



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0128129
(43) 공개일자 2010년12월07일

(51) Int. Cl.

H04B 7/14 (2006.01) H04W 84/04 (2009.01)

H04L 27/26 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0046590

(22) 출원일자 2009년05월27일

심사청구일자 2009년05월27일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울 성북구 안암동5가 1

(72) 발명자

강충구

서울특별시 성북구 안암동1가 삼성래미안아파트
110동 802호

강혜중

부산광역시 남구 용호3동 378-52 11/6

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

전중학

전체 청구항 수 : 총 22 항

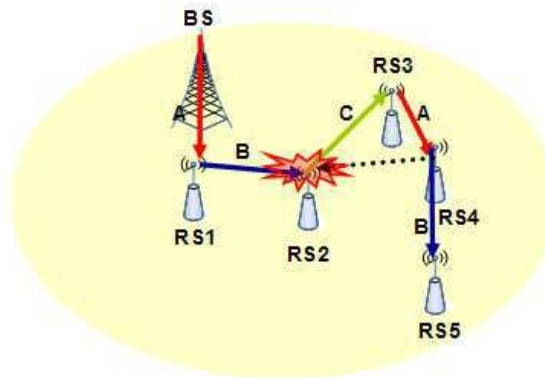
(54) 셀룰러 TDD-OFDMA 시스템에서 다중 홉 릴레이를 위한 동적 토폴로지 제어 방법

(57) 요약

본 발명은 셀룰러 시분할 직교주파수분할다중접속(TDD-OFDMA) 시스템에서 다중 홉(multi-hop) 릴레이를 위한 동적 토폴로지 제어 방법에 관한 것으로, 본 발명의 동적 토폴로지 제어 방법은, $K(K \geq 2)$ 개로 분할된 릴레이 존의 서브 존들이 다른 레이어에서 재사용되는 자원 재사용 단계; 중계기(RS)들을 다른 계층의 레이어들에 배치하는 릴레이 계층화 단계; 및 상위 레이어의 동일한 상위 중계기(RS)에 연결되는 중계기(RS)들의 집합을 찾는 릴레이 집산화 단계를 포함한다.

본 발명에 따르면 다중 홉 릴레이 시스템에서 릴레이 링크를 위해 자원을 재사용할 경우 발생하는 간섭을 각 릴레이 링크별 트래픽 부하에 따라 조절하여 다중 홉 릴레이 링크의 품질 및 성능을 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도4



(72) 발명자

박진우

서울특별시 강남구 도곡2동 도곡렉슬아파트 412동
1604호

김재현

서울특별시 서초구 서초4동 서초래미안아파트 108
동 1703호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 ITAA1100080100290001000100100

부처명 정보통신연구진흥원

연구관리전문기관

연구사업명 IT원천기술개발

연구과제명 서비스 가용성을 위한 이동성 관리 기술 연구

기여율

주관기관

연구기간 2008년 03월 01일 ~ 2009년 02월 28일

특허청구의 범위

청구항 1

셀룰러 TDD-OFDMA 시스템에서 다중 홉 릴레이를 위한 릴레이 계층화 방법에 있어서,

- (a) 중계기와 기지국간 링크의 신호대 간섭 및 잡음비(SINR)를 측정하여 기지국과 최고의 연결을 가지는 중계기들을 선택하여 레이어 1에 속하는 중계기들의 집합을 형성하는 단계;
- (b) 상기 레이어 1에 포함될 수 있는 중계기들이 추가로 선택되는 단계;
- (c) 상기 레이어 1과 최고의 연결을 가지는 중계기가 선택되어 레이어 2에 속하는 중계기들의 집합을 형성하는 단계;
- (d) 상기 레이어 2에서 하위 중계기를 가질 수 있는 중계기의 집합이 형성되는 단계; 및
- (e) 상기 레이어 2에 포함될 수 있는 중계기들이 추가로 선택되는 단계를 포함하는 릴레이 계층화 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 릴레이 계층화 방법은,

레이어가 결정된 중계기들 중에서 레이어가 결정되지 않은 중계기의 간섭원으로 작용할 중계기를 결정하는 단계를 더 포함하는 릴레이 계층화 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 상기 간섭원으로 작용할 중계기는 상기 레이어가 결정된 중계기들 중에서 상기 레이어가 결정되지 않은 중계기가 수신하는 신호의 세기가 미리 정해진 값 이상인 중계기를 간섭원에서 제외하는 방식으로 결정되는 것을 특징으로 하는 릴레이 계층화 방법.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 미리 정해진 값은 경로 손실만을 고려하고 N개의 중계기가 균일하게 분포한다고 가정했을 때 인근 중계기까지의 평균 거리를 다음의 수학식에 따라 신호 세기로 환산한 값인 것을 특징으로 하는 릴레이 계층화 방법.

$$T_{RSS} = 10 \left(\log P_{Tx,RS} - \alpha \log \left(\frac{2R_{BS}}{\sqrt{N}} \right) \right)$$

여기서 $P_{Tx,RS}$ 는 중계기의 전송 전력이고, α 는 채널 양상에 따른 경로 손실 지수이며, R_{BS} 는 BS의 커버리지이고,

$\frac{2R_{BS}}{\sqrt{N}}$ 는 중복되지 않은 RS의 커버리지이다.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 (a) 단계는 다음의 수학식에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 릴레이 계층화 방법.

$$H_1 = \left\{ r_{k^*} \mid k^* = \arg \max_{k \in \{j \mid r_j \in S\}} C_{0,k} \right\}$$

여기서 H_1 은 레이어 1에 속하는 중계기들의 집합이고, $C_{0,k}$ 는 기지국과 중계기 r_k 사이의 링크에서 데이터 전송률이다.

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 (b) 단계는,

(b-1) 상기 (a) 단계에서 선택되지 않은 중계기들로 상기 레이어 1의 후보 집합을 형성하는 단계; 및

(b-2) 상기 (a) 단계에서 선택된 중계기들을 통하는 것보다 상기 기지국으로의 직접 연결을 통해 더 큰 용량을 달성할 수 있는 중계기들이 상기 후보 집합에서 추가로 선택되어 상기 레이어 1에 포함되는 단계를 포함하는 릴레이 계층화 방법.

청구항 7

제6항에 있어서, 상기 후보 집합에서 상기 레이어 1에 포함될 수 있는 중계기가 더 이상 발견되지 않을 때까지 상기 (b-1) 단계 및 (b-2)가 반복되는 단계를 더 포함하는 릴레이 계층화 방법.

청구항 8

제6항에 있어서, 상기 (b-2) 단계는 다음의 수학식에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 릴레이 계층화 방법.

$$H_1 \leftarrow H_1 \cup \left\{ r_k \left| \frac{1}{C_{0,k}} \leq \frac{1}{C_{0,m}} + \frac{1}{|H_1| C_{m,k}}, r_m \in H_{1,S} \right. \right\}$$

여기서 여기서 H_1 은 레이어 1에 속하는 중계기들의 집합이고, $C_{0,k}$ 및 $C_{0,m}$ 은 각각 기지국과 중계기 r_k , r_m 사이의 링크에서 데이터 전송률이며, $H_{1,S}$ 는 다음 레이어에서 하위 중계기를 가질 수 있는 중계기들의 집합이다.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 (c) 단계는 다음의 수학식에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 릴레이 계층화 방법.

$$H_2 = \bigcup_{n \in \{j | r_j \in H_1\}} \left\{ r_{k^*} \mid k^* = \arg \max_{k \in \{j | r_j \in U\}} C_{n,k} \right\}$$

여기서, H_2 는 레이어 2에 속하는 중계기들의 집합이고, $C_{n,k}$ 는 중계기 r_n 과 r_k 사이의 데이터 전송률이다.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 (d) 단계는 다음의 수학식을 통해 상위 레이어에서 중계기들에게 잠재적으로 간섭을 일으킬 수 있는 중계기를 줄이는 것을 특징으로 하는 릴레이 계층화 방법.

$$H_{2,S} = \left\{ r_k^* \mid IF_k^* = \min_{\substack{i \in \{j \mid r_j \in \bigcup_{m=0}^{M-1} H_m\}}} \frac{RSS_{i',i}}{RSS_{k^*,i}} < \eta_{th}, \right. \\ \left. r_k^* \in H_M, r_{i'} = s_i, r_i \in H_n, \right. \\ \left. M \bmod K = (n+1) \bmod K, M = 2 \right\}$$

여기서 $H_{2,S}$ 는 다음 레이어에서 하위 중계기를 가질 수 있는 중계기들의 집합이고, IF_k 는 중계기 r_k 의 간섭지수이며, η_{th} 는 과도한 간섭을 유발하는 중계기를 제거하기 위한 임계값이다.

