2$)에 성공적으로 디코딩된 경우에만 해당 패킷을 전송할 수 있다. 이하 간단히 $L_k = L/M$ 라고 가정할 수 있다. 따라서, m 번째 홉핑 ($2 \leq m \leq M$)에서 평균 전송 횟수는 하기 수학식 7과 같이 나타낼 수 있다.

[0067] [수학식 7]

[0068]

$$\begin{aligned} & \mathbb{E}[S_m|R_1, \dots, R_m, P_1, \dots, P_m; L] \\ &= \prod_{k=1}^{m-1} (1 - p_{k,L_k}(R_k, P_k)) \sum_{l=0}^{L_m-1} p_{m,l}(R_m, P_m) \end{aligned}$$

[0069] 수학식 3 내지 수학식 7을 참고하면, $M+1$ 개의 릴레이들을 포함하는 선형 릴레이 네트워크의 전송 전력 및 데이터 전송률을 결정하는 것은 하기 수학식 8의 최적화 문제를 해결하는 것으로 간주할 수 있다.

[0070] [수학식 8]

[0071]

$$\begin{aligned} & \max_{\mathbf{R}, \mathbf{P}} \mathcal{T}(\mathbf{R}, \mathbf{P}; L) \\ & \text{subject to} \quad \sum_{m=1}^M P_m \leq P^{\text{total}}, \\ & \quad \mathcal{P}_{M,L}(\mathbf{R}, \mathbf{P}) \leq \epsilon, \\ & \quad R_m \geq 0, P_m \geq 0 \text{ for all } m \end{aligned}$$

[0072] 여기서,
$$\mathcal{T}(\mathbf{R}, \mathbf{P}; L) = \frac{1}{\sum_{m=1}^M \mathbb{E}[S_m | R_1, \dots, R_m; L] / R_m}$$
 이고, $\epsilon > 0$ 이다.

[0073] 전송 전력 결정부(310)는 수학적 식 8의 최적화 문제를 해결하기 위하여 일부 수학적식을 근사화(approximation)할 수 있다.

[0074] 먼저, 전송 전력 결정부(310)는 선형 릴레이 네트워크에서 k가 증가하는 경우에 수학적 식 3에서의 log 성분을 하기 수학적 식 9와 같이 근사화할 수 있다.

[0075] [수학적 식 9]

$$\sum_{l=1}^k \log_2 \left(1 + |h_{m,l}|^2 P_m \right) \rightarrow \mathcal{N}(k\mu(P_m), k\gamma^2(P_m))$$

[0077] 여기서, $\mu(P)$ 는 하기 수학적 식 10과 같다.

[0078] [수학적 식 10]

$$\mu(P) = \mathbb{E}[\log_2(1 + |h_l|^2 P)] = \frac{e^{1/(\sigma^2 P)}}{\ln 2} E_1 \left(\frac{1}{(\sigma^2 P)} \right)$$

[0080] 여기서, $E_1(x)$ 는 지수 적분(exponential integral)을 나타낸다.

[0081] 또한, $\gamma^2(P)$ 는 하기 수학적 식 11과 같다.

[0082] [수학적 식 11]

$$\gamma^2(P) = \frac{2e^{1/(\sigma^2 P)}}{\sigma^2 P (\ln 2)^2} G_{3,4}^{4,0} \left(1/(\sigma^2 P) \left| \begin{matrix} 0, 0, 0 \\ 0, -1, -1, -1 \end{matrix} \right. \right) - \mu(P)^2$$

[0084] 여기서, $G_{p,q}^{m,n} \left(x \left| \begin{matrix} a_1, \dots, a_p \\ b_1, \dots, b_q \end{matrix} \right. \right)$ 는 메이지어 G 함수(Meijier G-function)를 나타낸다.

[0085] 수학적 식 9 내지 수학적 식 11을 고려하면, m 번째 홉핑의 k 번째 HARQ 라운드에서의 근사화된 오류율 $\hat{p}_{m,k}(R_m, P_m)$ 는 하기 수학적 식 12와 같이 나타낼 수 있다.