청구항 11

제1항에 있어서, 상기 (e) 단계는,

(e-1) 상기 레이어 1에 포함된 중계기들과 상기 (c) 단계에서 선택된 중계기들을 제외하고 남은 중계기들로 레이어 2의 후보 집합을 형성하는 단계; 및

(e-2) 상기 (d) 단계에서 형성된 집합에 속하는 중계기를 통해 더 큰 용량을 달성할 수 있는 중계기들이 상기 후보 집합에서 선택되어 상기 레이어 2에 포함되는 단계를 포함하는 릴레이 계층화 방법.

청구항 12

제11항에 있어서, 상기 후보 집합에서 상기 레이어 2에 포함될 수 있는 중계기가 더 이상 발견되지 않을 때까지 상기 (e-1) 단계 및 (e-2)가 반복되는 단계를 더 포함하는 릴레이 계층화 방법.

청구항 13

제11항에 있어서, 상기 (e-2) 단계는 다음의 수학적식에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 릴레이 계층화 방법.

$$H_2 \leftarrow H_2 \cup \left\{ r_k \mid \frac{1}{C_{j,k}} \leq \frac{1}{C_{j,m}} + \frac{1}{|H_2| C_{k,m}}, r_j \in H_1, r_m \in H_{2,S} \right\}$$

여기서 H_1 과 H_2 는 각각 레이어 1과 레이어 2에 속하는 중계기들의 집합이고, $C_{j,k}$, $C_{j,m}$, $C_{k,m}$ 은 각각 해당 중계기들 사이의 링크에서 데이터 전송률이며, $H_{2,S}$ 는 다음 레이어에서 하위 중계기를 가질 수 있는 중계기들의 집합이다.

청구항 14

셀룰러 TDD-OFDMA 시스템에서 다중 홉 릴레이를 위한 릴레이 집산화 방법에 있어서,

(a) 상위 중계기와의 링크에서 최소 신호대 간섭 잡음비(SINR)를 가지는 중계기가 테스트 중계기로 선정되는 단계;

(b) 상기 테스트 중계기의 하위 중계기들의 집합에 속하는 각 중계기에 대한 임시 상위 중계기와 임시 실효 지연이 결정되는 단계; 및

(c) 상기 결정된 임시 토폴로지에 대한 임시 실효 지연에 따라 실제 상위 중계기가 선택되는 단계를 포함하는

릴레이 집단화 방법.

청구항 15

제14항에 있어서, 상기 (b) 단계는,

(b-1) 상기 임시 상위 중계기가 고정되지 않은 상기 테스트 중계기의 하위 중계기들의 집합에서 가장 작은 임시 실효 지연을 가지는 중계기의 임시 상위 중계기를 고정하는 단계;

(b-2) 상기 임시 상위 중계기가 고정되지 않은 상기 테스트 중계기의 하위 중계기들의 집합의 중계기들이 상기 임시 상위 중계기가 고정된 중계기에 의한 간섭 및 트래픽 부하를 반영하여 임시 실효 지연을 다시 계산하는 단계; 및

(b-3) 상기 임시 상위 중계기가 고정되지 않은 상기 테스트 중계기의 하위 중계기들의 집합에 속하는 모든 중계기들에 대하여 상기 임시 상위 중계기가 고정될 때까지 상기 (b-1) 단계 및 (b-2) 단계를 반복하는 단계를 포함하는 릴레이 집단화 방법.

청구항 16

제14항에 있어서, 상기 임시 상위 중계기 및 상기 임시 실효 지연은 다음의 수학적식에 의해 계산되는 것을 특징으로 하는 릴레이 집단화 방법.

$$\hat{s}_m = r_{k^*} \quad \text{such that} \quad k^* = \arg \min_{k \in \{j | r_j \in H_{n-1, S}\}} R_{eff, n}$$

$$\hat{R}_{eff, n} = R_{eff, n} \quad \text{when} \quad \hat{s}_m = r_{k^*}$$

여기서 $\hat{s}_m$ 은 임시 상위 중계기이고, $\hat{R}_{eff, n}$ 은 임시 실효 지연이다.

청구항 17

제14항에 있어서, 상기 (c) 단계는,

상기 (b) 단계에서 결정된 새로운 토폴로지가 상기 (a) 단계의 토폴로지에 비해 실효 지연이 감소된 경우, 상기 (b) 단계에서 결정된 임시 상위 중계기를 실제 상위 중계기로 선택하는 단계; 및

상기 (b) 단계에서 결정된 새로운 토폴로지가 상기 (a) 단계의 토폴로지에 비해 실효 지연이 감소되지 않은 경우, 상기 (a) 단계의 토폴로지 그대로 복구시키는 단계를 포함하는 릴레이 집단화 방법.

청구항 18

셀룰러 TDD-OFDMA 시스템에서 다중 홉 릴레이를 위한 동적 토폴로지 제어 방법에 있어서,

K(K≥2)개로 분할된 릴레이 존의 서브 존들이 다른 레이어에서 재사용되는 자원 재사용 단계;

중계기(RS)들을 다른 계층의 레이어들에 배치하는 릴레이 계층화 단계; 및

상위 레이어의 동일한 상위 중계기(RS)에 연결되는 중계기(RS)들의 집합을 찾는 릴레이 집단화 단계를 포함하는 동적 토폴로지 제어 방법.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 자원 재사용 단계는,

다중 홉 릴레이 프레임의 릴레이 존을 $K(K \geq 2)$ 개의 서브 존으로 분할하는 단계; 및

상기 분할된 서브 존들이 매 $K(K \geq 2)$ 홉마다 다른 레이어에서 재사용되는 단계를 포함하는 동적 토폴로지 제어 방법.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 K 는 3인 것을 특징으로 하는 동적 토폴로지 제어 방법.

청구항 21

제18항에 있어서, 상기 릴레이 계층화 단계는, 제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 따른 릴레이 계층화 방법의 단계들을 포함하는 동적 토폴로지 제어 방법.

청구항 22

제18항에 있어서, 상기 릴레이 집산화 단계는, 제14항 내지 제17항에 중에서 어느 한 항에 따른 릴레이 집산화 방법의 단계들을 포함하는 동적 토폴로지 제어 방법.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 무선 통신 방법에 관한 것으로, 좀 더 구체적으로 셀룰러 시분할 직교주파수분할다중(TDD-OFDMA) 시스템에서 다중 홉(multi-hop) 릴레이를 위한 동적 토폴로지 제어 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] IEEE 802.16j의 TDD-OFDMA 기반 다중 홉 릴레이 시스템은 모바일 무선 MAN(Metropolitan Area Network)과 같은 모바일 무선 광대역의 커버리지, 수율 및 용량 확장에 유용한 수단이다. 다중 홉 릴레이 시스템은 단말(Mobile Station; MS)의 접속을 위해 중간에서 무선 중계 기능을 지원하는 중계기(Relay Station; RS)와 무선 링크를 통해 MS 또는 RS와 직접 접속하여 무선 릴레이 기능을 지원하는 기지국(MR-BS)으로 구성된다.

[0003] 도 1은 $N=2$ 인 경우에 non-transparent 모드의 프레임 구조를 보여주는 예시도이다. 여기서 N 은 중단 연결을 위한 홉의 수이다. 도 1에 도시된 바와 같이 하나의 TDD 프레임은 상향 링크와 하향 링크로 분할되고, 각 링크는 MS가 MR-BS 또는 RS와 직접 통신하기 위한 액세스 존(Access zone), 그리고 MR-BS와 RS 간의 링크를 제공하기 위한 릴레이 존(Relay zone)으로 분할된다. 이 특별한 프레임 구조의 주요한 특징은 액세스 존이 MR-BS와 직접 또는 RS들을 통해 간접적으로 통신하는 모든 MS들과 공유될 수 있다는 점이다. 따라서 액세스 존은 MS들 사이에 동적 대역폭 예약을 허용하기 위하여 MR-BS와 RS들에 독립적으로 스케줄되어야 한다. MS들이 BS로부터 제어 메시지를 직접 수신할 수 없는 non-transparent 모드의 경우, MAP 메시지를 통한 대역폭 할당 결과 통지는 데이터 전달과 함께 중계되어야 한다. 반면에 릴레이 링크는 다수의 RS들을 위해 직교적으로 분할된다. 따라서 각 RS에 특정한 대역폭 할당 통지(예컨대, 하향 링크 MAP 메시지)가 있어야 한다.

[0004] 각 구역의 데이터 전송률은 개별 링크의 채널 상태에 의한다. 해당 링크의 신호대 간섭 잡음비(SINR)는 적응 변조 및 코딩(AMC)의 적당한 모드를 결정하기 위한 채널 품질 표시기(channel quality indicator)가 될 수 있다.

[0005] 넓은 영역의 커버리지가 다수의 RS에 의해 확보되는 경우, MS와 BS 사이에 3홉 이상인 경우가 존재할 수 있는데, 이때 릴레이 존을 다수의 서브존으로 시분할 하여 사용할 수 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 각 서브

존은 다음 릴레이 링크를 위해 예약된다. 이때 BS에 이르기 위해 같은 홑을 가지는 RS들이 구성하는 가상의 평면을 레이어로 정의한다. 예를 들면, 도 2에서 레이어 2에 있는 RS들은 BS와 연결되기 위하여 2홑이 필요한 반면, 레이어 1의 RS들은 1홑으로 BS에 직접 연결된다. 상위 레이어의 RS들에 할당되는 서브존은 하위 레이어의 RS들에게 전송하기 위해 병합된 트래픽을 처리해야 하기 때문에 더 큰 용량을 필요로 한다. 따라서 도 2에 도시된 바와 같이, 셀 전체에서 릴레이 트래픽을 조절하기 위해 서브 존들은 적절하게 분할되어야 한다.

[0006] 도 2의 프레임 구조에서, 각 서브 존을 위한 가용 자원은 종단 연결 증가를 위해 필요한 홑의 수에 따라 임계적으로 제한된다. 만약 N 이 너무 크다면, N 번째 서브 존은 거의 널(null)이 될 것이다. 이 특별한 상황을 처리하기 위해, 동일 채널 간섭이 허용될 수 있는 한도 내에서 서브 존들은 다른 레이어의 RS들에 의하여 재사용될 수 있다. 예를 들면, 도 2에서 레이어 3의 RS5와 RS6은 서브 존 1을 MR-BS와 공유할 수 있다. 마찬가지로, 서브 존 2는 레이어 2와 레이어 5에서 재사용될 수 있다. 일반적으로 릴레이 존은 K 개의 서브 존들로 분할될 수 있고, 분할된 서브 존들은 다른 레이어에서 재사용될 수 있다. 이와 같은 특별한 재사용 전략을 재사용 $1/K$ (divide-by- K) 방식이라고 한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 각 서브 존은 3개의 상태(listen, send 및 idle) 중 하나의 상태를 가진다.

[0007] 도 3은 재사용 $1/3$ 방식을 보여주는데, 도 3에서 점선은 동일 채널 간섭을 나타낸다. 동일 서브 존들은 서로 3홑 떨어진 RS들에 의해 공유되므로, 도 3에서 점선으로 표시된 동일 채널 간섭은 동일 가지의 RS들에게 심각하지 않아 보인다. 하지만 실제 네트워크에서는 RS 사이에 존재하는 홑수의 차이가 물리적 거리의 차이와 비례하지 않을 수 있다. 도 4는 $K=3$ 의 $1/K$ 프레임 구조를 적용하여 네트워크를 구성한 예이다. $1/K$ 로 릴레이 자원 재사용 방식을 일반화 하면서 2홑 차이가 있는 RS간에는 충분한 거리가 확보될 것이라 예상되었으나, 실제로는 도 4에서 도시된 바와 같이 링크 구성에 따라 2홑 차이에서도 간섭을 감쇄시키기에 충분한 거리를 확보할 수 없어 RS2의 링크 품질이 저하되는 상황이 발생한다. 일반적으로 RS의 위치는 일정 간격에 맞게 배치되기 보다는 필요에 따라 불특정 다수의 지역에 설치 되기 때문에 링크를 구성하는 방식이 잘못될 경우 $1/K$ 프레임 구조를 이용한 재사용 방식을 적용하더라도 이러한 다른 홑간 간섭 문제가 발생할 수 있다.

[0008] 한편 동일한 레이어에 속하는 RS들도 서로 같은 자원을 재사용하기 때문에 이들의 재사용 거리에 따라서 가지간 간섭(inter-branch interference)이라고 부르는 다른 종류의 동일 채널 간섭(도 3에서 일점 쇄선으로 표시되어 있다)이 재사용 $1/K$ 방식에 또 다른 심각한 문제가 될 수 있다. 예를 들면, 도 3에 도시된 바와 같이, RS2가 RS3에게 전송하는 동안 RS1 신호는 RS4에게 동일 채널 간섭이 될 수 있고, 반대의 경우도 마찬가지이다.

[0009] 이러한 간섭 양상은 링크의 연결성을 조절하는 토폴로지 제어를 통해 조절할 수 있다. 간섭 양상의 제어는 각 링크의 품질을 조절하게 된다. 특정 링크에 부가되는 간섭을 제어하게 되면 다른 릴레이 링크의 간섭 양상이 달라지므로 각 링크의 품질은 서로 trade-off 관계에 있다. 네트워크 전체 성능을 향상시키기 위해서는 이러한 관계에 있는 각 릴레이 링크의 품질을 종단간 용량을 최대화하는 방향으로 제어할 수 있으나, 실제 네트워크에서 트래픽양이 적은 종단 경로에 큰 용량을 확보한다고 해서 실제 종단 수율이나 지연이 줄어들지는 않는다. 따라서 각 링크에 가중되는 트래픽 양에 비례하여 링크 품질을 확보하는 방법이 더 적합하다. 예를 들면 도 5(a)에서는 홑간 간섭에 의해 RS2의 링크가, 가지간 간섭에 의해 RS7가 트래픽 양에 비해 낮은 용량을 가지고 있다. 이러한 토폴로지를 도 5(b)와 같은 형태로 변형할 경우 RS4의 용량이 8에서 5로 줄어들지만 RS4에 가중되는 트래픽을 수용하기에 충분한 정도이고, RS4 링크의 용량 손실 대신 RS2와 RS7은 이전보다 높은 용량을 가지게 되어 네트워크 전체로 봤을때는 더 많은 트래픽을 처리하게 된다.

[0010] 따라서 이상의 간섭들을 조절하면서 많은 양의 트래픽이 가중되는 링크에 큰 링크 용량을 확보하는 간섭 분배를 위한 토폴로지 제어 방법에 대한 요구가 절실한 실정이다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0011] 본 발명은 다중홑 릴레이 네트워크에서 자원 재사용에 따른 다른 홑 간 간섭과 릴레이 가지간 간섭을 릴레이 링크간 트래픽 부하를 고려하여 조절할 수 있는 동적 토폴로지 제어 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제 해결수단

[0012] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 동적 토폴로지 제어 방법은, $K(K \geq 2)$ 개로 분할된 릴레이 존의 서브 존들이 다른 레이어에서 재사용되는 자원 재사용 단계; 중계기(RS)들을 다른 계층의 레이어들에 배치하는 릴레이 계층화 단계; 및 상위 레이어의 동일한 상위 중계기(RS)에 연결되는 중계기(RS)들의 집합을 찾는 릴레이 집단

화 단계를 포함한다.