[0086] [수학식 12]

$$\hat{p}_{m,k}(R_m, P_m) = Q\left(\frac{k\mu(P_m) - R_m}{\sqrt{k}\gamma(P_m)}\right)$$

[0087]

[0088] 전송 전력 결정부(310)는 수학식 8에 기재된 최적화 문제를 하기 수학식 13과 같이 다른 형태로 표현할 수 있다.

[0089] [수학식 13]

$$\min_{\mathbf{R}} U(\mathbf{R}, \mathbf{P}; L)$$

[0090]

$$\text{subject to } \hat{\mathcal{P}}_{M,L}(\mathbf{R}, \mathbf{P}) \leq \epsilon$$

[0091]

$$R_m > 0$$

[0092]

[0093] 여기서, $U(\mathbf{R}, \mathbf{P}; L)$ 는 하기 수학식 14와 같이 나타낼 수 있고, $\hat{\mathcal{P}}_{M,L}(\mathbf{R}, \mathbf{P})$ 는 하기 수학식 15와 같이 나타낼 수 있다.

[0094] [수학식 14]

$$U(\mathbf{R}, \mathbf{P}; L) = \sum_{m=1}^M \frac{\prod_{k=1}^{m-1} (1 - \hat{p}_{k,L_k}(R_k, P_k)) \sum_{l=0}^{L_m-1} \hat{p}_{m,l}(R_m, P_m)}{R_m}$$

[0095]

[0096] [수학식 15]

$$\hat{\mathcal{P}}_{M,L}(\mathbf{R}, \mathbf{P}) = \sum_{m=1}^M \hat{p}_{m,L_m}(R_m, P_m)$$

[0097]

[0098] 수학식 13의 최적해(optimal solution)을 구하는 것은 매우 어렵과 많은 계산량을 필요로 하므로, 전송 전력 결정부(310)는 수학식 13의 준최적해(sub-optimal solution)를 구할 수 있다. 전송 전력 결정부는 수학식 13의 준최적해를 구하기 위하여 수학식 16에 기재된 두 가지 제한 조건(constraint)를 추가할 수 있다.

[0099] [수학식 16]

$$[0100] \quad \hat{p}_m(R_m, P_m) \leq \epsilon_m, \forall m$$

$$[0101] \quad \sum_{m=1}^M \epsilon_m = \epsilon \quad (\forall \epsilon_m > 0)$$

[0102] 이 경우에, 전송 전력 결정부(310)는 m번째 홉에서의 데이터 전송률 R_m 들 중에서 가장 큰 값을 가지는 R_m 을 하기 수학식 17과 같이 준최적해로 결정할 수 있다.

[0103] [수학식 17]

$$[0104] \quad \begin{aligned} R_{\text{sub},m} &= \max R_m \\ \text{subject to } \hat{p}_{m,L_m}(R_m, P_m) &\leq \epsilon_m, R_m \geq 0 \end{aligned}$$

[0105] 수학식 17의 해는 $\hat{p}_{m,L_m}(R_m, P_m) = \epsilon_m$ 를 풀어 얻을 수 있으며, 하기 수학식 18과 같이 나타낼 수 있다.

[0106] [수학식 18]

$$[0107] \quad R_{\text{sub},m}(P_m) = \left[L_m \mu_m(P_m) - \sqrt{L_m} \gamma_m(P_m) Q^{-1}(\epsilon_m) \right]^+$$

[0108] 여기서, $(\cdot)^+$ 는 $\max(0, \cdot)$ 를 나타낸다.

[0109] 수학식 18에서, 준최적의 해인 $R_{\text{sub},m}$ 를 m번째 홉에서의 전송 전력 P_m 의 함수로 나타내었으나, 여전히 $R_{\text{sub},m}$ 의 정확한 값을 구하지는 못하였다. 여기서, 수학식 14는 하기 수학식 19와 같이 변형하여 나타낼 수 있다.