[0013] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 릴레이 계층화 방법은, (a) 중계기와 기지국간 링크의 신호대 간섭 및 잡음비(SINR)를 측정하여 기지국과 최고의 연결을 가지는 중계기들을 선택하여 레이어 1에 속하는 중계기들의 집합을 형성하는 단계; (b) 상기 레이어 1에 포함될 수 있는 중계기들이 추가로 선택되는 단계; (c) 상기 레이어 1과 최고의 연결을 가지는 중계기가 선택되어 레이어 2에 속하는 중계기들의 집합을 형성하는 단계; (d) 상기 레이어 2에서 하위 중계기를 가질 수 있는 중계기의 집합이 형성되는 단계; 및 (e) 상기 레이어 2에 포함될 수 있는 중계기들이 추가로 선택되는 단계를 포함한다.

[0014] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 릴레이 집산화 방법은, (a) 집산화 대상 레이어의 한 단계 상위 레이어에서 상위 중계기와 링크에서 최소 신호대 간섭 잡음비(SINR)를 가지는 중계기가 테스트 중계기로 선정되는 단계; (b) 상기 테스트 중계기의 하위 중계기들의 집합에 속하는 각 중계기에 대한 임시 상위 중계기와 임시 실효 지연이 결정되는 단계; 및 (c) 상기 임시 실효 지연에 따라 상위 중계기가 선택되는 단계를 포함한다.

효 과

[0015] 이상의 구성을 통한 본 발명의 동적 토폴로지 제어 방법에 따르면, 다중 홉 릴레이 시스템에서 릴레이 링크를 위해 자원을 재사용할 경우 발생하는 간섭을 릴레이 링크별 트래픽 부하를 고려하여 조절함으로써 다중 홉 릴레이 링크의 품질 및 수율 성능을 향상시킬 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

[0016] 앞의 일반적인 설명 및 다음의 상세한 설명 모두 예시적이라는 것이 이해되어야 하며, 청구된 발명의 부가적인 설명이 제공되는 것으로 여겨져야 한다. 참조 부호들이 본 발명의 바람직한 실시예들에 상세히 표시되어 있으며, 그것의 예들이 참조 도면들에 표시되어 있다. 가능한 모든 경우에 대해, 동일한 참조 번호들이 동일한 또는 유사한 부분을 참조하기 위해서 설명 및 도면들에 사용된다. 이하, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있도록 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 설명한다.

[0017] 본 발명은 크게 RS 계층화(RS layering)와 RS 집산화(RS clustering)의 두 단계로 이루어진다. RS 계층화는 RS들을 다른 계층의 적절한 레이어들에 배치하는 절차이다. 동일한 수의 홉으로 BS에 이를 수 있는 RS들을 동일 레이어에 있는 것으로 취급한다. RS 계층화의 목적은 홉간 간섭을 최소화하는 것이다. 한 레이어에서 릴레이 링크를 위해 사용하는 자원은 다른 레이어들에서 릴레이 링크를 위해 재사용되기 때문에, RS 계층화는 서로 동일 채널 간섭을 최소화하기 위해 다른 레이어에 RS들을 배치하기 위한 것이다.

[0018] 반면, RS 집산화는 상위 레이어의 같은 상위 RS에 연결되는 하위 레이어의 RS들의 집합을 찾는 절차이다. 주어진 RS 레이어들에서, RS 집산화는 하위 레이어에서 상위 레이어의 동일 RS에 연결되는 RS들의 집합들을 결정하는 것이다.

[0019] 위에서 설명한 두 단계는 결국 도 6에 도시된 바와 같이 계층적 RS 집산화 절차이다. 도 6에서 레이어 1은 RS 집산화가 필요치 않은데, 이것은 레이어 1에서 BS는 모든 RS들과 연결되기 때문이다. 즉 레이어 1에서 모든 RS들은 하나의 클러스터(cluster)에 속한다.

[0020] 이하에서 본 발명에 따른 RS 계층화와 RS 집산화를 설명하는데 사용되는 문자와 용어에 대한 표시와 정의는 다음과 같다.

[0021] S : 모든 RS들의 집합. 즉 $r_k \in S$

[0022] H_n : 레이어 n 에 속하는 RS들의 집합

[0023] $H_{n,s}$: 다음 레이어에서 하위 RS를 가질 수 있는 RS의 집합. $H_{n,s} \subset H_n$

[0024] 트리 구조에서 각 RS는 자신의 유일한 상위 RS를 가져야 한다.

[0025] s_k : r_k 의 상위 RS

[0026] Q_k : r_k 의 하위 RS들의 집합

[0027] $I_{k,l}$: RS r_k 로부터 RS r_l 에 이르는 링크

[0028] $C_{k,l}$: $I_{k,l}$ 의 데이터 전송률(bits/sec)

[0029] τ_k : r_k 의 트래픽 부하(bits/sec)

[0030] 각 링크에서 트래픽 부하는 해당 링크 용량에 의해 정규화될 수 있다.

[0031] 트래픽 부하 지수는 다음과 같이 정의된다.

[0032] $LF_k = \tau_k / C_{m,k}$ 여기서 $m = r_m = s_k$ 와 같다.

[0033] $RSS_{l,m}$: r_m 에서 수신하는 r_l 의 신호 세기

[0034] 다른 RS가 수신하는 상위 RS 신호에 대한 r_k 신호의 상대적 세기를 의미하는 간섭 지수는 다음과 같이 정의 된다.

$$IF_k = \min_{i \in \{j | r_j \in H_m\}} \frac{RSS_{i',i}}{RSS_{i,k}}, \quad k \in \{j | r_j \in H_n\}, r_{i'} = s_i \quad (n+1) \bmod K = m \bmod K, \quad m < n$$

[0035]

[0036] Q_k 에 대한 트래픽 부하와 부하 지수가 주어진 경우에 홉간 용량은 다음과 같이 정의된다.

$$IC_k = \sum_{i \in \{j | r_j \in Q_k\}} \tau_i / \sum_{i \in \{j | r_j \in Q_k\}} LF_i$$

[0037]

[0038] 트래픽 집중 지수는 다음과 같이 정의된다.

$$W_k = \max(1, \tau'_k / IC_k), \quad r_k \in H_n \quad \text{여기서} \quad \tau'_k = \sum_{i \in \{j | r_j \in Q_k\}} \tau_i$$

[0039]

[0040] 각 레이어에서 모든 RS들에 대한 트래픽 집중의 평균은 다음과 같다.

$$\bar{W}_{H_n} = \frac{1}{|H_n|} \sum_{i \in \{j | r_j \in Q_k\}} W_i$$

[0041]

[0042] 트래픽 집중 지수는 부하 조절과 간섭 제어의 수락 여부를 결정하는데 사용된다.

[0043] BS에서 n 까지 레이어의 모든 RS들에게 1bit를 전송하기 위한 등가 단위로서 레이어 n 의 실효 지연을 다음과 같이 정의한다.

$$R_{eff,n} = \frac{1}{\tau_{ete,n}} \sum_{m=1}^{n-1} \bar{W}_{H_m}$$

[0044]

[0045] 여기서 $\tau_{ete,n}$ 은 n 까지의 레이어에 속하는 모든 RS를 종착점으로 하는 트래픽 부하의 합이다.

[0046] 도 7은 본 발명에 따른 RS 계층화 방법을 예시적으로 보여주는 흐름도이다. 도 7을 참조하면, 먼저 각 RS와 BS의 직접 링크에 대한 신호대 간섭 잡음비(SINR)를 측정하여 가장 좋은 MCS 모드를 가지는 RS들 즉, BS와 최고의 연결을 가지는 RS들이 선택된다. 이렇게 선택된 RS들은 레이어 1에 속하는 RS들의 집합(H_1)을 형성한다(S701). 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

수학식 1

$$H_1 = \left\{ r_{k^*} \mid k^* = \arg \max_{k \in \{j \mid r_j \in S\}} C_{0,k} \right\}$$

[0047]

[0048] 여기서 $C_{0,k}$ 는 BS와 RS r_k 의 링크에서 데이터 전송률이다. 데이터 전송률은 해당 링크의 SINR에 종속되는 MCS 모드에 의해 규정되기 때문에 상기 집합(H_1)에는 다수의 RS들이 존재할 수 있다. 즉, $|H_1| \geq 1$ 이다.

[0049] 다음 단계에서 H_1 에 포함된 RS들을 제외하고 남은 RS들은 수신 신호 세기(Received Signal Strength; RSS)의 순서에 따라 다시 인덱스되어 다음과 같이 레이어 1의 후보 집합(U)을 형성한다(S703).

수학식 2

$$U = S - H_1$$

[0051] 다음으로, H_1 의 원소로 이미 선택된 RS를 통하는 것보다 BS로의 직접 연결에 의해 더 큰 용량을 달성할 수 있는 추가 RS들이 탐색되어 선택된다(S705). $r_k \in U$ 인 경우에, 해당 RS들은 BS에서 측정된 RSS의 내림차순에서 다음의 지연 기준을 평가함으로써 발견될 수 있다.

수학식 3

$$H_1 \leftarrow H_1 \cup \left\{ r_k \mid \frac{1}{C_{0,k}} \leq \frac{1}{C_{0,m}} + \frac{1}{|H_1| C_{m,k}}, r_m \in H_{1,S} \right\}$$

[0052]

[0053] 수학식 3의 부등식 우변에서 두 번째 항은 자원 재사용 효과를 고려하기 위해 $|H_1|$ 을 포함한다. 새로운 RS가 H_1

$$U \leftarrow U - \{r_{k^*}\}$$

에 포함될 때 마다, 그것은 U 로부터 제거된다. 즉,

[0054] 이후 H_1 에 포함될 수 있는 RS가 더 이상 발견되지 않을 때까지 단계 S703과 단계 S705가 반복된다(S707). 이러한 과정을 거쳐 레이어 1이 결정된다.

[0055] H_1 이 주어지면, 다음의 수학식에 의해 가장 좋은 MCS 모드를 가지는 RS가 H_2 로 선택된다(S709).

수학식 4

$$H_2 = \bigcup_{n \in \{j \mid r_j \in H_1\}} \left\{ r_{k^*} \mid k^* = \arg \max_{k \in \{j \mid r_j \in U\}} C_{n,k} \right\}$$

[0056]

[0057] 그런 다음 하위 RS를 가질 수 있는 RS의 집합이 다음의 수학식으로 주어진다(S711).

수학식 5

$$H_{2,S} = \left\{ r_{k^*} \mid IF_{k^*} = \min_{\substack{i \in \{j \mid r_j \in \bigcup_{m=0}^{M-1} H_m\} \\ m=0}} \frac{RSS_{i',i}}{RSS_{k^*,i}} < \eta_{th}, \right. \\ \left. r_{k^*} \in H_M, r_{i'} = s_i, r_i \in H_n, \right. \\ \left. M \bmod K = (n+1) \bmod K, M = 2 \right\}$$

[0058]

[0059] 여기서 n_{th} 은 과도한 간섭을 유발하는 RS들을 제거하기 위한 임계값이다. 이 단계는 하위 RS를 가질 경우 상위 레이어의 RS들에게 잠재적으로 간섭을 일으킬 수 있는 RS들의 수를 감소시킨다.

[0060] 이와 같은 과정을 거친 후 레이어 2의 후보 집합이 다음과 같이 주어진다(S713).

수학식 6

$$U = S - \bigcup_{n=1}^2 H_n$$

[0061]

[0062] $r_k \in U$ 인 경우에, $H_{2,s}$ 의 RS를 통하는 것보다 $H_{1,s}$ 를 통해서 더 큰 용량을 달성할 수 있는 추가 RS들은 각 RS에서 측정된 BS의 RSS 내림차순에서 다음의 지연 기준에 의해 H_2 로 선택된다(S715).

수학식 7

$$H_2 \leftarrow H_2 \cup \left\{ r_k \left| \frac{1}{C_{j,k}} \leq \frac{1}{C_{j,m}} + \frac{1}{|H_2| C_{k,m}}, r_j \in H_1, r_m \in H_{2,s} \right. \right\}$$

[0063]

[0064] 새로운 RS가 H_2 에 포함될 때마다 U 에서 제거된다. 즉 $U \leftarrow U - \{r_{k^*}\}$ 그런 다음, H_2 에 포함될 수 있는 RS가 더 이상 발견되지 않을 때까지 단계 S711 내지 S715가 반복된다(S717). 이와 같은 과정을 거쳐 레이어 2가 결정된다.

[0065] $n \geq 3$ 인 경우에 H_n 와 $H_{n,s}$ 에 대해서는 수학식 4 내지 7을 이용하여 레이어 2를 결정한 것과 동일한 단계들이 레이어 n 을 결정하기 위해 반복된다.

[0066] 한편, 도 7에 도시하지 않았지만 RS 계층화 과정에서 레이어가 결정되지 않은 RS들은 자신이 해당 레이어에 적합한지를 판단하기 위해 지연시간을 계산할 때 AMC에 의해 결정되는 링크 용량이 필요한데, 이를 얻기 위해서는 해당 링크의 SINR이 계산되어야 한다. 본 발명은 각 RS가 다른 RS의 신호 세기를 알고 있다고 가정하므로, 간섭원으로 작용할 RS만 결정하면 해당 링크의 RS를 결정할 수 있다.

[0067] 구체적으로, 레이어가 결정되지 않은 r_k 가 간섭원을 정할 때 레이어가 결정되어 있는 RS 중 r_k 가 수신하는 자원을 사용하지 않는 RS는 간섭원이 되지 않을 것이 명백하다. 하지만 그 이외의 RS들은 토폴로지가 완성되지 않아 추후 구성되는 토폴로지에 따라 간섭원으로 작용할지 여부가 불분명하다.

[0068] 여기서 가장 쉽게 접근할 수 있는 방법은 도 8(a)에 도시된 바와 같이 가능한 모든 RS가 간섭원이라고 생각하는 방식이다. 이는 'worst case'로써 해당 링크가 최악의 상태일 때의 링크 용량을 계산하게 된다. 하지만 이와 같은 'worst case'에서는 AMC table 기반의 계산에서 최저 MCS level에도 미치지 못하는 상태가 최대값으로 나올 수 있으므로 알고리즘을 적용할 수 없게 된다. 또한 이후 설명될 RS 집단화를 통해 제거될 간섭에 대한 고려 없이 레이어를 결정할 경우 RS 집단화 결과에서 잘못된 레이어에 속하는 RS가 발생할 확률이 크다.

[0069] 따라서 본 발명은 도 8(b)에 도시된 바와 같이 미리 정해진 조건을 만족시키는 RS는 간섭원에서 제거시킨 'reduced worst case'를 사용한다. 즉, r_k 가 수신하는 신호의 세기가 T_{RSS} 이상인 RS는 r_k 의 간섭원에서 제외시킨다. 왜냐하면 신호 세기가 강한 RS는 물리적으로 r_k 의 근방에 존재할 것이고, 물리적으로 가까이 있는 RS들은 계층화 과정에서 최대 ± 1 레이어 차이로 계층화될 것이라 예상할 수 있기 때문이다. 또한 그렇게 되면 애초에 r_k 가 수신하는 자원을 사용하지 않게 되거나 r_k 가 수신하는 자원을 사용하더라도 이후 설명될 RS 집단화 과정에서 해당 간섭은 제거될 것이라고 예상할 수 있기 때문이다.

[0070] T_{RSS} 는 경로 손실(path loss)만을 고려하고 N개의 RS가 균일하게 분포한다고 가정했을 때 인근 RS까지의 평균 거리를 다음의 수학식과 같이 신호 세기로 환산한 값이다.

수학식 8

$$T_{RSS} = 10 \left(\log P_{Tx,RS} - \alpha \log \left(\frac{2R_{BS}}{\sqrt{N}} \right) \right)$$

[0071]

[0072]

여기서 $P_{Tx,RS}$ 는 중계기의 전송 전력이고, α 는 채널 양상에 따른 경로 손실 지수이며, R_{BS} 는 BS의 커버리지이고,

$\frac{2R_{BS}}{\sqrt{N}}$ 는 중복되지 않은 RS의 커버리지이다.

[0073]

이와 같이 RS 계층화 알고리즘을 통해 결정된 RS들의 레이어들에서, 각 RS는 상위 레이어에서 자신의 상위 RS를 선택하여야 한다. 한 레이어에서 클러스터라고 하는 RS들의 부분 집합은 상위 레이어에서 동일한 상위 RS를 선택한다. 이와 같은 RS 집단화 알고리즘의 목적은 실효 지연(effective delay)을 최소화하기 위해 상위 레이어에서 각 RS를 위한 상위 RS를 결정하기 위한 것이다. 일반적으로 소모적인 탐색은 너무 복잡하므로 본 발명은 훨씬 덜 복잡한 발견적 방법(heuristics)을 사용한다.