[0110] [수학식 19]

$$[0111] \quad \min_{\mathbf{P}} U(\mathbf{R}_{\text{sub}}(\mathbf{P}), \mathbf{P}; L)$$

[0112]

일측에 따르면, 전송 전력 결정부(310)는 L의 값이 매우 큰 값이라고 가정하고 다시 근사화할 수 있다.

$$\min_{\mathbf{P}} U(\mathbf{R}_{\text{sub}}(\mathbf{P}), \mathbf{P}; L)$$

를

[0113]

L의 값이 매우 큰 경우에는 하기 수학적 20과 같이 근사화 할 수 있다.

[0114]

[수학적 20]

$$\frac{R_{\text{sub},m}}{\sum_{l=0}^{L_m-1} \hat{p}_{m,l}(R_{\text{sub},m}, P_m)} \rightarrow \mu(P_m)$$

[0115]

[0116]

따라서, 수학적 19는 수학적 21과 같이 근사화할 수 있다.

[0117]

[수학적 21]

$$\lim_{L \rightarrow \infty} U(\mathbf{R}_{\text{sub}}, \mathbf{P}; L) \rightarrow \sum_{m=1}^M \frac{\prod_{k=1}^{m-1} (1 - \epsilon_k)}{\mu_m(P_m)}$$

[0118]

[0119]

여기서, ϵ 이 매우 작은 값이라면, ϵ_m 값에 따른 장구간 평균 데이터 전송률의 값의 변화는 크지 않다. 따라서, 수학적 16을 참고하여 $\epsilon_m = \epsilon/M$ 라 할 수 있다. 이 경우에, 수학적 8은 수학적 21을 참고하여 하기 수학적 22와 같이 나타낼 수 있다.

[0120]

[수학적 22]

$$\min_{\mathbf{P}} \overline{U}(\mathbf{P})$$

[0121]

$$\text{subject to } \sum_{m=1}^M P_m \leq P^{\text{total}}$$

[0122]

$$P_m \geq 0 \quad \forall m$$

[0123]

$$\overline{U}(\mathbf{P}) = \sum_{m=1}^M \frac{\prod_{k=1}^{m-1} (1 - \epsilon_k)}{\mu_m(P_m)}$$

[0124]

여기서,

이다.

[0125] 일측에 따르면, 전송 전력 결정부(310)는 Karush-Kuhn-Tucker 알고리즘을 이용하여 수학식 22의 해를 수학식 23과 같이 얻을 수 있다.

[0126] [수학식 23]

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{U}(\mathbf{P})}{dP_m} - \lambda_m &= -\lambda_0, \forall m \\ \lambda_m P_m &= 0, \text{ and } \lambda_m \geq 0, \forall m \\ \sum_{m=1}^M P_m &\leq P^{\text{total}}, \text{ and } P_m \geq 0, \forall m \end{aligned}$$

[0127]

[0128] 여기서, P_m 이 '0'으로 근접하면 $\bar{U}(\mathbf{P})$ 의 값은 무한대로 증가한다. 따라서, $\bar{U}(\mathbf{P})$ 을 최소화하기 위해서는 $P_m = 0$ 인 경우는 제외해야 한다. 수학식 23의 두 번째 식을 참고하면 $\lambda_m = 0, \forall m$ 이라고 할 수 있다. 따라서, 전송 전력 결정부(310)는 하기 수학식 24의 두 제한 조건을 만족하는 해를 찾을 수 있다.

[0129] [수학식 24]

$$\frac{d\bar{U}(\mathbf{P})}{dP_m} = -\lambda_0, \forall m$$

[0130]

$$\sum_{m=1}^M P_m \leq P^{\text{total}}$$

[0131]

[0132] 이 경우에, $\frac{d\bar{U}(\mathbf{P})}{dP_m} = V_m(P_m)$ 이라 한다면, $V_m(P_m)$ 는 하기 수학식 25와 같이 나타낼 수 있다.