[0074]

RS 집단화 과정에서 새로운 상위 RS의 선택은 RS 계층화를 통해 형성된 토폴로지를 변화시키고 이에 따라 홉간 간섭의 정도로 변화한다. 홉간 간섭의 변이를 최소화하기 위해 H_n 의 RS를 위한 상위 RS의 후보는 RS 계층화를 통해 결정된 $H_{n-1,S}$ 에 있는 RS로 제한된다.

[0075]

도 9는 본 발명에 따른 RS 집단화를 예시적으로 보여주는 흐름도이다. 도 9를 참조하면, 먼저 $G = H_{n-1,S}$ 라고 하고, G 에 있는 RS들 중에서 상위 RS와의 링크에서 가장 작은 SINR을 가지는 RS를 테스트 RS(TRS)로 선정한다

(S901). 즉, TRS는 $i^* = \arg \min_{i \in \{j | r_j \in G\}} SINR_{j,i}$ 와 같이 주어진다. 여기서 $r_j = s_i \in H_{n-2}$ 이다.

[0076]

다음으로, TRS의 하위 RS들의 집합을 Q_{i^*} 라고하면, 다음의 수학식에 의해 임시 상위 RS $\hat{s}_m$ 와 Q_{i^*} 에 속하는

각 RS q_m 의 임시 실효 지연 $\hat{R}_{eff,n}$ 이 결정된다(S903).

수학식 9

$$\hat{s}_m = r_{k^*} \quad \text{such that} \quad k^* = \arg \min_{k \in \{j | r_j \in H_{n-1,S}\}} R_{eff,n}$$

[0077]

$$\hat{R}_{eff,n} = R_{eff,n} \quad \text{when} \quad \hat{s}_m = r_{k^*}$$

[0078]

그러나 실제 선택 과정에서 Q_{i^*} 에 있는 다른 RS에 의한 결정의 효과가 고려되어야 하는데, 이는 전체 결정 절차를 너무 복잡하게 해서 구현하기가 어렵다. 따라서 본 발명에서는 다음과 같이 발견적 방법(heuristics)을 사용한다. 즉, q_m 의 $\hat{R}_{eff,n}$ 보다 더 작은 $\hat{R}_{eff,n}$ 를 가지는 $q_l \in Q_{i^*} - \{q_m\}$ 에 의한 결정의 효과가 $\hat{s}_m$ 의 선택 절

차에 고려된다. 예를 들면, Q_{i^*} 에 있는 RS들 중에서 가장 작은 $\hat{R}_{eff,n}$ 를 가지는 RS는 다른 RS들의 효과를 고려

하지 않고 임시 상위 RS를 고정한다(S905). 그러나 다른 Q_{i^*} 의 RS들은 앞서 선택된 RS의 결정에 따른 간섭 및

트래픽 부하를 반영하여 $\hat{R}_{eff,n}$ 을 결정하고, 이중 가장 작은 $\hat{R}_{eff,n}$ 를 가지는 RS가 다시 $\hat{s}_m$ 으로 선택된다. 이

러한 과정을 모든 Q_{i^*} 의 원소가 임시 상위 RS를 결정할 때까지 반복한다.

[0080] 만약 이렇게 선택된 새로운 토폴로지가 이전 토폴로지에 비해 실효 지연을 감소시킨다면, q_m 들이 선택한 $\hat{s}_m$ 은 실제 상위 RS로 받아들여질 것이다(S907, S909). 그렇지 않으면 $\hat{s}_m$ 은 수용되지 못하고 $\hat{s}_m$ 선택 이전의 토폴로지로 복구시킨다(S911). 그런 다음 G 는 $G \leftarrow G - \{r_i^*\}$ 로 업데이트된다. 그리고 이와 같은 선택 절차는 G 에 남아 있는 모든 RS들이 없어질 때까지 반복된다(S913).

[0081] 도 10 및 도 11은 각각 N=3인 경우에 평균 중단 수율과 단말 서비스 불능률을 보여주는 그래프이다. 도 10 및 도 11을 참조하면, 본 발명에 따른 RS 계층화와 RS 집단화를 함께 실행한 경우에 최고의 수율과 최저의 서비스 불능률을 이룰수 있음을 알 수 있다. 특히 도 11로부터 알 수 있는 바와 같이, 'RS 계층화' 또는 'RS 집단화' 자체는 동일 채널 간섭을 감소시키는데 유용한 수단이다. 또한 본 발명에 따른 RS 계층화와 RS 집단화 방법을 제외한 다른 방법들의 경우에는 많은 수의 RS에서 RS의 수가 증가함에 따라 서비스 불능 성능이 저하된다. 이로 부터 본 발명에 따른 RS 계층화와 RS 집단화 절차는 많은 수의 RS에 따른 가지간 간섭을 적절하게 처리할 수 있음을 알 수 있다.

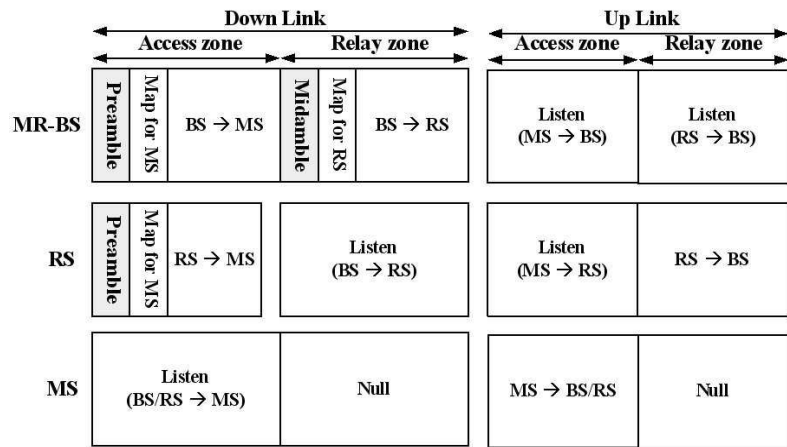
[0082] 한편, 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시예에 관하여 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지로 변형할 수 있다. 그러므로 본 발명의 범위는 상세한 실시예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구범위뿐만 아니라 이 발명의 특허청구범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

도면의 간단한 설명

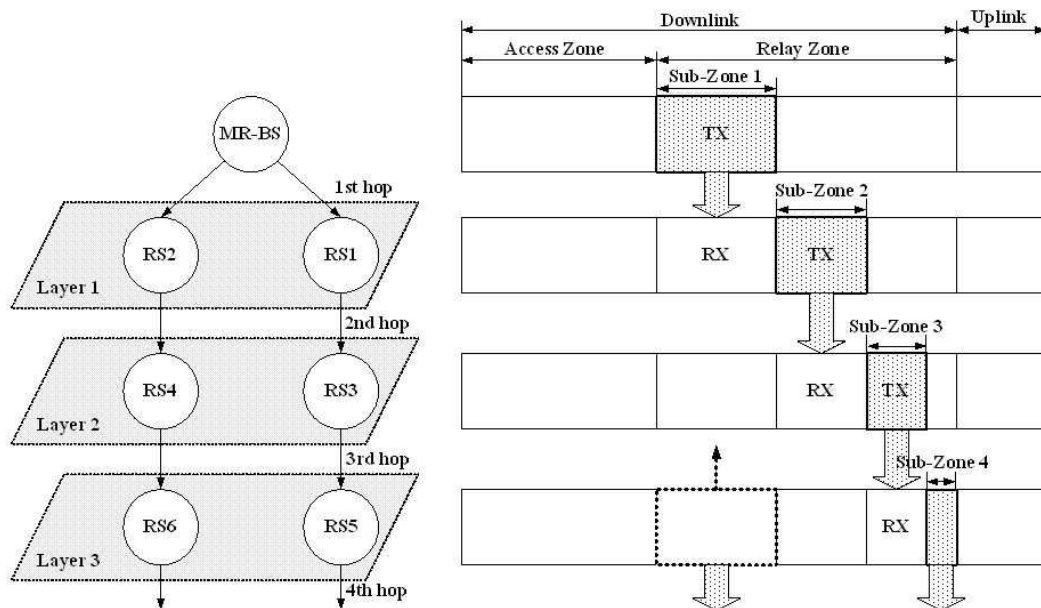
- [0083] 도 1은 다중 홉 릴레이 프레임의 구조를 보여주는 예시도
- [0084] 도 2는 N=4인 경우의 다중 홉 릴레이 프레임 구조를 보여주는 예시도
- [0085] 도 3은 다중 홉 릴레이 시스템에서 K=3의 재사용 1/K 방식을 보여주는 예시도
- [0086] 도 4는 K=3의 1/K 프레임 구조를 적용하여 구성한 네트워크를 보여주는 예시도
- [0087] 도 5는 다중 홉 릴레이 시스템에서 토폴로지 제어의 효과를 보여주는 예시도
- [0088] 도 6은 본 발명에 따른 동적 토폴로지 제어를 위한 계층적 RS 집단화를 보여주는 예시도
- [0089] 도 7은 본 발명에 따른 RS 계층화 방법을 예시적으로 보여주는 흐름도
- [0090] 도 8은 본 발명에 따른 RS 계층화 과정에서 간섭원 예측 방식을 보여주는 예시도
- [0091] 도 9는 본 발명에 따른 RS 집단화 방법을 예시적으로 보여주는 흐름도
- [0092] 도 10은 N=3인 경우의 평균 중단 수율 성능을 보여주는 그래프
- [0093] 도 11은 N=3인 경우의 평균 단말 서비스 불능률 성능을 보여주는 그래프

도면

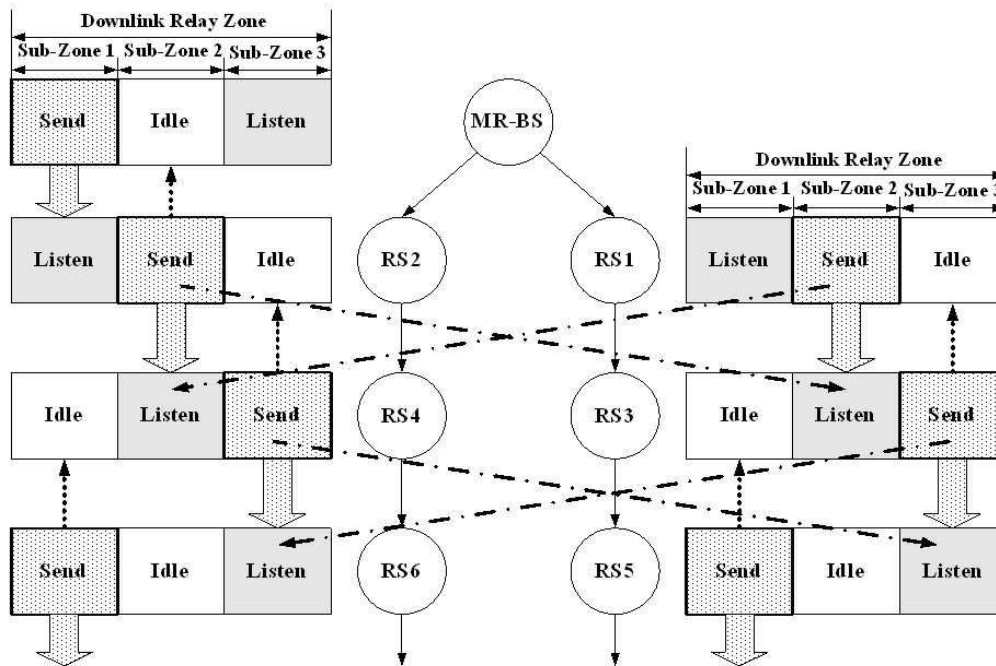
도면1



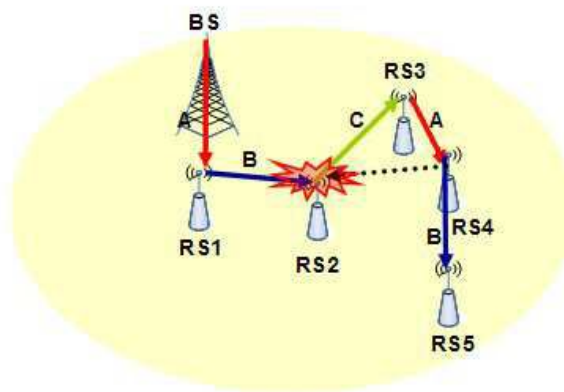
도면2



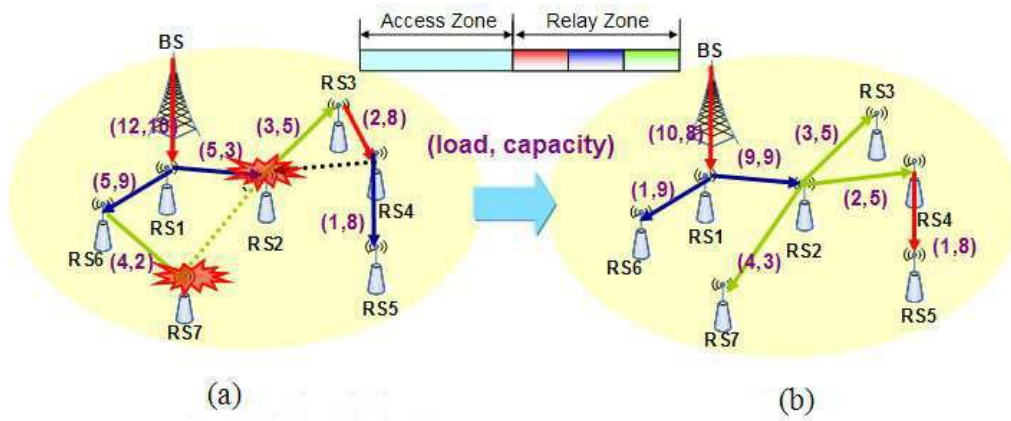
도면3



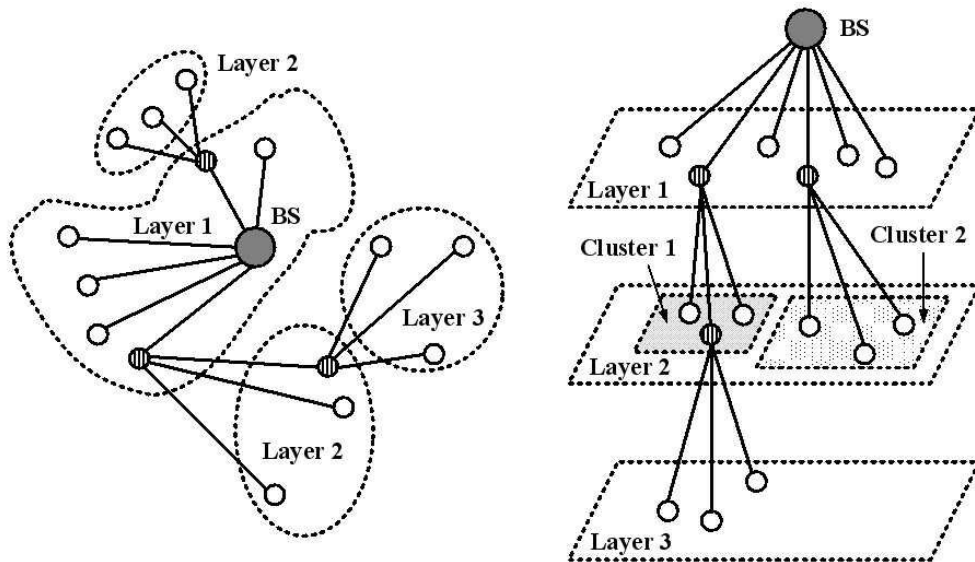
도면4