[0133] [수학식 25]

$$V_m(x) = \frac{\ln 2 e^{-\frac{1}{\sigma_m^2 x}} \prod_{k=1}^{m-1} (1 - \epsilon_k)}{x E_1(1/(\sigma_m^2 x))} \left(\frac{1}{\sigma_m^2 x} - \frac{e^{-\frac{1}{\sigma_m^2 x}}}{E_1(1/(\sigma_m^2 x))} \right)$$

[0134]

[0135] 수학식 25에 기재된 $V_m(x)$ 는 단조 증가 함수(monotonic increasing function)이다. 따라서, 전송 전력 결정

부(310)는 $\sum_{m=1}^M V_m^{-1}(-\lambda_0) = P^{\text{total}}$ 를 만족하는 λ_0 를 하기 알고리즘을 이용하여 구할 수 있다.

Set initial values: $\Delta_0^{<0>}$, $\bar{\lambda}_0^{<0>}$, and $k = 0$.
 While $\left| P^{\text{total}} - \sum_{m=1}^M V_m^{-1}(\Delta_0^{<k>}) \right| < \phi$
 If $\sum_{m=1}^M V_m^{-1}(0.5(\Delta_0^{<k>} + \bar{\lambda}_0^{<k>})) \leq P^{\text{total}}$,
 $\Delta_0^{<k+1>} = 0.5(\Delta_0^{<k>} + \bar{\lambda}_0^{<k>})$ and $\Delta_0^{<k+1>} = \Delta_0^{<k>}$.
 Otherwise,
 $\Delta_0^{<k+1>} = \Delta_0^{<k>}$ and $\bar{\lambda}_0^{<k+1>} = 0.5(\Delta_0^{<k>} + \bar{\lambda}_0^{<k>})$.
 $k = k + 1$,
 End
 $P_m^* = V_m^{-1}(\Delta_0^{<k>})$, $\forall m$.

[0136]

[0137] 여기서, $\Delta_0^{<0>}$ 는 근사 함수 $\bar{U}(\mathbf{P})$ 가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값 λ_0 의 하한값이고, $\bar{\lambda}_0^{<0>}$ 는 근사 함수 $\bar{U}(\mathbf{P})$ 가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값 λ_0 의 상한값으로서, $< >$ 내부의 첨자 '0'는 하한값과 상한값의 초기값임을 나타낸다. 여기서, $\Delta_0^{<0>}$ 는 $\bar{\lambda}_0^{<0>}$ 보다 작은 값으로 설정될 수 있다. 근사 함수 $\bar{U}(\mathbf{P})$ 가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값 λ_0 은 하한값 $\Delta_0^{<0>}$ 과 상한값 $\bar{\lambda}_0^{<0>}$ 사이의 범위에 위치하는 것으로 가정된다.

[0138]

알고리즘을 참고하면, 전송 전력 결정부(310)는 근사 함수의 미분의 역함수 V_m^{-1} 를 이용하여 각 릴레이들의 전송 전력을 결정한다. 전송 전력 결정부(310)는 상한값과 하한값의 산술 평균($0.5(\Delta_0^{<k>} + \bar{\lambda}_0^{<k>})$)에서 근사 함수의 미분값 $V_m(P_m)$ 의 역함수 $V_m^{-1}(0.5(\Delta_0^{<k>} + \bar{\lambda}_0^{<k>}))$ 의 값을 산출한다.

[0139]

여기서, 각 릴레이들의 전송 전력의 총합은 최대 전력값 P^{total} 이하로 제한된다

$$\left(\sum_{m=1}^M P_m \leq P^{\text{total}}, P_m \geq 0 \forall m \right).$$

[0140]

전송 전력 결정부(310)는 상한값과 하한값의 산술 평균($0.5(\Delta_0^{<k>} + \bar{\lambda}_0^{<k>})$)에서 각 릴레이들의 전송 전력

P_m 에 대한 근사 함수의 미분값 $\frac{d\bar{U}(\mathbf{P})}{dP_m}$ 의 역함수 V_m^{-1} 의 값들을 각각 산출하고, 산출된 역함수의 값들의 합을 최대 전력값 P^{total} 와 비교한다. 일측에 따르면, 전송 전력 결정부(310)는 비교 결과에 따라서 상한값 또는 하한값을 업데이트할 수 있다.