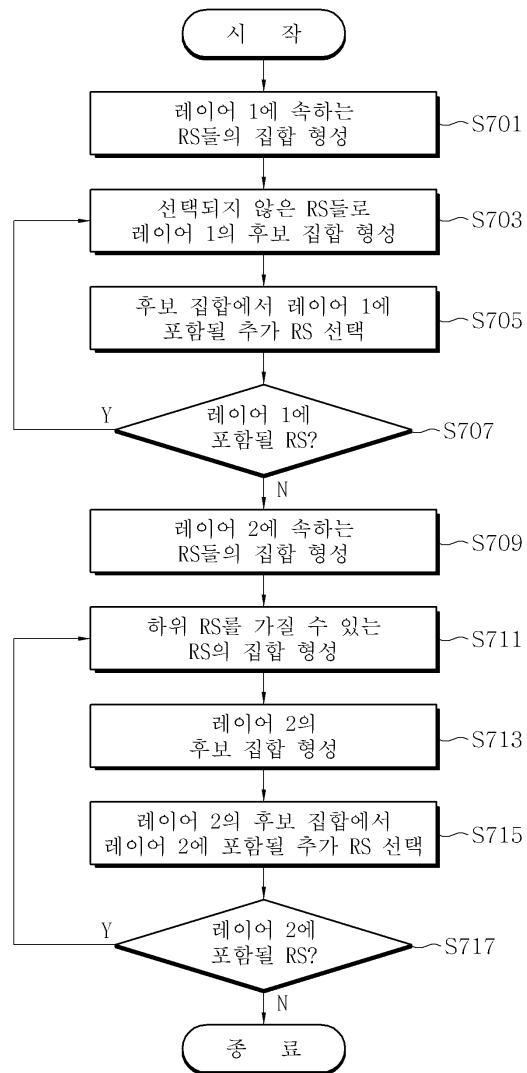
도면5



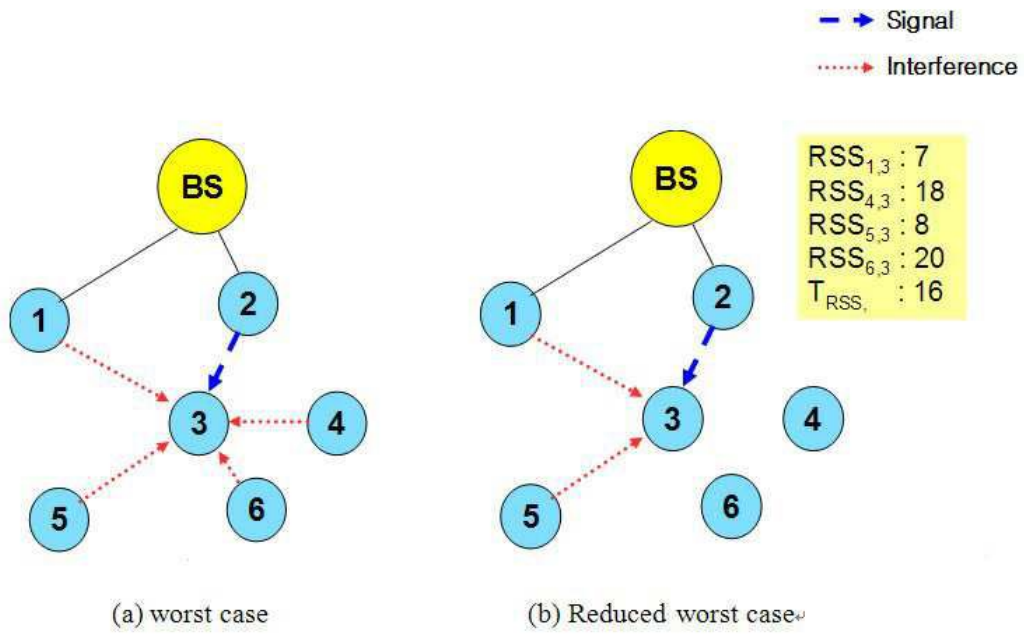
도면6



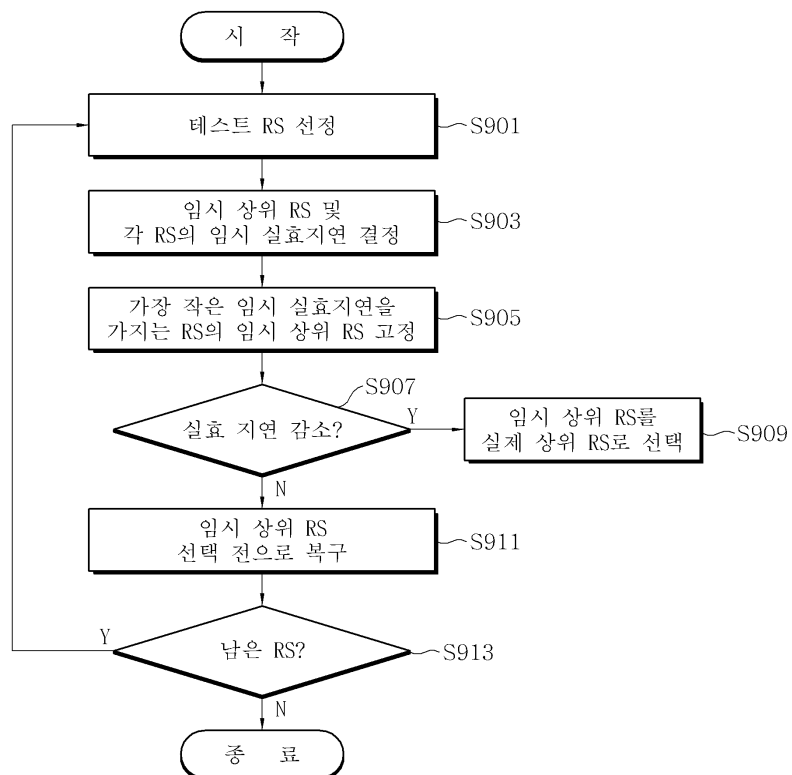
도면7



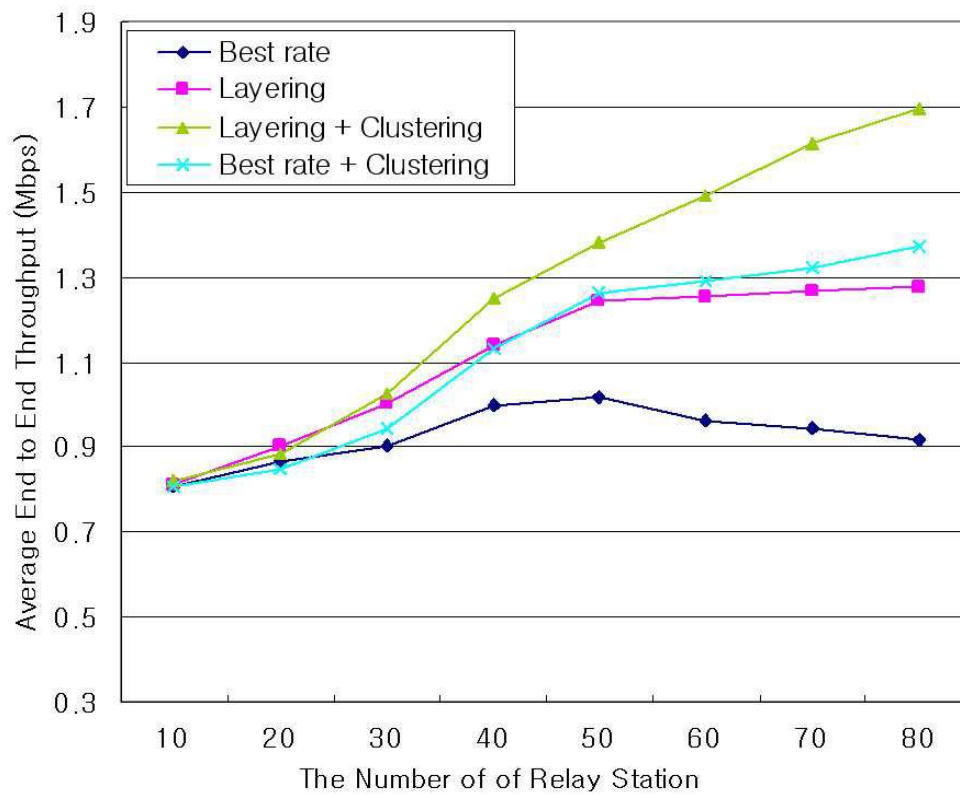
도면8



도면9



도면10



도면11