[0141]

예를 들어, 알고리즘에서는 산출된 역함수의 값들의 합이 최대 전력값보다 작은 경우에, 전송 전력 결정부(310)는 하한값과 상한값의 산술 평균을 새로운 하한값으로 업데이트할 수 있다. 또한, 산출된 역함수의 값들의 합이 최대 전력값보다 큰 경우에, 전송 전력 결정부(310)는 하한값과 상한값의 산술 평균을 새로운 하한 값으로 업데이트할 수 있다.

[0142] 계산이 거듭됨에 따라서, 하한값과 상한값의 차이는 감소한다. 근사함수가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값은 하한값과 상한값 사이의 범위에 위치하는 것으로 가정된다. 따라서, 계산이 반복되면 근사함수가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값을 오차 범위 이내로 결정할 수 있다.

[0143] 일측에 따르면, 전송 전력 결정부(310)는 근사함수가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값을 역함수의 입력으로 하여 각 릴레이들의 전송 전력을 결정할 수 있다. 전송 전력 결정부(310)는 하기 수학식 26에 따라서 각 릴레이들(330, 340, 350)의 전송 전력을 결정할 수 있다.

[0144] [수학식 26]

[0145]
$$P_m^* = V_m^{-1} \left(\underline{\lambda}_0^{<k>} \right), \forall m$$

[0146] 데이터 전송률 결정부(320)는 결정된 전송 전력을 이용하여 각 릴레이들(330, 340, 350)들의 데이터 전송률 R_m 을 결정할 수 있다. 일측에 따르면, 데이터 전송률 결정부(320)는 수학식 18을 이용하여 데이터 전송률 R_m 을 결정할 수 있다.

[0147] 도 3에서 설명된 실시예에 따라 결정된 m번째 릴레이의 데이터 전송률 R_m 및 m번째 릴레이의 전송 전력 P_m 은 m번째 릴레이로부터 m+1 번째 릴레이로의 데이터 전송을 위하여 사용될 수 있다.

[0148] 도 3에서 설명된 실시예에 따르면, 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각각의 릴레이들(330, 340, 350)에 대하여 최적의 전송 전력 및 데이터 전송률을 결정할 수 있다. 따라서, 각 릴레이(330, 340, 350)들의 전송 전력의 총합이 제한된 경우 또는 각 릴레이(330, 340, 350)들이 배터리를 이용하여 동작 하는 경우에 에너지를 효율적으로 이용하며 데이터를 전송할 수 있다.

[0149] 도 4는 예시적 실시예에 따라 릴레이의 전송 전력을 결정하는 제어 방법을 단계별로 설명한 순서도이다.

[0150] 단계(410) 내지 단계(440)에서, 제어 장치는 선형 릴레이 네트워크의 장구간 평균 데이터 전송률의 근사 함수를 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분하여 각 릴레이들의 전송 전력을 결정할 수 있다. 선형 릴레이 네트워크에 포함된 각각의 릴레이들은 수신한 데이터에 대하여 HARQ 기법을 이용하여 오류를 정정하고, 오류가 정정된 데이터를 다른 릴레이로 전송할 수 있다.

[0151] 단계(410)에서, 제어 장치는 근사 함수 $\bar{U}(\mathbf{P})$ 가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값 λ_0 의 하한값 $\underline{\lambda}_0^{<0>}$ 및 근사 함수 $\bar{U}(\mathbf{P})$ 가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값 λ_0 의 상한값 $\bar{\lambda}_0^{<0>}$ 을 설정한다.

[0152] 단계(420) 내지 단계(440)에서, 제어 장치는 근사 함수 $\bar{U}(\mathbf{P})$ 의 미분 $\frac{d\bar{U}(\mathbf{P})}{dP_m}$ 의 역함수 V_m^{-1} 를 이용하여 각 릴레이들의 전송 전력을 결정한다.

[0153] 단계(420)에서, 제어 장치는 상한값과 하한값의 산술 평균($0.5(\underline{\lambda}_0^{<k>} + \bar{\lambda}_0^{<k>})$)에서 각 릴레이들의 전송 전력 P_m 에 대한 근사 함수 $\bar{U}(\mathbf{P})$ 의 미분값 $\frac{d\bar{U}(\mathbf{P})}{dP_m}$ 의 역함수 $V_m^{-1} \left(0.5(\underline{\lambda}_0^{<k>} + \bar{\lambda}_0^{<k>}) \right)$ 의 값을 각 릴레이들에 대하여 각각 산출한다. 제어 장치는 각각 산출된 역함수의 값들의 합을 최대 전력값 P^{total} 와 비교한다.

[0154] 단계(430) 내지 단계(440)에서, 제어 장치는 비교 결과에 따라서 상한값 또는 하한값을 업데이트할 수 있다. 예

를 들어, 산출된 역함수의 값들의 합이 최대 전력값 P^{total} 보다 큰 경우에, 제어 장치는 단계(440)에서 하한값과 상한값의 산술 평균을 새로운 상한값으로 업데이트할 수 있다. 일측에 따르면, 제어 장치는 하기 수학적 식 27에 따라서 상한값을 업데이트하고, 하한값은 그대로 유지할 수 있다.

[0155] [수학적 식 27]

$$\overline{\lambda}_0^{<k+1>} = 0.5(\underline{\lambda}_0^{<k>} + \overline{\lambda}_0^{<k>})$$

[0157] 역함수의 값들의 합이 최대 전력값 P^{total} 보다 작은 경우에, 제어 장치는 단계(440)에서 하한값과 상한값의 산술 평균을 새로운 하한값으로 업데이트할 수 있다. 일측에 따르면, 제어 장치는 하기 수학적 식 28에 따라서 하한값을 업데이트하고, 상한값은 그대로 유지할 수 있다.

[0158] [수학적 식 28]

$$\underline{\lambda}_0^{<k+1>} = 0.5(\underline{\lambda}_0^{<k>} + \overline{\lambda}_0^{<k>})$$

[0160] 단계(450)에서, 제어 장치는 산출된 해가 종료 조건을 만족하는지 여부를 판단한다. 일측에 따르면, 종료 조건은 산출된 역함수의 값들의 합과 최대 전력값 P^{total} 과의 차이가 미리 결정된 오차값 ϕ 보다 작은 것일 수 있다. 만약 산출된 역함수의 값들의 합과 최대 전력값 P^{total} 과의 차이가 미리 결정된 오차값 ϕ 보다 큰 경우에, 제어 장치는 단계(420)에서 각각 산출된 역함수의 값들의 합을 최대 전력값 P^{total} 과 비교한다.

[0161] 만약 산출된 역함수의 값들의 합과 최대 전력값 P^{total} 과의 차이가 미리 결정된 오차값 ϕ 보다 큰 경우에, 제어 장치는 반복 계산을 중단한다.

[0162] 근사함수가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값은 하한값 $\underline{\lambda}_0^{<k>}$ 과 상한값 $\overline{\lambda}_0^{<k>}$ 사이의 범위에 위치하는 것으로 가정된다. 따라서, 계산이 반복되면 근사함수가 각 릴레이들의 전송 전력에 대하여 미분된 값 $\lambda_0^{<k>}$ 을 오차 범위 이내로 결정할 수 있다.

[0163] 제어 장치는 하기 수학적 식 29에 따라서 각 릴레이들의 전송 전력 P_m 을 결정할 수 있다.

[0164] [수학적 식 29]

$$P_m = V_m^{-1} \left(\underline{\lambda}_0^{<k>} \right), \forall m$$

[0165]

[0166] 제어 장치는 결정된 전송 전력을 이용하여 단계(460)에서는 각 릴레이들 각각의 데이터 전송률 R_m 을 결정한다. 일측에 따르면, 제어 장치는 수학적 식 18에 따라서 각 릴레이들의 데이터 전송률 R_m 을 결정할 수 있다.

[0167] 도 4에서 설명된 실시예에 따라 결정된 m번째 릴레이의 데이터 전송률 R_m 및 m번째 릴레이의 전송 전력 P_m 은 m번째 릴레이로부터 m+1 번째 릴레이로의 데이터 전송을 위하여 사용될 수 있다.

[0168] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 실시예를 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다. 상기된 하드웨어 장치는 실시예의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0169] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.

[0170] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

부호의 설명

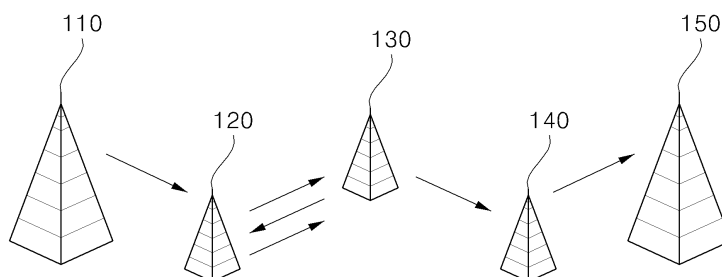
[0171] 110: 소스 노드

120, 130, 140: 릴레이 노드

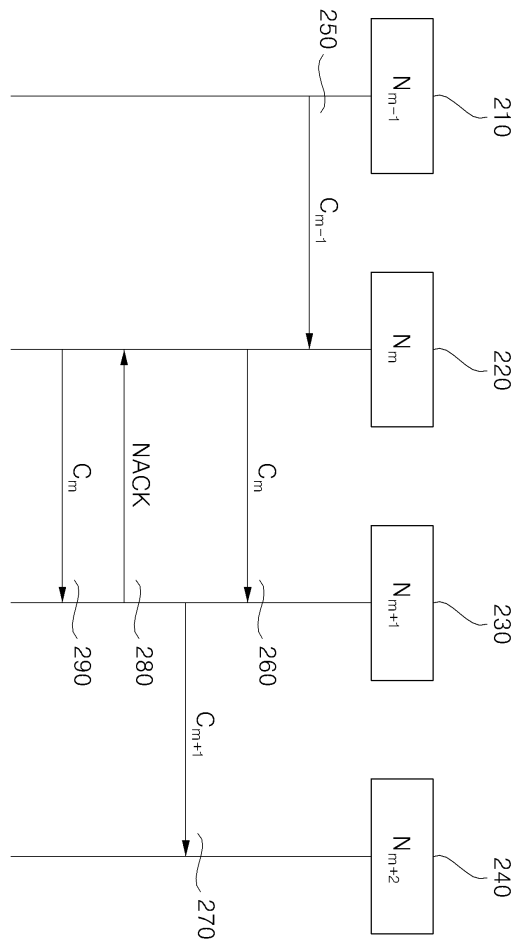
150: 목적 노드

도면

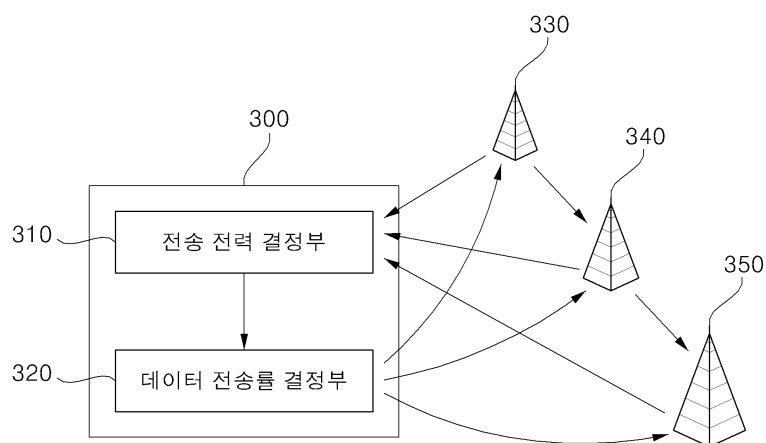
도면1



도면2



도면3



도면4

